สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แนวทางการวินิจฉัยการขาดธาตุอาหารแบบรวดเร็ว โดยจุดที่ควรสังเกต 24

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การแบ่งระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยพิจารณาจากปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 25

ตารางที่ 2.3 การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน 26

ตารางที่ 2.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังจากต้นอายุ 3 - 4 เดือน ที่จัดว่าเพียงพอ ใบดัชนี (index leaf) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ แผ่นใบบนสุดซึ่งเจริญเต็มที่ 27

ตารางที่ 2.5 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบบนสุดของมะเขือเทศในระยะต่างๆ ที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต 27

ตารางที่ 2.6 ผลวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างของดินในแต่ละภาคของประเทศไทย 34

ตารางที่ 2.7 พื้นที่ดินกรดรายภาคของประเทศไทย 36

ตารางที่ 2.8 ผลวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดินแต่ละภาคของประเทศไทย 37

ตารางที่ 2.9 ผลวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแต่ละภาคของประเทศไทย 39

ตารางที่ 2.10 ผลวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินแต่ละภาคของประเทศไทย 41

ตารางที่ 2.11 การแพร่กระจายของดินเปรี้ยวจัดในจังหวัดต่างๆ 44

ตารางที่ 2.12 การแพร่กระจายของดินทรายจัดรายภาค 48

ตารางที่ 2.13 การแพร่กระจายของดินตื้นรายภาค 49

ตารางที่ 3.1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีในช่วงปี 2551 - 2561 57

ตารางที่ 3.2 การใช้ปุ๋ยกับมันสำปะหลังตามค่าวิเคราะห์ดิน 58

ตารางที่ 3.3 การใช้ปุ๋ยกับข้าวโพสีเหลืองตามค่าวิเคราะห์ดิน 59

ตารางที่ 3.4 การใช้ปุ๋ยกับข้าวโพดฝักสดตามค่าวิเคราะห์ดิน 60

ตารางที่ 3.5 การใช้ปุ๋ยกับอ้อยปลูกตามค่าวิเคราะห์ดิน 61

ตารางที่ 3.6 การใช้ปุ๋ยกับข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน 62

ตารางที่ 3.7 การใช้ปุ๋ยกับลำไยตามค่าวิเคราะห์ดิน 63

ตารางที่ 3.8 การใช้ปุ๋ยกับเงาะตามค่าวิเคราะห์ดิน 63

ตารางที่ 3.9 การใช้ปุ๋ยกับทุเรียนตามค่าวิเคราะห์ดิน 64

ตารางที่ 3.10 การใช้ปุ๋ยกับมังคุดตามค่าวิเคราะห์ดิน 64

ตารางที่ 3.11 การใช้ปุ๋ยกับมะพร้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน 65

ตารางที่ 3.12 การใช้ปุ๋ยกับสับปะรดตามค่าวิเคราะห์ดิน 65

ตารางที่ 3.13 การใช้ปุ๋ยกับปาล์มน้ำมันตามค่าวิเคราะห์ดิน 66

ตารางที่ 3.14 การใช้ปุ๋ยกับยางพาราตามค่าวิเคราะห์ดิน 67

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 3.15 จำนวน โค กระบือ สุกร ไก่ และเป็ดในประเทศไทย ปี 2562	68
ตารางที่ 3.16 การประเมินปริมาณมูลสัตว์ชนิดต่างๆ ปี 2562 (1,000 ตัน)	68
ตารางที่ 3.17 ค่าสัดส่วนปริมาณการขับถ่ายมูลสัตว์เฉลี่ย	69
ตารางที่ 3.18 ค่าอัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิตจากพืช 10 ชนิด	70
ตารางที่ 3.19 ปริมาณผลผลิตพืช 10 ชนิดจากภาคต่างๆ ของประเทศไทย ปี 2562 (ตัน)	71
ตารางที่ 3.20 การประเมินปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในภาคต่างๆ ของประเทศไทย ปี 2562 (1,000 ตัน)	72
ตารางที่ 3.21 จังหวัดที่มีโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ 5 อันดับแรกของประเทศไทยและได้รับอนุญาตจากกรมวิชาการเกษตร ระหว่างปี พ.ศ. 2553 ถึงปี พ.ศ. 2557	73
ตารางที่ 3.22 แหล่งผลิตปุ๋ยหมักอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการผลิต	74
ตารางที่ 3.23 อายุเก็บเกี่ยว ผลผลิต และวิธีการเก็บเกี่ยวของพืชปุ๋ยสดแต่ละชนิด	76
ตารางที่ 3.24 ชนิดและปริมาณเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด ที่จัดหาระหว่างปี พ.ศ. 2556 - 2560 (ตัน)	77
ตารางที่ 3.25 จำนวนพื้นที่การใช้ประโยชน์เมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด ที่จัดหาระหว่างปี พ.ศ. 2556 - 2560 (ไร่)	78
ตารางที่ 3.26 ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพของกรมพัฒนาที่ดิน ระหว่างปี 2558 - 2562 สนับสนุนสู่เกษตรกร	80
ตารางที่ 4.1 ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกตรึงโดยกระบวนการตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ ในระบบนิเวศต่างๆ	90
ตารางที่ 4.2 แสดงชนิดของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน	93
ตารางที่ 4.3 จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต	99
ตารางที่ 5.1 ช่วงอุณหภูมิในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	119
ตารางที่ 5.2 Thermophilic bacteria และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ	120
ตารางที่ 6.1 สารประกอบ root exudates จากพืชชนิดต่าง	129
ตารางที่ 6.2 เชื้อไรโซเบียมชนิดต่างๆ	136
ตารางที่ 6.3 การจำแนกไรโซเบียม	137
ตารางที่ 6.4 ผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานและปริมาณฟอสเฟตในดินในสภาพโรงเรือนทดลอง	152
ตารางที่ 6.5 ผลของการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อผลผลิตข้าวโพดหวาน และปริมาณฟอสเฟตในสภาพแปลงทดลอง	152
ตารางที่ 6.6 ชนิดของสารที่ผลิต/กิจกรรม ของจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช	169

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 7.1 ปริมาณจุลินทรีย์ในวัสดุรองรับในวันที่ผลิต วันหมดอายุ และระยะเวลาหมดอายุ	189
ตารางที่ 8.1 ช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด	204
ตารางที่ 8.2 การคัดเลือกปลูกพืชผักในดินเค็ม	207
ตารางที่ 9.1 แผนปฏิบัติราชการของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2560 – 2564 ด้านการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยชีวภาพ	222

สารบัญตารางภาคผนวก

หน้า

ตารางภาคผนวกที่ 1 เกณฑ์การคลาดเคลื่อนของปริมาณจุลินทรีย์รับรองตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 263

ตารางภาคผนวกที่ 2 ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีในผลิตภัณฑ์ของปุ๋ยชีวภาพของกรมพัฒนาที่ดินและวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ 263

ตารางภาคผนวกที่ 3 ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีในผลิตภัณฑ์ของปุ๋ยชีวภาพของกรมวิชาการเกษตรและวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ 264

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่ผ่านการรับรองจากกรมวิชาการเกษตรในท้องตลาด 265

บทที่ 1

ความหมายและประเภทของปุ๋ยชีวภาพ

1.1 ความหมายของปุ๋ยชีวภาพและประวัติการพัฒนา

1.1.1 ความหมายและการจำแนกปุ๋ยชีวภาพ

ปุ๋ยชีวภาพ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช มาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือทางชีวเคมี การนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรนั้นส่วนใหญ่จะเน้นเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ปุ๋ยชีวภาพตามอภิธานศัพท์ปฐพีวิทยาของสมาคมปฐพีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริการะบุว่าปุ๋ยชีวภาพ หมายถึง ปุ๋ยที่มีจุลินทรีย์ซึ่งคัดเลือกแล้วว่ามีประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารแก่พืช หรือมีสารอินทรีย์ เช่น ฮอร์โมนพืช นำมาใช้ในการปรับปรุงดินเพื่อการผลิตพืชอย่างยั่งยืน (SSSA, 2008) ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของปุ๋ยชีวภาพ ตามความสามารถในการสร้างธาตุอาหารหรือทำให้ธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) (ดังรายละเอียดในบทที่ 4) ประกอบด้วย

1) ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยกิจกรรมของเอนไซม์ไนโทรจีเนส และแอมโมเนียมที่ได้จุลินทรีย์และพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (symbiotic nitrogen fixing microorganisms) เช่น *Rhizobium* sp. *Frankia* sp. *Anabaena azollae* *Azotobacter paspali* *Azospirillum* sp. *Klebsiella* sp. และ *Nostoc* sp. อีกกลุ่มหนึ่ง คือ จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระ (non symbiotic nitrogen fixing microorganisms) ได้แก่ *Azotobacte*r sp. *Beijerinckai* sp. และ *Azospirillum* sp. (ธงชัย, 2546)

2) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสโดยเปลี่ยนรูปจากสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำหรือที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ โดยจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟตได้มีหลายชนิดทั้งที่เป็นแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีส ซึ่งจุลินทรีย์มีกลไกในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสให้เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกันออกไป เช่น การสร้างกรด (acidification) กระบวนการคีเลต (chelation) และการแลกเปลี่ยนแอนไอออน (anion exchange) แต่ส่วนใหญ่การละลายฟอสเฟตเป็นผลมาจากการสร้างกรดโดยจุลินทรีย์ ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟต ได้แก่ แบคทีเรีย เช่น *Burkholderia multivarant* (สุภาพร และคณะ, 2553) *Bacillus* sp. (นฤมล, 2546) *Pseudomonas* *Aspergillus* *Thiobacillus* *Penicillium* sp. (ภาวนา และคณะ, 2547) และเชื้อราไมคอร์ไรซา (ธงชัย, 2546)

3) ปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียม เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติก กรดซิตริก และกรดออกซาลิก เป็นต้น หรือ กรดอนินทรีย์ เช่น กรดคาร์บอนิค กรดไนตริก และกรดซัลฟูริค ในการละลายแร่และวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างจุลินทรีย์ เช่น *Bacillus* sp. *Pseudomonas* sp. *Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. เป็นต้น โดยสามารถละลายโพแทสเซียมจากแร่ไมก้า เช่น biotite และ muscovite ละลายแร่ในกลุ่มเฟลด์สปาร์ เช่น microcline nephelite leucite และ orthoclase เป็นต้น (Alexander, 1977; Friedrich *et al*., 1991)

4) ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา เป็นเชื้อราที่สร้างเส้นใยอยู่รอบๆ รากพืชอาศัยร่วมกันกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน รากพืชที่มีเชื้อราไมคอร์ไรซาจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากให้ไปสัมผัสกับธาตุอาหาร ทำให้ช่วยดูดน้ำและแร่ธาตุโดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่เคลื่อนที่ได้ยากโดยจะดูดธาตุอาหารเหล่านี้โดยตรง และส่งผ่านต่อไปยังรากให้พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ในขณะที่รากพืชจะปลดปล อยสารอินทรียจำพวกคารโบไฮเดรต วิตามิน และกรดอะมิโนให กับเชื้อรา ลักษณะดังกลาวนี้จึงเปนเสมือนกลไกสำคัญในการมีชีวิตอยูรอดของทั้งราและพืช (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

5) ปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) เป็นปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในดินบริเวณรอบรากพืช (rhizosphere) และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช สร้างสารซิเดอโรฟอร์ (siderophores) ซึ่งมีสมบัติเพิ่มการนำธาตุเหล็กเข้าสู่เซลล์พืช โดยการแย่งจับธาตุเหล็กบริเวณรอบรากพืช ทำให้เชื้อราโรคพืชไม่สามารถนำธาตุเหล็กไปใช้ได้ นอกจากนี้ยังสามารถสร้างฮอร์โมนพืช (phytohormones) เช่น ฮอร์โมนกลุ่มออกซิน (auxins) ซึ่งกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ การแบ่งเซลล์และการเปลี่ยนสภาพของเซลล์ สร้างเอนไซม์ไคติเนส (chitinase) และลามินาริเนส (laminarinase) ย่อยเส้นใยเชื้อราโรคพืช สร้างสารปฏิชีวนะที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ เป็นต้น (หนึ่ง, 2548; ธงชัย, 2550; Glick *et al*., 1999) ซึ่งในแบคทีเรียบางจีนัสมีความสามารถหลายอย่างรวมกัน เช่น *Azospirillum* บางสายพันธุ์มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน ช่วยละลายฟอสเฟต ผลิตฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญของรากพืช และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารพืช

1.1.2 ความเป็นมาของปุ๋ยชีวภาพ

1) สภาพปัญหาการเกษตร

ปัจจุบันการทำเกษตรสมัยใหม่ในหลายประเทศทั่วโลกกำลังเผชิญกับสินค้าการเกษตรที่ราคาสูงขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางสังคม และเศรษฐกิจของโลก ซึ่งสถานการณ์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับราคาน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงอาหาร สังคมเมือง การเติบโตทางเศรษฐกิจ และการขยายตัวของจำนวนประชากร รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (OECD-FAO, 2008) ซึ่งสถานการณ์ดังกล่าวนี้เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการผลิตทางการเกษตร รวมทั้งเป็นแรงจูงใจที่ทำให้หลายประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในเขตร้อนซึ่งส่วนใหญ่เป็นประเทศกำลังพัฒนาจะพยายามปรับเปลี่ยนระบบการผลิตเพื่อลดความเสี่ยงต่างๆดังกล่าว และพัฒนาเป็นระบบเกษตรกรรมยั่งยืน (sustainable agriculture) ซึ่งจากข้อมูลขององค์การเพื่อความร่วมมือและการพัฒนาทางเศรษฐกิจ (Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD) และองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO) รายงานภาพรวมของการเกษตรในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2008 - 2017 ระบุว่าพื้นที่ที่ใช้ในการทำการเกษตรเพิ่มมากเพื่อตอบสนองต่อความต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้น ประกอบกับราคาปุ๋ยทั้งไนโตรเจน และฟอสฟอรัสมีราคาสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีแนวทางในการเพิ่มธาตุอาหารโดยใช้จุลินทรีย์ ซึ่งในช่วงปี ค.ศ. 1960 - 1990 ระบบการเกษตรในประเทศเขตร้อน เป็นระบบการเกษตรแบบเข้มข้นและเป็นการเกษตรแบบไม่ยั่งยืน (Boddey *et al*., 1997) จึงทำให้ดินเกิดความเสื่อมโทรม เกิดการชะล้างพังทลายของดิน ดินขาดธาตุอาหารเนื่องมาจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต ฝนตกชุก และการย่อยสลายของอินทรียวัตถุสูง (Esilaba *et al*., 2005; Boddey *et al*., 1997; Do bereiner, 1997) โดยธาตุไนโตรเจนมีปริมาณเฉลี่ย 105.6 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส 12 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียม 72 กิโลกรัมต่อไร่ เช่น ประเทศในทวีปแอฟริกาประมาณ 200 ล้านเฮคตาร์

หรือ 1,250 ล้านไร่ พบว่ามีอัตราการสูญเสียธาตุไนโตรเจนปริมาณเฉลี่ย 4.4 ล้านตัน ฟอสฟอรัส 0.5 ล้านตัน และโพแทสเซียม 3 ล้านตัน (Omamo *et al*., 2002)

ความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศที่มีภูมิอากาศแบบชุ่มชื้น และกึ่งชุ่มชื้นนั้นมีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ อินทรียวัตถุต่ำ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินต่ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินต่ำ และเสถียรภาพของเม็ดดินต่ำ ดังนั้นการเพิ่มอินทรียวัตถุเป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มเพียงอินทรียวัตถุยังไม่เพียงพอ เนื่องจากข้อจำกัดทั้งคุณภาพและความเป็นประโยชน์ (Vanlauwe and Giller, 2006; Boddey *et al*., 1997) ดังนั้นกลยุทธ์ที่จะช่วยในการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน ก็คือการใช้จุลินทรีย์ จึงได้มีการศึกษาและพัฒนาการใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มธาตุอาหารพืชให้กับดิน อย่างไรก็ตามประเทศในเขตร้อนซึ่งเกษตรกรมีรายได้ที่แตกต่างกัน จึงมีการใช้วิธีการและกลยุทธ์ในการจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดินที่แตกต่างกัน เช่น เกษตรกรรายย่อยมุ่งเน้นรูปแบบการผลิตเพื่อยังชีพ และจะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งทางสังคม และเศรษฐกิจด้วย อย่างไรก็ตามภายใต้ข้อจำกัดดังกล่าวเกษตรกรจึงได้พัฒนาเทคนิคเพื่อให้เหมาะสมในท้องถิ่น ซึ่งจะมีหน่วยงานต่างๆ ให้ความช่วยเหลือ เช่น สถาบันการศึกษา ภาครัฐ เอกชน และองค์กรอื่นๆ รวมทั้งกลุ่มประเทศจากยุโรป

2) การพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศต่างๆ

ปี ค.ศ. 1992 ประเทศเนเธอร์แลนด์ได้ดำเนินโครงการความร่วมมือกับประเทศกำลังพัฒนาในเขตร้อน ประกอบด้วย ประเทศอินเดีย เคนยา ซิมบับเว และ โคลัมเบีย ในประเทศโคลัมเบีย ได้มีการดำเนินโครงการหลายโครงการ เช่น การผลิตเมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์ การพัฒนาพืชพันธุ์ต้านทานโรค และการผลิตปุ๋ยชีวภาพ ปัจจุบันเกษตรกรรายย่อยมีการนำปุ๋ยชีวภาพ ได้แก่ ไมคอร์ไรซา ปุ๋ยหมักจากไส้เดือนดิน และหัวเชื้อจุลินทรีย์ มาใช้ในการปลูกมันสำปะหลัง มันเทศ และกล้วย บริเวณชายฝั่งทะเลแคริบเบียน ประสบความสำเร็จได้ผลเป็นอย่างดี (Perry *et al*., 2004)

โครงการความร่วมมือระหว่างประเทศอินเดียและสวิสเซอร์แลนด์ มีเป้าหมายที่จะพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ เช่น การใช้จุลินทรีย์ในการเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่เขตน้ำฝนในประเทศอินเดีย (Roesti *et al*., 2006) นอกจากนี้ได้มีการจัดทำคู่มือการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสภาความร่วมมือทางด้านนิวเคลียร์ในภูมิภาคเอเชีย (Forum for Nuclear Cooperation in Asia : FNCA) โดยมีผู้เชี่ยวชาญจาก 8 ประเทศ ประกอบด้วย จีน ญี่ปุ่น เวียดนาม เกาหลีใต้ อินโดนีเซีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ และประเทศไทย และได้มีการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตของพืชตระกูลถั่วและพืชอื่นๆ ที่เป็นแหล่งอาหารคนและอาหารสัตว์ และส่งเสริมการผลิตแบบยั่งยืน รักษาสิ่งแวดล้อมโดยลดการใช้ปุ๋ยเคมี (FNCA, 2006)

กลุ่มประเทศเขตร้อนได้มีการศึกษาวิจัยพื้นฐานที่มุ่งเน้นการคัดแยก จำแนก และกำหนดกิจกรรมของปุ๋ยชีวภาพ และการพัฒนาเป็นหัวเชื้อ ส่งผลต่อการนำไปสู่การพัฒนาภาคอุตสาหกรรมของการเกษตร โดยเฉพาะการส่งเสริมการเพิ่มปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งกลุ่มแรกได้จากกลุ่มจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน และกลุ่มจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (Oliveira *et al*., 2009; Moreno -Sarmiento *et al*., 2007; Yadav and Tarafdar, 2003; Gyaneshwar *et al*., 2002; Rodriguez and Fraga, 1999)

3) ความเป็นมาของการใช้จุลินทรีย์กลุ่มตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน

จุลินทรีย์กลุ่มตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ที่มีการนำมาใช้ทางการค้า ได้แก่ ไรโซเบียม ซึ่งมีการใช้ปริมาณมากในบราซิล และอาร์เจนตินา โดยทั้งสองประเทศเป็นสองในสามประเทศผู้ผลิตถั่วเหลืองรายใหญ่ของโลก ในปี ค.ศ. 1960 ประเทศบราซิลเริ่มมีการปลูกถั่วเหลืองครั้งแรก

และมีการใช้จุลินทรีย์กลุ่มตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันในวงกว้างและประสบความสำเร็จอย่างสูงมาก (Hungria and Campo, 2007; Do bereiner, 1997) ในระหว่างปี 2005 - 2006 บราซิลมีการนำไรโซเบียม *Bradyrhizobium* sp. มาใช้ในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง 60 - 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด 22.2 ล้านเฮคตาร์ หรือ 138.75 ล้านไร่ (Castro-Sowinski *et al.*, 2007; Hungria and Campo, 2007) จากสถานการณ์ดังกล่าวช่วยกระตุ้นอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ไรโซเบียมเพื่อตอบสนองปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ 30.4 ล้านโดส โดย 98.8 เปอร์เซ็นต์ใช้ในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง (Hungria and Campo, 2007) นอกจากนี้บางประเทศ เช่น อาร์เจนตินา และบราซิล ยังมีการขายผลิตภัณฑ์ไรโซเบียมสำหรับพืชอาหารสัตว์ เช่น ถั่วอัลฟัลฟา โคลเวอร์แดง และถั่วขาว เป็นต้น

4) ความเป็นมาของการใช้จุลินทรีย์กลุ่มตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ

บราซิลเป็นประเทศผู้นำของโลกในการศึกษาการใช้จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแทนการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพืชชนิดต่างๆ ไม่เพียงแต่มีการศึกษาไรโซเบียม แต่ยังมีการศึกษาแบคทีเรียกลุ่มตรึงไนโตรเจนที่อาศัยเป็นอิสระอีกด้วย ได้แก่ *B. fluminensis A. paspali A. lipoferum A.brasilense A. amazonense* และ แบคทีเรียเอนโดไฟต์ เช่น *Herbaspirillum seropedicae H. rubrisubalbicans Gluconacetobacter diazotrophicus B. brasilensis* และ *B. tropica* (Baldani and Baldani, 2005; Boddey *et al*., 2003) แบคทีเรียกลุ่มตรึงไนโตรเจนที่อาศัยแบบอิสระเหล่านี้ส่งผลที่เป็นประโยชน์อย่างมากต่อผลผลิตของพืชผลทางการเกษตรภายใต้สภาพอากาศ และสภาพดินที่แตกต่างกัน ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นที่เชื่อได้ว่าการสนับสนุนหลักต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตต่อพืชของแบคทีเรียดังกล่าว คือการเพิ่มการดูดซึมไนโตรเจนให้กับพืช แม้ว่าจากการศึกษาก่อนหน้านี้จะชี้ว่าการส่งเสริมการเจริญเติบโตหลักคือการเปลี่ยนแปลงด้านสรีรวิทยาและโครงสร้างของราก ซึ่งจะส่งผลต่อการดูดซึมธาตุอาหาร และน้ำต่อพืช (Okon and Kapulnik, 1986) ประเทศเขตร้อนหลายๆ ประเทศมีการประยุกต์ และพัฒนาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระทางการค้า เช่น ประเทศเม็กซิโก ได้เริ่มศึกษาในช่วงปลายปี ค.ศ. 1980 และต้นปี ค.ศ. 1990 โดยผลการทดลองในแปลง พบว่า ผลผลิตพืชมีการเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 20 - 70 เปอร์เซ็นต์ หลังจากปลูกเชื้อ *Azospirillum* sp. ลงในเมล็ดข้าวโพดในหลายพื้นที่ (Caballero - Mellado *et al*., 1992) เช่น การใช้แบคทีเรียกับการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ 450,000 เฮคตาร์ หรือ 281,250 ไร่ และธัญพืชอื่นๆ ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวฟ่าง รวมเป็นพื้นที่ 150,000 เฮคตาร์ 937,500 ไร่ มีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 27 เปอร์เซ็นต์ (Fuentes-Ramirez and Caballero-Mellado, 2005) ประเทศโคลัมเบียมีการใช้จุลินทรีย์กลุ่มตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ ได้แก่ *A. brasilense A. amazonense* และ *A. chroococcum* ซึ่งประสบผลสำเร็จกับการนำมาใช้กับข้าว และฝ้าย มีผลผลิตเพิ่มขึ้น 5 - 10 เปอร์เซ็นต์ และลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 20 - 50 เปอร์เซ็นต์ (Moreno-Sarmiento *et al*., 2007)

นอกจากนี้มีการศึกษาและใช้แบคทีเรียกลุ่มตรึงไนโตรเจนแบบอิสระกลุ่มอื่นๆ คือ แบคทีเรียเอนโดไฟต์ ซึ่งประเทศบราซิล มีการนำมาใช้กับข้าวและอ้อย ทำให้สามารถลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ครึ่งหนึ่งจากปกติใช้ 150 - 250 กิโลกรัมยูเรียต่อเฮคตาร์ หรือ 937.5 - 1,562.5 กิโลกรัมยูเรียต่อไร่ แบคทีเรียเอนโดไฟต์ที่นำมาใช้ประกอบด้วย *Acetobacter* spp. *G. diazotrophicus* และ *Herbaspirillum* spp. ทั้งการใช้จุลินทรีย์ชนิดเดี่ยว และการใช้เชื้อผสม (Ladha and Reddy, 2003; Oliveira *et al*., 2003; Oliveira *et al*., 2002; Elbeltagy *et al*., 2001; Do bereiner and Baldani, 1998) นอกจากนี้มีการศึกษาของ Boddey *et al*., (2001) and Sevilla *et al*., (2001) พบว่า จากการศึกษาการดูดใช้ไนโตรเจนของอ้อย 80 เปอร์เซ็นต์ได้จากแบคทีเรียเอนโดไฟต์

แบคทีเรียเอนโดไฟต์ยังได้รับความสนใจจากประเทศอื่นๆ เช่น ประเทศปากีสถาน การใช้ *Herbaspirillum* หลายสายพันธุ์ กับข้าว 2 สายพันธุ์ บาสมาติ 385 (Basmati 385) และซุปเปอร์บาสมาติ (Superbasmati) สามารถให้ไนโตรเจนแก่ข้าวได้ตั้งแต่ 19 - 58 เปอร์เซ็นต์ ประเทศอินเดีย มีการใช้แบคทีเรียเอนโดไฟต์ 4 สายพันธุ์ในสภาพแปลงทดลองร่วมกัน ได้แก่ *Burkholderia vietnamiensis G. diazotrophicus H. seropedicae* และ *A. lipoferum* ซึ่งทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 9.5 - 23.6 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การใช้ *B. vietnamiensis* MGK3 เพียงชนิดเดียวทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 5.6 - 10.7 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าแปลงควบคุม (Govindarajan *et al*., 2008) ประเทศเวียดนามมีการใช้จุลินทรีย์หลายชนิดในการปลูกข้าว ส่งผลให้เพิ่มผลผลิตได้ 21 เปอร์เซ็นต์ และลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีการใช้วิธีเดียวกันนี้ในประเทศออสเตรเลีย ปากีสถาน และอียิปต์ (Govindarajan *et al*., 2008; Kennedy *et al*., 2004; Alam *et al*., 2001) แต่อย่างไรก็ตาม การใช้จุลินทรีย์ร่วมกันหลายชนิดอาจไม่สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตได้เสมอไป ซึ่งขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์แต่ละชนิดว่าอยู่ร่วมกันและทำกิจกรรมร่วมกันได้หรือไม่

5) ความเป็นมาของการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต

ประเทศเขตร้อนหลายประเทศมีปัญหาดินเปรี้ยวจัด และดินที่ปนเปื้อนอะลูมินั่ม และเหล็ก ทำให้เกิดข้อจำกัดต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Place *et al*., 2003) ซึ่งฟอสเฟตในดินพบในรูปของสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟต 50 - 80 เปอร์เซ็นต์ จะถูกตรึงโดยอินทรียวัตถุในดิน หรือเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอะลูมินั่ม และเหล็ก (Yadav and Tarafdar, 2003; Gyaneshwar *et al*., 2002) จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต สามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากสารประกอบเชิงซ้อนในดินผ่านกลไกต่างๆ ของจุลินทรีย์ เช่น การผลิตกรดอินทรีย์ซึ่งช่วยละลายฟอสเฟต หรือกลายเป็นสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตคีเลต หรือการผลิตเอนไซม์ฟอสฟาเทส (phosphatase) และไฟเทส (phytase) ซึ่งจะช่วยละลายฟอสฟอรัสจากสารประกอบอินทรีย์ (Yadav and Tarafdar, 2003; Rodriguez and Fraga, 1999) ในประเทศบราซิลมีการคัดเลือกจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตหลายชนิดจากดินบริเวณรากข้าวโพด ที่มีประสิทธิภาพในการละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต (Oliveira *et al*., 2009) ประเทศโคลัมเบีย หน่วยงานต่างๆ ทั้งเอ็นจีโอ (NGO) มหาวิทยาลัยเอกชน และรัฐ องค์กรระหว่างชาติ เช่น ศูนย์เกษตรเขตร้อนนานาชาติ (The International Center for Tropical Agriculture; CIAT) หน่วยงานภาคเอกชน และภาครัฐ (Moreno-Sarmiento *et al*., 2007) ร่วมมือกันพัฒนาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ 15 ผลิตภัณฑ์ และมีการขึ้นทะเบียนเมื่อปี ค.ศ. 2006 สำหรับการนำไปใช้กับพืชอาหารชนิดต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นจุลินทรีย์ตรึงไนโตเจน มีเพียง FOSFOSOL® 1 ผลิตภัณฑ์ที่เป็นจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตพืชได้ 5 - 38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงควบคุม โดยการใช้ผลิตภัณฑ์ทั้งที่อยู่ในรูปแบบน้ำหรือแห้ง ซึ่งประสบผลสำเร็จในพื้นที่ปลูกข้าวมากกว่า 20,000 เฮคตาร์ หรือ 125,000 ไร่ (Moreno-Sarmiento *et al*., 2007; Moreno, 2007) สำหรับประเทศแคนาดาได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตจากเชื้อรา *Penicillium bilaii* มีชื่อทางการค้า Novozymes (เดิมชื่อ Philom Bios) (Rice *et al.,* 1994) และได้มีการนำไปทดสอบในส่วนที่เป็นเขตร้อนของประเทศออสเตรเลีย และประเทศคิวบามีการพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์ทางการค้า เป็นปุ๋ยชีวภาพชื่อการค้า FOSFORINA® ช่วยลดการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส (Ortega, 2007)

6) ความเป็นมาของการใช้เชื้อราไมคอร์ไรซา

เชื้อราไมคอร์ไรซาเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ภายใต้สภาพแวดล้อมที่จำกัดในประเทศเขตร้อน (Sieverding *et al*., 1991) ดังนั้นจึงมีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย

ถึงแม้ว่าการเลี้ยงเพื่อเพิ่มปริมาณยังมีข้อจำกัด โดยได้มีการพัฒนาเทคนิคการเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวนเชื้อราไมคอร์ไรซาและการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ (Sanchez *et al*., 2007) เทคโนโลยีการผลิตเชื้อราไมคอร์ไรซา ส่วนใหญ่จะปรับให้เข้ากับพืชอาศัยที่เจริญในเขตกึ่งร้อนชื้น เขตอบอุ่น และเขตเมดิเตอร์เรเนียน

ประเทศเม็กซิโก มีการทดลอง โดยการปลูกเชื้อ *Glomus intraradices* ในรากข้าวสาลีร่วมกับการใช้แหล่งฟอสเฟตต่างชนิด และปริมาณที่แตกต่างกันในดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ ข้าวสาลีจะเจริญได้ดีที่สุดเมื่อมีการปลูกเชื้อช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต (Mohammad *et al*., 2004)

ประเทศโคลัมเบีย ปี ค.ศ. 1980 ศูนย์เกษตรเขตร้อนนานาชาติ (CIAT) ได้เริ่มต้นทำการวิจัยทั้งในโรงเรือนทดลอง และภาคสนาม (Sieverding *et al*., 1991) Sanchez de Prager (2007) รายงานการเพิ่มผลผลิตจากการปลูกเชื้อในมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta Crantz*) พริกไทย (*Capsicum annuum* L.) เสาวรส (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa*) กล้วย (*Musa* AAB) ไผ่ (*Guadua angustifolia Kunth*) และอ้อย (*Saccharum* sp.) ในโรงเรือนทดลอง

สาธารณรัฐประชาธิปไตยคองโก Khasa *et al*. (1992) พบว่า จากการปลูกเชื้อในพืช 19 ชนิด มีพืช 18 ชนิดที่ตอบสนองต่อการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา ยกเว้น ผักโขม (*Amaranthus*)

ประเทศโมซัมบิก การปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาท้องถิ่นช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากความแห้งแล้งในการปลูกถั่วลิสง (*Arachis hypogaea*) (Quilambo *et al*., 2005)

ประเทศอินเดีย พบว่า การปลูกเชื้อ *G. Intraradices* และ *Acaulospora* sp. ในต้นกล้าข้าวให้ผลไปในทางที่ดี คือเพิ่มมวลชีวภาพ เพิ่มปริมาณแร่ธาตุในเมล็ด และผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ทั้งสายพันธุ์ Prakash ที่ปลูกในที่มีน้ำท่วม และสายพันธุ์ Pusa Basmati - 1 ที่ปลูกในดินที่ขาดฟอสฟอรัสและสังกะสี (Secilia and Bagyaraj, 1992) งานวิจัยของ Krishna *et al*. (2006) ได้ศึกษาการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาผสม *Acaulospora laevis A. scrobiculata Entrophospora colombiana Gigaspora gigantean G. manihotis* และ *Scutellospora heterogama* หรือหัวเชื้อทางการค้า *G. mosseae G. manihotis* และ *G. gigantean* ในกล้าองุ่นส่งผลให้ช่วยลดความเครียดจากการย้ายปลูกกล้าองุ่น ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอด ความยาวราก น้ำหนักสดและแห้ง พื้นที่ใบ และอัตราการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้น

ประเทศบราซิล มีการใช้ราไมคอร์ไรซากับพืชหลายชนิดและประสบผลสำเร็จ เช่น การปลูกเชื้อ *G. margarita* ในต้นกล้ากาแฟ (*Coffea arabica*) พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตและความเข้มข้นของสารอาหารเพิ่มขึ้น (Souza *et al*., 1991) การปลูกเชื้อที่แตกต่างกัน 24 ชนิดในรากมะละกอ (*Carica papaya*) ด้วย *G. etunicatum Paraglomus occultum A. scrobiculata* และ *Gigaspora* sp. ซึ่งสามารถเข้าอาศัยในรากมะละกอได้ (Trindade *et al*., 2006)

เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์ที่ดีจากการทดลองใช้เชื้อราไมคอร์ไรซาทั่วโลก จึงได้มีการใช้เชื้อราไมคอร์ไรซาเป็นวิธีปฏิบัติทางการเกษตรทั่วไปและพัฒนากลายเป็นระบบการผลิตขนาดใหญ่ (Dalpe and Monreal, 2004; Gianinazzi and Vosatka, 2004; Marx *et al*., 2002) ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่เตรียมจากอาหารที่หลากหลายและการทำรูปแบบผลิตภัณฑ์สูตรต่าง ๆ เช่น MicoFert® เป็นเชื้อที่พัฒนาในคิวบา ประกอบด้วย *G. aggregatum G. manihotis* และ *G. spurcum* ในขณะที่นักวิจัยในเม็กซิโกได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ Microfert UV® (สูตรในแคปซูลอัลจิเนต) ซึ่งช่วยเพิ่มผลผลิตของพืชอาหารและไม้ประดับต่างๆ

1.1.3 การพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย

ในปี พ.ศ. 2510 ประเทศไทยเริ่มมีการศึกษาวิจัยการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งในหน่วยงานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และสถาบันการศึกษาต่างๆ ที่มีการเรียนการสอนด้านการเกษตร ได้เน้นศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการใช้ประโยชน์จากแบคทีเรียไรโซเบียม จนทำให้ปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิจัยปุ๋ยชีวภาพอีกหลายชนิด ได้แก่ แหนแดง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ไมคอร์ไรซา แบคทีเรียละลายฟอสเฟต และจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ ซึ่งได้มีการผลิตเป็นการค้า และได้เผยแพร่สู่เกษตรกรแล้วหลายชนิด (ธงชัย, 2550)

การพัฒนาปุ๋ยชีวภาพของหน่วยงานภาครัฐนั้น กรมวิชาการเกษตรเป็นหน่วยงานแรกที่ได้มีการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยชีวภาพมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพชนิดแรกที่ได้มีการผลิตและจำหน่ายให้เกษตรกรได้ใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีไนโตรเจนในการปลูกถั่วชนิดต่างๆ โดยมุ่งเน้นพืชตระกูลถั่วเศรษฐกิจ ปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ ประกอบด้วย ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วเหลือง ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วลิสง ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วเขียว เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้ผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 สำหรับข้าวโพด ข้าวฟ่าง ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาสำหรับไม้ผลและพืชต่างๆ และปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ได้ทำการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่าย และได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับ บริษัท อัลโกเทค จำกัด ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ อัลจินัว เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางจากเกษตรกร ต่อมาในปี พ.ศ. 2547 บริษัทได้ให้ทุนสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยในการต่อยอดงานวิจัย และพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ (อาภารัตน์, 2549)

กรมพัฒนาที่ดินเป็นอีกหน่วยงานหนึ่งที่ได้มีการศึกษาวิจัยปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งจากภารกิจของกรมพัฒนาที่ดินในด้านการปรับปรุงบำรุงดิน จึงได้มีการศึกษาคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 แบคทีเรียละลายฟอสเฟตในดินกรด และดินเปรี้ยว จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 ประกอบด้วย ไรโซเบียม สำหรับพืชปุ๋ยสด 3 ชนิด ได้แก่ ปอเทือง โสนอัฟริกัน และถั่วพร้า ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิระ (*Azotobacter tropicalis*) แบคทีเรียละลายฟอสเฟต (*Burkhilderia* sp.) แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม (*Bacillus subtilis*) และแบคทีเรียผลิตฮอร์โมน (*Azotobacter* sp.) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

1.2 ความสำคัญของปุ๋ยชีวภาพในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

1.2.1 ปุ๋ยชีวภาพเพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทรัพยากรดินจึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการผลิตพืช อย่างไรก็ตามเกษตรกรได้มีการใช้พื้นที่เพื่อการเกษตรกรรมอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน โดยส่วนใหญ่ขาดการปรับปรุงบำรุงดิน รวมทั้งมีการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวและในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงตามความต้องการ ส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น และจำเป็นต้องพึ่งพาปัจจัยจากภายนอกประเทศเป็นหลัก จะเห็นได้จากสถิติการนำเข้าปุ๋ยเคมีมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561) พบว่า ในปี 2559 ประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมี 4,882,923 ตัน คิดเป็นมูลค่า 49,301 ล้านบาท และมีปริมาณการนำเข้าเพิ่มขึ้นในปี 2560 เป็น 5,821,559 ตัน คิดเป็น 57,803 ล้านบาท แต่เมื่อพิจารณาความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรดินในประเทศไทย จากการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินปี 2547 - 2552 พบว่า ทรัพยากรดินในประเทศไทยส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

(กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) ดังนั้นการใช้ปัจจัยภายในประเทศถือเป็นแนวทางหนึ่งที่จะส่งเสริมเกษตรกร เพื่อให้เกษตรกรลดการพึ่งพาปัจจัยจากภายนอกประเทศ มีผลทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง และยังคงรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดังนั้นการใช้ปุ๋ยชีวภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรที่นำจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการสร้างธาตุอาหาร และแปรสภาพธาตุอาหารในดิน ซึ่งจะช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมี เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสามารถนำไปใช้ร่วมกับการจัดการดินในระบบเกษตรอินทรีย์ รวมทั้งเป็นการนำจุลินทรีย์ที่คัดเลือกจากดินและจากแหล่งธรรมชาติในประเทศไทยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์สูง การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรจึงเป็นการนำทรัพยากรที่มีในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่า ซึ่งจากผลการศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีในการผลิตข้าวโพดสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อลดต้นทุนการผลิตจากปุ๋ยเคมี และช่วยฟื้นฟูความอุดม สมบูรณ์ของดินให้มากขึ้น โดย พบว่า การใช้ปุ๋ย PGPR1 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยตาม GAP 75 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ไม่ต่างกับการใช้ปุ๋ยเคมีตาม GAP จะเห็นได้ว่าการใช้ปุ๋ย PGPR1 ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีตาม GAP สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ 25 เปอร์เซ็นต์ (เอกพล และคณะ, 2559) และการศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ซึ่งประกอบด้วย แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ แบคทีเรียละลายฟอสเฟต แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม และแบคทีเรียผลิตฮอร์โมน ในการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ 40 เปอร์เซ็นต์ (นวลจันทร์ และฎานุภา, 2556)

1.2.2 ปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ส่งเสริมการเจริญเติบโต และผลผลิตพืช

การใช้ประโยชน์ของปุ๋ยชีวภาพเพื่อปรับปรุงบำรุงดิน ส่งเสริมการเจริญเติบโต และผลผลิตพืช ผลงานวิจัยทั้งประเภทของปุ๋ยชีวภาพ วิธีการใช้ และอัตราการใช้กับพืชต่างๆ ซึ่งปุ๋ยชีวภาพถือว่าเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารที่สำคัญของพืช และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมี จึงเป็นแนวทางในการใช้เป็นปัจจัยการผลิตเพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี และรักษาสิ่งแวดล้อม สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารปลอดภัย และการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ได้ ซึ่งการใช้ปุ๋ยชีวภาพมีหลายวิธีการ เช่น การคลุกกับเมล็ดพันธุ์พืช หรือจุ่มรากของกล้าพืชก่อนที่จะนำลงปลูก และจุลินทรีย์ที่นำมาผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพมีทั้งในลักษณะหัวเชื้อจุลินทรีย์เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกัน เพื่อความเป็นประโยชน์ในหลายๆ ด้าน จากรายงานการวิจัย ได้แก่ การใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ช่วยเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชไร่บางชนิด เช่น ข้าวโพด (ศิวาพร, 2553) และเพิ่มไนโตรเจนให้กับดินได้อีกด้วย (Shabaev *et al*., 1991) สุภาพร และคณะ (2553) พบว่า การใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟต สายพันธุ์ *Burkholderia multivarans* Rs01 ร่วมกับการใส่ยูเรียและโพแทสเซียมคลอไรด์ ในชุดดินตาคลี ทำให้ความสูง เส้นรอบวง น้ำหนักแห้งของลำต้นและใบของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ที่ระยะออกไหมแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง นอกจากนี้การใช้ราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถกระตุนการเจริญของพืช เพิ่มการผลิตเมล็ดในถั่วเหลือง และข้าวบาร์เลย์ (Johansen and Jensen, 1996) การใช้ประโยชน์เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอัตรา 3 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถลดการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มผลผลิตอ้อย จำนวนลำ เปอร์เซ็นต์ความหวานของอ้อยได้มากกว่าการไม่ใช้เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อีกทั้งยังเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Surendran and Vani, 2013)

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558**. สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2556. **เทคโนโลยีชีวภาพทางดิน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ปุ๋ยชีวภาพและผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2550. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ : เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์หาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

___. 2546**. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นฤมล ศรีชัย. 2546. **การแยกและการคัดเลือกจุลินทรีย์ในดินที่สามารถละลายฟอสเฟต.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นวลจันทร์ ชะบา และ ฎานุภา อยู่อุ่นพเนา. 2556. ศึกษาอัตราและระยะเวลาการใช้ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตมันสำปะหลัง, **น. 233 - 246. ใน รายงานการประชุมวิชาการกึ่งศตวรรษกรมพัฒนาที่ดิน ปี 56**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. **ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนที่ 7 ก. วันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2551.**

ภาวนา ลิกขนานนท์, วิทยา ธนานุสนธิ์, ประพิศ แสงทอง และ สุปราณี มั่นหมาย. 2547. **จากหิ้ง สู่ห้างผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต.** กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ศิวาพร ทูปคันโธ. 2553. **การตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระในดินในระบบการปลูกข้าวโพดแบบไม่ไถพรวน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. ปัจจัยการผลิต. **ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร.** แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th, 8 สิงหาคม 2562.

สุภาพร จันรุ่งเรือง, เบญจมาส รสโสภา และ กรรณิการ์ สัจจาพันธ์. 2553. ผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Burkholderia* sp. สายพันธุ์ Rs01 ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2. **วิทยาสารกำแพงแสน**. 8: 1 - 12.

หนึ่ง เตี่ยอำรุง. 2548. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแบคทีเรีย PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria). **ว. เทคโนโลยีสุรนารี** 12: 249 - 258.

อาภารัตน์ มหาขันธ์. 2549. **ปุ๋ยชีวภาพจากจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตกับอนาคตการเกษตรของประเทศไทย.** สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปทุมธานี.

เอกพล ธรรมนุส, ธนวัฒน์ เสนเผือก, อรุณทิพย์ เหมะธุลิน, สุรศักดิ์ บุญแต่ง, และ สกุลกานต์ สิมลา. 2559. ผลของปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตเมล็ดของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง. **ว. พืชศาสตร์สงขลานครินทร์**. 3: 54 - 59.

Alam, M.S., Z. Cui, T. Yamagishi and R. Ishii. 2001. Grain yield and related physiological characteristics of rice plants (*Oryza sativa* L.) inoculated with free - living rhizobacteria. **Plant Prod. Sci.** 4: 126 - 130.

Alexander, M. 1977. **Introduction to Soil Microbiology**. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Baldani, J.I. and V.L.D. Baldani. 2005. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **An. Acad. Bras. Cienc**. 77: 549 - 579.

Boddey, R.M., J.C. DeMoraes Sa, B.J.R. Alves and S. Urquiaga. 1997. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. **Soil Biol. Biochem**. 29: 787 - 799.

___, J.C. Polidoro, A.S. Resende, B.J.R. Alves and S. Urquiaga. 2001. Use of the ^{15}N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N_2 fixation to sugar cane and other grasses. **Aust. J. Plant Physiol**. 28: 889 - 895.

___, S. Urquiaga, B.J.R. Alves and V. Reis. 2003. Endophytic nitrogen fixation in sugarcane: present knowledge and future applications. **Plant Soil** 252: 139 - 149.

Caballero-Mellado, J., M.G. Carcano-Montiel and M.A. Mascarua-Esparza. 1992. Field inoculation of wheat (*Triticum aestivum*) with *Azospirillum brasilense* under temperate climate. **Symbiosis** 13: 243 - 253.

Castro-Sowinski, S., Y. Herschkovitz, Y. Okon and E. Jurkevitch. 2007. Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on resident rhizosphere microorganisms. **FEMS. Microbiol. Lett.** 276: 1 - 11.

Dalpe, Y. and M. Monreal. 2004. Arbuscular mycorrhiza inoculum to support sustainable cropping systems. **Crop Manag**. 10: 1094 - 1104.

Do bereiner, J. 1997. Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions. **Soil Biol. Biochem**. 29: 771 - 774.

___ and V.L.D. Baldani. 1998. Biological nitrogen fixation by endophytic diazotrophs in non-leguminous crops in the tropics, pp. 3 - 7. In K.A. Malik, M.S. Mirza and J.K. Ladha, eds. **Nitrogen Fixation with Non-Legumes, Vol 1**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Elbeltagy, A., K. Nishioka, T. Sato and H. Suzuki. 2001. Endophytic colonization and in planta nitrogen fixation by a *Herbaspirillum* sp. isolated from wild rice species. **Appl. Environ. Microbiol.** 67: 5285 - 5293.

Esilaba, A.O., J.B. Byalebeka, R.J. Delve, J.R. Okalebo, D. Ssenyange, M. Mbalule and H. Ssali. 2005. On farm testing of integrated nutrient management strategies in eastern Uganda. **Agric. Syst**. 86: 144 - 165.

FNCA. 2006. **Biofertilizer Manual**. Japan Atomic Industrial Forum, Tokyo.

Friedrich, S., N.P. Platonava, G.I. Karavaiko, E. Stichel and F. Glombitza. 1991. Chemical and microbiological solubilization of silicates. **Acta Biotechnol**. 11: 187 - 186.

Fuentes - Ramirez, L. and J. Caballero - Mellado. 2005. Bacterial biofertilizers, pp. 143 - 172. In Z.A. Siddiqui, ed. **PGPR: Biocontrol and Biofertilization.** Springer, Dordrecht.

Gianinazzi, S. and M. Vosatka. 2004. Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. **Can. J. Bot.** 82: 1264 - 1271.

Glick, B.R., C.L. Patten, G. Holguin and D.M. Penrose. 1999. **Biochemical and Genetic Mechanisms Used by Plant Growth Promoting Bacteria**. Imperial College Press, Waterloo, Ontario.

Govindarajan, M., J. Balandreau, S.W. Kwon, H.Y. Weon and C. Lakshminarasimhan. 2008. Effects of the inoculation of *Burkholderia vietnamensis* and related endophytic diazotrophic bacteria on grain yield of rice. **Microb. Ecol.** 55: 21 - 37.

Gyaneshwar, P., G. Naresh Kumar, L.J. Parekh and P.S. Poole. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant Soil** 245: 83 - 93.

Hungria, M. and R.J. Campo. 2007. Inoculantes microbianos: situacion en Brasil, pp 22 - 31. In M.L. Izaguirre-Mayoral, C. Labandera and J. Sanjuan, eds. **Biofertilizantes en Iberoamerica: Vision Tecnica, Centifica y Empresarial, Vol 1**. Denad Internacional, Montevideo.

Johansen, A. and E.S. Jensen. 1996. Transfer of N and P from intact or decomposing roots of pea to barley interconnected by an arbuscular mycorrhizal fungus. **Soil Biol Biochem**. 28: 73 - 81.

Kennedy, I.R., A.T.M.A. Choudhury and M.L. Kecskes. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited. **Soil Biol. Biochem.** 36: 1229 - 1244.

Khasa, P., V. Furlan and J.A. Fortin. 1992. Response of some tropical plant species to endomycorrhizal fungi under field conditions. **Trop. Agr**. 69: 279 - 283.

Krishna, H., S.K. Singh, V.B. Patel, R.N. Khawale, P.S. Deshmukh and P.C. Jindal. 2006. Arbuscular-mycorrhizal fungi alleviate transplantation shock in micropropagated grapevine (*Vitis vinifera* L.). **J. Hortic. Sci. Biotechnol**. 81: 259 - 263.

Ladha, J.K. and P.M. Reddy. 2003. Nitrogen fixation in rice systems: state of knowledge and future prospects. **Plant Soil** 252: 151 - 167.

Marx, D.H., L.F. Marrs and C.E. Cordell. 2002. Practical use of the mycorrhizal fungal technology in forestry, reclamation, arboriculture, agriculture, and horticulture. **Dendrobiology** 47: 27 - 40.

Mohammad, A., B. Mitra and A.G. Khan. 2004. Effects of sheared-root inoculum of *Glomus intraradices* on wheat grown at different phosphorus levels in the field. **Agric. Ecosyst. Environ**. 103: 245 - 249.

Moreno, N. 2007. Produccion de biofertilizantes y biocontroladores para una agricultura sostenible, pp 261 - 269. In J. Sanchez, ed. **Potencial Biotecnologico de Microorganismos en Ecosistemas y Agroecosistemas, Vol 1**. Departamento de Biologia, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogota.

Moreno - Sarmiento N., L.F. Moreno-Rodriguez and D. Uribe. 2007. Biofertilizantes para la agricultura en Colombia, pp. 38 - 45. In M.L. Izaguirre-Mayoral, C. Labandera and J. Sanjuan, eds. **Biofertilizantes en Iberoamerica: Vision Tecnica, Cientifica y Empresarial, Vol 1.** Denad Internacional, Montevideo.

OECD - FAO. 2008. **Agricultural Outlook 2008 – 2017**. OECD Publications, Paris

Okon, Y. and Y. Kapulnik. 1986. Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots. **Plant Soil** 90: 3 - 16.

Oliveira, A.L.M., E.L. Canuto, V.M. Reis and J.I. Baldani. 2003. Response of micropropagated sugarcane varieties to inoculation with endophytic diazotrophic bacteria. **Braz. J. Microbiol**. 34: 59 - 61

___, S. Urquiaga, J. Do bereiner and J.I. Baldani. 2002. The effect of inoculating endophytic N_2-fixing bacteria on micropropagated sugarcane plants. **Plant Soil** 242: 205 - 215.

Oliveira, C.A., M.C. Alves, I.E. Marriel, E.A. Gomes, M.R. Scotti, N.P. Carneiro, C.T. Guimaraes., R.E. Schaffert and N.M.H. Sa. 2009. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. **Soil Biol. Biochem.** 41: 1782 - 1787.

Omamo, S.W., J.C. Williams, G.A. Obare and N.N. Ndiwa. 2002. Soil fertility management on small farms in Africa: evidence from Nakuru District, Kenya. **Food Policy** 27: 159 - 170.

Ortega, E. 2007. Una vision del uso de fertilizantes en Cuba, p.p. 46 - 51. In M.L. Izaguirre-Mayoral, C. Labandera, J. Sanjuan, eds. **Biofertilizantes en Iberoamerica: Vision Te Cnica, Cientı Fca y Empresarial, Vol 1**. Denad Internacional, Montevideo.

Perry, S., A. Laignelet and G. Buitrago. 2004. El programa de biotecnologia agri cola para pequen os productores, pp. 46 - 63. In D. Montoya,ed. **Biotecnologia Para no Biotecnologos**. Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos, Bogota.

Place, F., C.B. Barrett, H.A. Freeman, J.J. Ramisch and B. Vanlauwe. 2003. Prospects for integrated soil fertility management using organic and inorganic inputs: evidence from smallholder African agricultural systems. **Food Policy** 28: 365 - 378.

Quilambo, O.A., I. Weissenhorn, H. Doddema, P.J.C. Kuiper and I. Stulen. 2005. Arbuscular mycorrhizal inoculation of peanut in low-fertile tropical soil I. host-fungus compatibility. **J. Plant Nutr**. 28:.1633.-.1644.

Rice, W.A., P.E. Olsen and M.E. Leggett. 1994. Co-culture of *Ruizobium meliloti* and a phosphorus - solubilizing fungi (*Penicillium bilaii*) in sterile peat. **Soil Biol. Biochem.** 27: 703 - 705.

Rodriguez, H. and R. Fraga. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnol. Adv.** 17: 319 - 339.

Roesti, D., R. Gaur, B.N. Johri and G. Imfeld. 2006. Plant growth stage, fertiliser management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. **Soil Biol. Biochem.** 38: 1111 - 1120.

Sanchez de Prager, M. 2007. **Las Endomicorrizas: Expresion Bioeda Fca de Importancia en el Tropico**. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira.

Sanchez, J., T. Sosa, L. Melgarejo and C. Fuentes. 2007. Endomicorrizas: ecologia, papel funcional, aplicaciones, pp. 223 - 237. In J. Sanchez, ed. **Potencial Biotecnolo Gico de Microorganismos en Ecosistemas y Agroecosistemas, Vol 1**. Departamento de Biologia, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogota.

Secilia, J. and D.J. Bagyaraj. 1992. Selection of efficient vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi for wetland rice (*Oryza sativa* L.). **Biol. Fertil. Soils** 13: 108 - 111.

Sevilla, M., R.H. Burris, N. Gunapala and C. Kennedy. 2001. Comparison of benefit to sugarcane plant growth and $^{15}N_2$ incorporation following inoculation of sterile plants with *Acetobacter diazotrophicus* wild - type and *nif* mutant strains. **Mol. Plant Microbe Interact**. 14: 358 - 366.

Shabaev, V.P., V. Smoolin Yu and V. D. Strekozova. 1991. Effect of *Azospirillum brasilense* and *Azotobacter choococum* on nitrogen balance in soil under cropping with oats (Avena sativaL.). **Biol. Fert. Soils** 10: 290 - 292.

Sieverding, E., J. Friedrichsen and W. Suden. 1991. **Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in tropical agrosystems.** Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit (GTZ) Rossdorf.

Souza, C.A.S., J.O. Siqueira, E. Oliveira and J.G. Carvalho. 1991. Development and nutrient levels of coffee seedlings inoculated with mycorrhizal fungi: effect of organic matter and simple superphosphate. **Pesqui. Agropecu. Bras.** 26: 1989 - 2005.

SSSA. 2008**. Glossary of Soil Science Terms**. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin,

Surendran, U. and D. Vani. 2013. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi in sugarcane productivity under semi arid tropical agro ecosystem. **Int. J. Plant Prod.** 7: 269 - 278.

Trindade, A.V., J.O. Siqueira and S.L. Sturmer. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi in papaya plantations of Espirito Santo and Bahia, Brazil. **Braz. J. Microbiol**. 37: 283 - 289.

Vanlauwe, B. and K.E. Giller. 2006. Popular myths around soil fertility management in sub-Saharan Africa. **Agric. Ecosyst. Environ**. 116: 34 - 46.

Yadav, R.S. and J.C. Tarafdar. 2003. Phytase and phosphatase producing fungi in arid and semi-arid soils and their efficiency in hydrolyzing different organic P compounds. **Soil Biol. Biochem.** 35: 745 - 751.

บทที่ 2

ทรัพยากรดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสภาพปัญหาของดิน ในพื้นที่การเกษตรของประเทศไทย

2.1 ทรัพยากรดิน

ทรัพยากรดิน (soil resource) เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ทดแทนได้หรือรักษาไว้ได้ (replaceable and maintainable natural resources) แต่ดินเกิดทดแทนธรรมชาติได้ช้ามาก เนื่องจากดินเป็นวัสดุที่ได้มาจากการสลายตัวผุพังของหินหรือแร่แล้วมีการผสมคลุกเคล้ากับอินทรียวัตถุ ซึ่งกระบวนการเกิดดินจะใช้ระยะเวลายาวนาน ใช้เวลาสร้าง 100 - 1,000 ปี ภายใต้สภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ พืชพรรณที่ปกคลุม ทำให้เกิดลักษณะดินที่แตกต่างกัน มีสมบัติที่หลากหลาย ซึ่งมนุษย์ใช้ดินเพื่อการเกษตร เนื่องจากดินเป็นปัจจัยหลักในการเจริญเติบโตของพืช เป็นแหล่งธาตุอาหาร น้ำ และที่ยึดเกาะของรากพืช นอกจากนี้ดินยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งจุลินทรีย์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน ทั้งการสร้างหรือเปลี่ยนแปลงรูปของธาตุอาหารต่างๆ ในดิน ซึ่งจะมีผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและระบบนิเวศในดิน ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

2.2 ปัจจัยควบคุมการกำเนิดดินและพัฒนาการของดิน

ดินในแต่ละภูมิภาคจะมีลักษณะและสมบัติที่แตกต่างกัน เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการกำเนิดดิน ประกอบด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

2.2.1 สภาพภูมิอากาศ ซึ่งสภาพภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการกำเนิดดิน ได้แก่ ปริมาณและการกระจายของฝนและอุณหภูมิ โดยจะควบคุมชนิดและอัตราเร่งของกระบวนการทางเคมี กายภาพ และชีวภาพทางดิน มีอิทธิพลต่ออัตราการสลายตัวของทั้งหินและแร่ อัตราความเร็วของการเคลื่อนย้ายและการสะสมใหม่ของหินและแร่ที่ถูกแปรสภาพไปเป็นวัตถุต้นกำเนิดดิน ปริมาณธาตุอาหารในดิน การเคลื่อนย้ายวัสดุภายในดินที่ระดับลึกลงไปจากผิวดิน เช่น การสะสมดินเหนียวในชั้นดินล่าง การชะละลายคาร์บอเนตและธาตุอาหารพืช และสภาพความชื้นดิน สำหรับดินที่มีอุณหภูมิสูงจะเร่งอัตราของปฏิกิริยาต่างๆ ในดิน รวมถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ ในขณะที่ดินมีอุณหภูมิต่ำ กิจกรรมของจุลินทรีย์จะน้อยลง และถ้าอุณหภูมิดินต่ำมากๆ ปฏิกิริยาทางเคมีจะหยุดชะงัก และเกิดปฏิกิริยาทางฟิสิกส์แทน ลักษณะเด่นของดินที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิดิน เช่น สีดิน การชะละลายต่างๆ ที่ละลายได้ ธาตุอาหาร อินทรียสาร และปริมาณดินเหนียว บริเวณเขตร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิสูงและมีฝนตกชุก หินและแร่จะสลายตัวเป็นดินได้เร็ว การผุพังสลายตัวจะดำเนินการไปอย่างรวดเร็ว เกิดการชะละลายธาตุอาหารพืชออกไปได้มาก จึงมักทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ นอกจากนี้ภูมิอากาศยังมีผลต่อชนิดของสิ่งมีชีวิตในดินและพืชพรรณ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมการสร้างตัวของดินด้วย

2.2.2 ความต่างระดับของพื้นที่หรือสภาพภูมิประเทศ ลักษณะสภาพภูมิประเทศจะมีอิทธิพลต่อการเกิดชั้นต่างๆ ในหน้าตัดดิน ความหนาของชั้นดิน ความลึกของดิน ความชื้นดิน สีดินและการเกิดสีจุดประในดิน การทับถมของตะกอน การกร่อนของดินหรือการชะล้างพังทลายของดิน เป็นต้น โดยบนที่สูงที่มีความลาดชันของพื้นที่มาก การกร่อนจะมีมากทำให้อนุภาคขนาดเล็กละเอียดถูกชะล้าง นำพาหรือชะละลายออกไปจากหน้าตัดดินได้ง่าย

2.2.3 วัตถุต้นกำเนิดดิน ซึ่งเป็นวัสดุที่เกิดจากการสลายตัวผุพังของหิน แร่ หรือวัสดุอินทรีย์ของซากพืชและสัตว์ ที่เกาะกันหลวมๆ ซึ่งต่อไปจะกลายเป็นดินโดยปกติจะอยู่ชั้นล่างสุดของดิน ส่วนใหญ่วัตถุต้นกำเนิดดินของประเทศไทยในแต่ละภูมิภาคจะมีลักษณะไม่แตกต่างกันมากนัก ชนิดของวัตถุต้นกำเนิดที่เกิดหินและแร่ของประเทศไทย องค์ประกอบของวัตถุต้นกำเนิดดิน เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อลักษณะและสมบัติต่างๆ ของดินที่เกิดขึ้น เช่น เนื้อดิน สีดิน โครงสร้าง ชนิดและปริมาณธาตุอาหารในดิน ดินที่มีอายุน้อยหรือดินที่มีการพัฒนาน้อย จะแสดงลักษณะตกทอดจากวัตถุต้นกำเนิดดินค่อนข้างมาก แต่เมื่อดินอายุมากขึ้น อิทธิพลจากวัตถุต้นกำเนิดดินจะลดลงเรื่อยๆ เช่น วัตถุต้นกำเนิดดินที่เกิดจากการสลายตัวผุพังมาจากหินทราย แร่องค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นพวกที่ทนทานต่อการสลายตัว เช่น แร่ควอตซ์ เมื่อกลายเป็นดินจะเป็นดินเนื้อหยาบ มีธาตุอาหารพืชน้อย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แต่ถ้าเป็นดินที่เกิดจากการสลายตัวผุพังมาจากหินภูเขาไฟสีเข้ม เช่น หินบะซอลต์จะเป็นดินเนื้อละเอียด สีดำ สีน้ำตาล สีเหลือง หรือสีแดง

2.2.4 ปัจจัยทางชีวภาพ สิ่งมีชีวิตต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย พืชและสัตว์ แต่มักเน้นที่พืชพรรณต่างๆ ที่ขึ้นปกคลุมบนผิวดิน มีอิทธิพลต่อความหนาของชั้นดินบน ปริมาณอินทรียวัตถุหรือปริมาณธาตุคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในดิน ปริมาณและการหมุนเวียนของธาตุอาหารพืช ระดับความชื้น และองค์ประกอบทางเคมีของดินบางประการ หากพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมดินถูกทำลาย ย่อมส่งผลกระทบต่อการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน ทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุลดลง ดินเกิดความเสื่อมโทรมโดยเฉพาะการกร่อนของหน้าดินที่จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรง

2.2.5 ระยะเวลาที่ต่อเนื่องในการกำเนิดดิน บทบาทของเวลาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดิน มีทั้งระยะเวลาที่แท้จริงที่ดินเริ่มมีการพัฒนามาจากวัตถุต้นกำเนิดดินซึ่งเป็นอายุจริงของดิน และระยะเวลาสัมพัทธ์ ซึ่งหมายถึง ระดับการพัฒนาของดินเป็นขั้นๆ ที่ไม่ต่อเนื่องกัน เราสามารถใช้ลักษณะและสมบัติบางประการในการเปรียบเทียบอายุของดินได้ เช่น ความลึกของดิน ความหนาของชั้นดินและสีดิน เป็นต้น ชั้นดินที่มีการสะสมอินทรียวัตถุหนากว่าแสดงว่ามีระยะเวลาในการพัฒนามากกว่าแม้ว่าจะเริ่มพัฒนาพร้อมกันก็ตาม ดินลึกมีระยะเวลาการพัฒนามากกว่าดินตื้น หรือดินสีแดงผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนามานานกว่าดินสีดำหรือสีน้ำตาลและถือเป็นดินที่มีอายุมาก ดินที่ผ่านกระบวนการกำเนิดดินที่รุนแรงกว่าจะถือว่ามีอายุมากกว่า

2.3 ทรัพยากรดินของประเทศไทย

ทรัพยากรดินเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์กับทรัพยากรอื่นๆ โดยมีสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยควบคุมการกำเนิดดิน ทำให้ดินมีลักษณะที่เหมือนหรือแตกต่างกันส่งผลให้ดินมีศักยภาพในการผลิตทั้งทางด้านการเกษตรและด้านอื่นๆ แตกต่างกันออกไป การศึกษาทรัพยากรดินจะต้องทำความเข้าใจถึงสภาพแวดล้อม ปัจจัยการกำเนิดและกระบวนการทางดินเพื่อให้ทราบถึงลักษณะเด่นของดิน การสำรวจดินและจำแนกดินจะช่วยบอกถึงการแจกกระจายของดิน การใช้ดินที่เหมาะสมกับศักยภาพในการผลิตของดินและปัญหาดิน การเพิ่มผลิตภาพดินจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดหากสามารถเชื่อมโยงผลการศึกษาทางด้านพืชกับลักษณะเด่นของดินแต่ละประเภท เราก็สามารถลำดับศักยภาพของดินในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยได้ เนื่องจากศักยภาพของดินแต่ละประเภทเกี่ยวข้องกับลักษณะที่ค่อนข้างถาวรของดินที่ใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)

2.3.1 ทรัพยากรดินภาคเหนือ ประกอบด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)

1) ดินในพื้นที่ราบลุ่ม พื้นที่ราบลุ่มหรือพื้นที่น้ำขังส่วนใหญ่พบบริเวณพื้นที่ราบตะกอนน้ำพาและตะพักลำน้ำ บางส่วนพบบริเวณพื้นที่ราบในหุบเขาสภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ ช่วงฤดูฝน

มีน้ำแช่ขังแฉะหรือมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดินเป็นเวลานาน การระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงเลว ดินมีสีเทาหรือสีเทาอ่อนจุดประสีตลอดหน้าตัดดิน ซึ่งบ่งบอกถึงมีน้ำแช่ขังในหน้าตัดดิน ปฏิกิริยาดินส่วนใหญ่เป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง ประกอบด้วย 13 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 1 4 5 6 7 15 16 17 18 21 22 25 และ 59 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินอย่างกว้างๆ ได้ 3 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

1.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งหรือดินเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง บางบริเวณอาจได้รับอิทธิพลของหินปูนหรือหินอัคนี ทำให้มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวจัด ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 1 4 5 6 และ 7

1.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 15 16 17 18 21 22 และ 59

1.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินตื้น มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวหรือดินเหนียว มีกรวดหรือลูกรังปะปน ปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตรภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 25

2) ดินบริเวณพื้นที่ดอนที่อยู่ในเขตดินแห้ง ดินมีช่วงแห้งนานในรอบปีและแห้งติดต่อกันมากกว่า 45 วันหรือแห้งรวมกันมากกว่า 90 วันในรอบปี การเพาะปลูกพืชจะทำได้เฉพาะในช่วงฤดูฝน หลังจากช่วงนี้จะต้องมีแหล่งน้ำไว้ใช้ในช่วงที่พืชขาดน้ำ มีทำการเกษตรกรรมบริเวณพื้นที่สันดินริมน้ำ เนินตะกอนรูปพัดตะพักลำน้ำระดับกลางถึงสูง สภาพพื้นที่มีตั้งแต่ราบเรียบ ลูกคลื่น เนินเขาถึงพื้นที่สูงชัน บริเวณพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลของหินและโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีกระบวนการกร่อนและการปรับระดับของพื้นที่ทั้งหินตะกอน หินแกรนิต หินบะซอลต์ และภูมิประเทศ มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร พื้นที่ราบมีการระบายน้ำของดินดีปานกลางหรือดี พื้นที่ดอนถึงพื้นที่สูงชัน มีการระบายน้ำดีหรือดีมากเกินไป ดินมีสีดำ สีน้ำตาล สีเหลือง หรือสีแดง และอาจพบจุดประสีเล็กน้อย ค่าปฏิกิริยาดินมีตั้งแต่เป็นกรดจัดจนถึงเป็นด่างปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำถึงสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการทางดินและชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน ประกอบด้วย 22 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 28 29 30 31 33 35 36 37 38 40 41 44 46 47 48 49 52 54 55 56 60 และ 61 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินอย่างกว้างๆ ได้ 4 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

2.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินร่วนเหนียวหรือดินเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 28 29 30 31 54 และ 55

2.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 33 35 36 37 38 40 56 และ 60

2.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินทราย มีเนื้อดินบนและล่างเป็นดินทรายหรือดินทรายปนดินร่วน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 41 และ 44

2.4) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินตื้น มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียวปนกับกรวดหรือลูกรัง ปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร หรือพบชั้นหินพื้นหรือชั้นมาร์ล ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 46 47 48 49 52 และ 61

3) ดินบริเวณพื้นที่ภูเขาสูง มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 62

2.3.2 ทรัพยากรดินภาคกลาง ประกอบด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)

1) ดินในพื้นที่ราบลุ่ม พื้นที่ราบลุ่มหรือพื้นที่น้ำขัง พบตั้งแต่ที่ราบชายฝั่งน้ำทะเลท่วมถึง ที่ราบทะเลเคยท่วมถึง ที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง ตะพักลำน้ำ จนถึงพื้นที่ราบระหว่างเนินเขาและหุบเขา มีสภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ มีน้ำแช่ขังแฉะมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดินเป็นเวลานานในช่วงฤดูฝน การระบายน้ำค่อนข้างเลว เลว ถึงเลวมาก ดินมีสีเทาหรือสีเทาอ่อน มีจุดประสีตลอดหน้าตัดดิน ที่บ่งบอกถึงการมีน้ำแช่ขังนานในหน้าตัดดิน ปฏิกิริยาดินส่วนใหญ่เป็นกรดปานกลางจนถึงเป็นด่างปานกลาง หากบริเวณใดมีอิทธิพลของดินเปรี้ยวจัดเข้ามาเกี่ยวข้องปฏิกิริยาดินจะเป็นดินกรดรุนแรงมากถึงเป็นกรดจัดมากความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูงประกอบด้วย 22 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 15 16 17 18 20 21 22 23 และ 59 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินอย่างกว้างๆ ได้ 6 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

1.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเลนเละ มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้งเละ พื้นที่บริเวณนี้ยังได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลที่ขึ้นลงเป็นประจำทุกวัน ประกอบด้วยดินที่มีศักยภาพเป็นดินเปรี้ยวจัด และไม่มีศักยภาพเป็นดินเปรี้ยวจัด ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 12 และ 13

1.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง หรือดินเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง บางบริเวณอาจได้รับอิทธิพลของหินปูน หรือหินอัคนี ทำให้มีเนื้อดินเป็นพวกดินเหนียวละเอียดมากส่วนบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของตะกอนทะเลจะเป็นดินเปรี้ยวจัด ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 1 2 3 4 5 6 7 9 10 และ 11

1.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 15 16 17 18 21 22 และ 59

1.4) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินทราย มีเนื้อดินทั้งบนและล่างเป็นดินทราย หรือดินทรายปนดินร่วน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 23

1.5) กลุ่มชุดดินที่ยกร่อง ส่วนใหญ่ทั้งดินบนและดินล่างเป็นดินเหนียว ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 8

1.6) กลุ่มชุดดินที่เป็นดินเค็ม มักพบในบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล ในอดีตดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทราย ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 20

2) ดินในพื้นที่ดอนที่อยู่ในเขตดินชื้น ดินมีช่วงแห้งติดต่อกันน้อยกว่า 45 วัน หรือดินแห้งรวมกันน้อยกว่า 90 วัน ในรอบปี พบเฉพาะบริเวณพื้นที่ตอนใต้ของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เขตติดต่อกับจังหวัดชุมพร ซึ่งมีฝนตกชุกและการกระจายของฝนดี สภาพพื้นที่มีตั้งแต่ราบเรียบลูกคลื่นเนินเขาถึงพื้นที่สูงชัน มีการทำการเกษตรกรรมบริเวณสันดินริมน้ำ ลานตะพักลำน้ำ พื้นที่ที่มีการเกลี่ยผิวดินให้ราบเรียบ พื้นที่ลาดเชิงเขา เนินเขา และพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร การระบายน้ำดีปานกลางดี ไปจนถึงดีมากเกินไป ดินมีสีน้ำตาลปนเทา สีน้ำตาล สีเหลือง สีแดง อาจพบจุดประสีเล็กน้อย ปฏิกิริยาดินมีตั้งแต่เป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการทางดินและชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน ประกอบด้วย 8 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 26 32 34 39 43 45 50 และ 51 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินอย่างกว้างๆ ได้ 4 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

2.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง หรือดินเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 26

2.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 32 34 39 และ 50

2.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินทราย มีเนื้อดินทั้งบนและล่างเป็นดินทราย หรือดินทรายปนดินร่วน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 43

2.4) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินตื้น มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียว มีกรวดหรือลูกรังปะปนปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร หรือพบชั้นหินพื้นภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 45 และ 51

3) ดินบริเวณพื้นที่ดอนที่อยู่ในเขตดินแห้ง ดินมีช่วงแห้งนานและดินแห้งติดต่อกันมากกว่า 45 วัน หรือแห้งรวมกันมากกว่า 90 วันในรอบปี จึงเป็นการทำการเกษตรแบบอาศัยน้ำฝน มีการทำการเกษตรกรรมบริเวณสันดินริมน้ำ ลานตะพักลำน้ำ พื้นที่ที่มีการเกลี่ยผิวดินให้ราบเรียบ พื้นที่ลาดเชิงเขาและเนินเขา สภาพพื้นที่มีตั้งแต่ราบเรียบ ลูกคลื่น เนินเขา และพื้นที่สูงชันมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร การระบายน้ำดีปานกลาง ดี ไปจนถึงดีมากเกินไป ดินส่วนใหญ่มีสีดำ สีน้ำตาล สีเหลือง หรือสีแดง และอาจพบจุดประสีเล็กน้อย ปฏิกิริยาดินมีตั้งแต่เป็นกรดจัดถึงเป็นด่างปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลางซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการทางดินและชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน ประกอบด้วย 21 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 28 29 31 33 35 36 37 38 40 41 44 46 47 48 49 52 54 55 56 60 และ 61 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินได้ 4 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

3.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง หรือดินเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 28 29 31 54 และ 55

3.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 33 35 36 37 38 40 56 และ 60

3.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินทราย มีเนื้อดินทั้งบนและล่างเป็นดินทราย หรือดินทรายปนดินร่วน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 41 และ 44

3.4) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินตื้น มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียวมีกรวดหรือลูกรังปะปนปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร เมื่อพบชั้นหินพื้นหรือชั้นมาร์ลภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 46 47 48 49 52 และ 61

4) ดินบริเวณพื้นที่ภูเขาสูง มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 62

2.3.3 ทรัพยากรดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)

1) ดินในพื้นที่ราบลุ่ม พื้นที่ราบลุ่มหรือพื้นที่น้ำขัง ส่วนใหญ่พบบริเวณที่ราบตะกอนน้ำพาตะพักลำน้ำ ที่ราบระหว่างเนิน สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ ช่วงฤดูฝนมีน้ำแช่ขังแฉะ มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดิน การระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงเลว ดินมีสีเทาหรือสีเทาอ่อน และมีจุดประสีตลอดหน้าตัดดินที่บ่งบอกถึงการมีน้ำแช่ขังในดิน ปฏิกิริยาดินส่วนใหญ่เป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ประกอบด้วย 14 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 1 4 6 7 15 16 17 18 19 20 22 24 25 และ 59 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินอย่างกว้างๆ ได้ 5 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

1.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง หรือดินเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง บางบริเวณอาจได้รับอิทธิพลของหินปูนหรือหินอัคนี ทำให้มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวจัด ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 1 4 6 และ 7

1.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 15 16 17 18 19 22 และ 59

1.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินทราย มีเนื้อดินทั้งบนและล่างเป็นดินทราย หรือดินทรายปนดินร่วน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 24

1.4) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินตื้น มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียวปนกับกรวดหรือลูกรัง ปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 25

1.5) กลุ่มชุดดินที่เป็นดินเค็ม พบในบริเวณที่มีหินเกลือรองรับ ดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินร่วนเหนียว หรือดินร่วนเหนียวปนทราย ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 20

2) ดินบริเวณพื้นที่ดอนที่อยู่ในเขตดินแห้ง ดินมีช่วงแห้งนานและดินแห้งติดต่อกันมากกว่า 45 วัน หรือแห้งรวมกันมากกว่า 90 วันในรอบปี หากไม่มีระบบชลประทาน การเพาะปลูกพืชจะทำได้ในเฉพาะฤดูฝนเท่านั้น มีการทำเกษตรกรรมบริเวณสันดินริมน้ำ ตะพักลำน้ำ ระดับกลางและระดับสูง และบริเวณพื้นที่ที่เหลือค้างจากการกัดกร่อนที่เกิดจากกระบวนการปรับระดับของพื้นที่ สภาพพื้นที่มีตั้งแต่ราบเรียบลูกคลื่นเนินเขา มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร การระบายน้ำดีปานกลาง ดี หรือดีมากเกินไป ดินส่วนใหญ่มีสีน้ำตาล สีเหลือง หรือสีแดง และอาจพบจุดประสีเล็กน้อย ปฏิกิริยาดินมีตั้งแต่เป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มักพบอิทธิพลของชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน พวกหินตะกอนในหน้าตัดดินประกอบด้วย 20 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 28 29 31 33 35 36 37 38 40 41 44 46 47 48 49 52 54 55 56 และ 60 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินอย่างกว้างๆ ได้ 4 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

2.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง หรือดินเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 28 29 31 54 และ 55

2.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 33 35 36 37 38 40 56 และ 60

2.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินทราย มีเนื้อดินทั้งบนและล่างเป็นดินทราย หรือดินทรายปนดินร่วน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 41 และ 44

2.4) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินตื้น มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียวปนกรวดหรือลูกรัง ปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร หรือถึงชั้นหินพื้นหรือชั้นมาร์ล ภายในความลึก 50 เซนติเมตร จากผิวดินได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 46 47 48 49 และ 52

3) ดินบริเวณพื้นที่ภูเขาสูง มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 62

2.3.4 ทรัพยากรดินภาคตะวันออก ประกอบด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)

1) ดินในพื้นที่ราบลุ่มหรือพื้นที่น้ำขัง พบตั้งแต่ที่ราบชายฝั่งน้ำทะเลท่วมถึง ที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึง บริเวณที่ลุ่มต่ำระหว่างสันทราย ที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึงตะพักลำน้ำ จนถึงที่ราบระหว่างเนินเขาและ

หุบเขา มีสภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ ช่วงฤดูฝนมีน้ำแช่ขังแฉะ มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดิน การระบายน้ำค่อนข้างเลว เลวถึงเลวมาก ดินมีสีเทา หรือสีเทาอ่อน จุดประสีตลอดหน้าตัดดินที่บ่งบอกถึงการมีน้ำแช่ขังในหน้าตัดดิน ปฏิกิริยาดินส่วนใหญ่เป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงสูง หากบริเวณใดมีอิทธิพลของดินเปรี้ยวจัดเข้ามาเกี่ยวข้องปฏิกิริยาดินจะเป็นดินกรดรุนแรงมากถึงเป็นกรดจัดมากประกอบด้วย 23 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 13 14 15 16 17 18 21 22 23 24 25 และ 59 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินอย่างกว้างๆ ได้ 6 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

1.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเลนเละ มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ดินมีศักยภาพเป็นดินเปรี้ยวจัดยังได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลขึ้นลงเป็นประจำทุกวัน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 13

1.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งหรือดินเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง บางบริเวณอาจได้รับอิทธิพลของหินปูนหรือหินอัคนี ทำให้มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวจัด ส่วนบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของตะกอนทะเลมักมีศักยภาพในการเป็นดินเปรี้ยวจัด ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 1 2 3 4 5 6 7 9 10 11 และ 14

1.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 15 16 17 18 21 22 และ 59

1.4) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินทราย มีเนื้อดินทั้งบนและล่างเป็นดินทราย หรือดินทรายปนดินร่วน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 23 และ 24

1.5) กลุ่มชุดดินที่ยกร่องส่วนใหญ่ทั้งดินบนและดินล่างเป็นดินเหนียว ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 8

1.6) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินตื้น มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียว มีกรวดหรือลูกรังปะปนปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตรภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 25

2) ดินในพื้นที่ดอนที่อยู่ในเขตดินชื้น ดินมีช่วงแห้งติดต่อกันน้อยกว่า 45 วัน หรือดินแห้งรวมกันน้อยกว่า 90 วัน ในรอบปี พบเฉพาะบริเวณพื้นที่ด้านตะวันออกของจังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด สภาพพื้นที่มีตั้งแต่ราบเรียบ ลูกคลื่น เนินเขา บริเวณลานตะพักลำน้ำ ลานตะพักที่เกิดจากการกัดกร่อนเนินตะกอนรูปพัด ที่ลาดเขา พื้นที่ที่เกิดจากหินเหลวเย็นตัวมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร การระบายน้ำดีปานกลาง ดี ไปจนถึงดีมากเกินไป ดินมีสีเทาสีน้ำตาลสีเหลืองสีแดงอาจพบจุดประสีเล็กน้อยปฏิกิริยาดินมีตั้งแต่เป็นกรดจัดถึงเป็นกลางมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำซึ่งขึ้นกับกระบวนการทางดินและชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดินประกอบด้วย 11 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 26 27 32 34 39 42 43 45 50 51 และ 53 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินอย่างกว้างๆ ได้ 4 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

2.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง หรือดินเหนียว ส่วนดินล่าง เป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 26 27 และ 53

2.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 32 34 39 และ 50

2.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินทราย มีเนื้อดินทั้งบนและล่างเป็นดินทราย หรือดินทรายปนดินร่วน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 42 และ 43

2.4) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินตื้น มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ส่วนดินล่าง เป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียว มีกรวดหรือลูกรังปะปนปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตรหรือถึงชั้นหินพื้นภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 45 และ 51

3) ดินบริเวณพื้นที่ดอนที่อยู่ในเขตดินแห้ง ที่ดินจะแห้งติดต่อกันมากกว่า 45 วันหรือดินแห้งรวมกันมากกว่า 90 วันในรอบปี เป็นการเกษตรแบบอาศัยน้ำฝน สภาพพื้นที่มีตั้งแต่ราบเรียบ ลูกคลื่นเนินเขา มีการทำการเกษตรบริเวณลานตะพักลำน้ำ ลานตะพักที่เกิดจากการกัดกร่อน เนินตะกอนรูปพัดที่ราบเชิงเขา และเนินเขา มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร การระบายน้ำดีปานกลาง ดี ไปจนถึงดีมากเกินไป ดินส่วนใหญ่มีสีดำ สีน้ำตาล สีเหลือง หรือสีแดงและอาจพบจุดประสีเล็กน้อย ปฏิกิริยาดินมีตั้งแต่เป็นกรดจัดถึงเป็นด่างปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ซึ่งขึ้นกับกระบวนการทางดินและชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดินประกอบด้วย 20 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 28 29 31 33 35 36 37 38 40 41 44 46 47 48 49 52 55 56 60 และ 61 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินอย่างกว้างๆ ได้ 4 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

3.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งถึงดินเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 28 29 31 และ 55

3.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 33 35 36 37 38 40 56 และ 60

3.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินทราย มีเนื้อดินทั้งบนและล่างเป็นดินทราย หรือดินทรายปนดินร่วน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 41 และ 44

3.4) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินตื้น มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียว มีกรวดหรือลูกรังปะปนปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตรหรือถึงชั้นหินพื้นหรือชั้นมาร์ลภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 46 47 48 49 52 และ 61

4) ดินบริเวณพื้นที่ภูเขาสูงมีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 62

2.3.5 ทรัพยากรดินภาคใต้ ประกอบด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)

1) ดินในพื้นที่ราบลุ่มหรือพื้นที่น้ำขัง มีสภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ บริเวณที่ราบน้ำทะเลท่วมถึง ที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึง ที่ลุ่มต่ำระหว่างสันทราย ที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึงตะพักลำน้ำ จนถึงที่ราบระหว่างเนินเขาและหุบเขา ในช่วงฤดูฝนมีน้ำแช่ขังแฉะมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดิน การระบายน้ำค่อนข้างเลว เลว ถึงเลวมาก ดินมีสีเทาหรือสีเทาอ่อน มีจุดประสีตลอดหน้าตัดดิน ที่บ่งบอกถึงการมีน้ำแช่ขังในหน้าตัดดิน ปฏิกิริยาดินส่วนใหญ่เป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างปานกลาง หากบริเวณใดมีอิทธิพลของดินเปรี้ยวจัดเข้ามาเกี่ยวข้อง ปฏิกิริยาดินจะเป็นกรดรุนแรงมากถึงเป็นกรดจัดมาก ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลางประกอบด้วย 19 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 2 3 5 6 7 8 10 11 13 14 16 17 18 22 23 25 57 58 และ 59 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินอย่างกว้างๆ ได้ 7 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

1.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเลนเละ มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งที่มีศักยภาพเป็นดินเปรี้ยวจัด ยังได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลขึ้นลงเป็นประจำ ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 13

1.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง หรือดินเหนียวส่วนดินล่างเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง บริเวณที่ได้รับอิทธิพลของตะกอนทะเลเป็นดินเปรี้ยวจัด ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 2 3 5 6 7 10 11 และ 14

1.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 16 17 18 22 และ 59

1.4) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินทราย มีเนื้อดินทั้งบนและล่างเป็นดินทราย หรือดินทรายปนดินร่วน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 23

1.5) กลุ่มชุดดินที่ยกร่อง ส่วนใหญ่ทั้งดินบนและดินล่างเป็นดินเหนียว ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 8

1.6) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินตื้น มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวหรือดินเหนียว มีกรวดหรือลูกรังปะปนปริมาณร้อยละ 35 หรือมากกว่าโดยปริมาตร ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 25

1.7) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินอินทรีย์ มีการสะสมวัสดุอินทรีย์ที่สลายตัวน้อยถึงปานกลางเป็นชั้นหนาบางบริเวณในชั้นดินล่างมีตะกอนทะเลที่มีศักยภาพในการเป็นดินเปรี้ยวจัด ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 57 และ 58

2) ดินในพื้นที่ดอนที่อยู่ในเขตดินชื้น ดินมีช่วงแห้งติดต่อกันน้อยกว่า 45 วัน หรือดินแห้งรวมกันน้อยกว่า 90 วันในรอบปี มีการทำการเกษตรบริเวณสันดินริมน้ำ ลานตะพักลำน้ำ ที่ราบเชิงเขาและเนินเขาพื้นที่ที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน และภูมิประเทศ สภาพพื้นที่มีตั้งแต่ราบเรียบ เป็นลูกคลื่นเนินเขาและพื้นที่สูงชัน มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร การระบายน้ำดีปานกลาง ดี หรือดีมากเกินไป ดินมีสีน้ำตาลปนเทา สีน้ำตาล สีเหลือง สีแดง อาจพบจุดประสีเล็กน้อย ปฏิกิริยาดินมีตั้งแต่เป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อยความอุดมสมบูรณ์ต่ำประกอบด้วย 12 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 26 32 34 39 42 43 45 50 51 52 53 และ 60 จำแนกตามกลุ่มเนื้อดินอย่างกว้างๆ ได้ 4 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดังนี้

2.1) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งหรือดินเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 26 และ 53

2.2) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินร่วน มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 32 34 39 50 และ 60

2.3) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินทราย มีเนื้อดินทั้งบนและล่างเป็นดินทราย หรือดินทรายปนดินร่วน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 42 และ 43

2.4) กลุ่มเนื้อดินที่เป็นดินตื้น มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ส่วนดินล่างเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวหรือดินเหนียว มีกรวดหรือลูกรังปะปนปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร หรือถึงชั้นหินพื้นหรือชั้นมาร์ล ภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 45 51 และ 52

3) ดินบริเวณพื้นที่ภูเขาสูง มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 62

2.4 ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2.4.1 ความหมายของความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ความอุดมสมบูรณ์ของดิน หมายถึง ความสามารถของดินในการให้ธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (SSSA, 2008) ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงจะปลดปล่อยธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้ครบทุกธาตุ แต่ละธาตุเพียงพอ และสมดุลตามความต้องการของพืชในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต หากดินขาดธาตุอาหารใดก็ต้องใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุนั้นอย่างเพียงพอกับความต้องการของพืช (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ความอุดมสมบูรณ์สูงเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของดินที่มีคุณภาพดี (ยงยุทธ, 2557) ดังนั้นจึงควรรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อให้พืชมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดี การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางหรือข้อมูลสำหรับการใส่ปุ๋ยและจัดการ ซึ่งการศึกษาทางด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของระบบดินและพืชในฐานะที่ดินเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช ธาตุอาหารต่างๆ ในดินบางส่วนจะต้องอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและพืชดูดสะสมแล้วนำไปใช้ในการเจริญเติบโต

2.4.2 หลักการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การประเมินความสมบูรณ์ของดินในการคาดคะเนหรือประมาณว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์สูง ปานกลางหรือต่ำ เพื่อใช้สำหรับการเพาะปลูกพืชชนิดหนึ่งโดยอาศัยหลักในการประเมินด้วยวิธีการสังเกตอาการผิดปกติของพืช การวิเคราะห์ดิน และการวิเคราะห์พืช

1) การสังเกตอาการผิดปกติของพืชจากรายละเอียดของอาการขาดธาตุอาหารเป็นรูปแบบที่มีความสำคัญเฉพาะที่สามารถนำไปใช้ได้จริงไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใด โดยลักษณะของอาการที่ใบพืชสามารถนำมาใช้ในการวินิจฉัยปัญหาเกี่ยวกับธาตุอาหารพืชได้ทั้งในด้านรายละเอียดของอาการ และตำแหน่งของใบพืชที่แสดงอาการ (ยงยุทธ, 2543) โดยช่วงเวลาที่เหมาะสมในการสังเกตคือช่วงเวลาเช้าหรือเย็น ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่แสงไม่จ้าเกินไป เนื่องจากแสงจ้าเกินไปจะเก็บรายละเอียดที่ควรทราบได้ไม่หมด สำหรับตำแหน่งนั้นมักนิยมตรวจที่ใบโดยจะพบที่อาการที่ใบแก่หรือใบอ่อนก่อน นอกจากนั้นอาจพบอาการครั้งแรกที่ผล ราก หรือตายอดก็ได้ ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารแต่ละชนิดในพืช

ตารางที่ 2.1 แนวทางการวินิจฉัยการขาดธาตุอาหารแบบรวดเร็ว โดยจุดที่ควรสังเกต

ธาตุ	อาการ
	พบอาการครั้งแรกที่ใบแก่ **สีใบสม่ำเสมอทั่วแผ่นใบ**
ไนโตรเจน	ใบมีสีเขียวอ่อนจนถึงสีเหลือง
ฟอสฟอรัส	ผิวใบด้านไม่ขึ้นมัน สีเข้มขึ้นเป็นสีเขียวปนน้ำเงิน หรือเขียวปนม่วง การเจริญเติบโตลดลง
	สีใบไม่สม่ำเสมอแต่มีแบบอย่างเฉพาะ
โพแทสเซียม	ขอบใบไหม้หรือขอบใบเหลือง บางกรณีขอบใบโค้งขึ้นเล็กน้อยเป็นรูปถ้วย
แมกนีเซียม	ใบมีสีเหลืองเป็นหย่อมๆ ยังคงมีสีเขียวบริเวณฐานใบและพื้นที่เหนือฐานใบเป็นรูปสามเหลี่ยมบางกรณีปรากฏอาการระหว่างเส้นใบเป็นสีแดงเข้มหรือสีส้ม
	พบอาการครั้งแรกที่ใบแก่หรือใบอ่อน **สีใบไม่สม่ำเสมอแต่มีแบบอย่างเฉพาะ**
แมงกานีส	อาการคลอโรซิสกระจัดกระจายเป็นหย่อมๆ ระหว่างเส้นใบ ขนาดใบปกติ (ต่างจากอาการขาดสังกะสี)
	พบอาการครั้งแรกที่ใบอ่อน **สีใบไม่สม่ำเสมอแต่มีแบบอย่างเฉพาะ**
เหล็ก	เนื้อใบระหว่างเส้นใบเป็นสีเหลืองอ่อน เฉพาะบริเวณเส้นใบเท่านั้นที่ยังเป็นสีเขียวอยู่
สังกะสี	ใบเล็ก ต้นเตี้ย ข้อสั้น จึงเรียกอาการที่พบว่า ใบเล็ก (little leaf) หรือพุ่มใบแจ้ (rosette) หรือใบกระจุกซ้อนแบบกลีบกุหลาบ
ทองแดง	ปลายใบเรียว ขอบโค้งขึ้น แผ่นใบแคบ รูปทรงผิดปกติ หรือมีรอยไหม้เนื้อเยื่อปลายใบตาย อาการคลอโรซิสเกิดระหว่างเส้นใบ หรือเกิดในลักษณะไม่สม่ำเสมอ
	พบอาการชัดเจนที่อวัยวะอื่นปรากฏครั้งแรกที่ยอดอ่อนและผล
แคลเซียม	เปลือกผลแตกหรือปลายยอดอ่อนตาย
โบรอน	เนื้อในของผลปริแตกหรือยุบ รูปทรงของผลบิดเบี้ยว มีเนื้อเหมือนไม้ก๊อก (corkiness) เปลือกผลปริแตกหรือมียาง (gumming) ในเนื้อผล การพัฒนาของดอกผิดรูปแบบ หรือไม่ปฏิสนธิและเมล็ดฝ่อ

ที่มา : Weir and Cresswell, 1995

2) การวิเคราะห์ดินทางเคมี เป็นการใช้เทคนิคทางเคมีเพื่อสกัดธาตุอาหารส่วนที่คาดว่าเป็นประโยชน์ต่อพืชออกมาจากดิน แล้วนำสิ่งที่สกัดได้นั้นมาวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อให้ทราบว่าดินมีธาตุส่วนที่เป็นประโยชน์ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืชหรือไม่ หากไม่เพียงพอก็แนะนำชนิดและอัตราปุ๋ยที่ควรใช้เพื่อบำรุงดิน สำหรับเกณฑ์การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจากการวิเคราะห์ดินนั้น มีหลักเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจากค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งหากพิจารณาความอุดมสมบูรณ์ดินเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารหลักในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และปริมาณอินทรียวัตถุ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดด้านความสามารถในการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อาจแบ่งความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารหลักแต่ละธาตุได้เป็น 3 ระดับ คือ ต่ำ ปานกลาง และสูง (ตารางที่ 2.2) (กรมวิชาการเกษตร, 2548) การใช้ปุ๋ยเพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์จากระดับต่ำหรือปานกลางให้เป็นระดับสูงทำให้ดินสามารถสนองธาตุอาหารนั้นให้สอดคล้องกับความต้องการของพืช จะช่วยให้พืชเจริญเติบโตและมีผลผลิตสูงทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การแบ่งระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยพิจารณาจากปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน	อินทรียวัตถุ (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก.P/กก.)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก.K/กก.)
ต่ำ	< 1	< 10	< 60
ปานกลาง	1 - 2	10 - 15	60 - 100
สูง	> 2	> 15	> 100

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548

นอกจากการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจากค่าวิเคราะห์ดินโดยใช้ธาตุอาหารหลักแล้ว กรมพัฒนาที่ดินมีหลักเกณฑ์การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจากค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) และ อัตราร้อยละความอิ่มตัวด้วยเบส (BS) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยจะมีการกำหนดคะแนนของผลวิเคราะห์ดินในแต่ละพารามิเตอร์ และนำผลรวมของคะแนนมาประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยผลรวมคะแนน 5 - 7 จัดเป็นความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ 8 - 12 จัดเป็นความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลาง 13 - 15 จัดเป็นความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ระดับ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
อินทรียวัตถุ (%)	< 1.5	1.5 - 3.5	> 3.5
	(1 คะแนน)	(2 คะแนน)	(3 คะแนน)
ฟอสฟอรัส	< 10	10 - 25	> 25
ที่เป็นประโยชน์	(1 คะแนน)	(2 คะแนน)	(3 คะแนน)
(มก.P/กก.)			
โพแทสเซียม	< 60	60 - 90	> 90
ที่เป็นประโยชน์	(1 คะแนน)	(2 คะแนน)	(3 คะแนน)
(มก.K/กก.)			
ความจุในการแลกเปลี่ยน	< 10	10 - 20	> 20
ประจุบวก (cmol/กก.)	(1 คะแนน)	(2 คะแนน)	(3 คะแนน)
ความอิ่มตัวด้วยเบส (%)	< 35	35 - 75	> 75
	(1 คะแนน)	(2 คะแนน)	(3 คะแนน)

ที่มา : กองสำรวจดิน, 2523

3) การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจากการวิเคราะห์ใบพืชทางเคมี การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในใบพืชเป็นวิธีการประเมินว่าจะมีผลต่อปริมาณที่เพียงพอ หรือไม่ต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินว่าในขณะนั้นดินสามารถสนองธาตุอาหารให้แก่พืชในปริมาณที่เหมาะสมหรือไม่ หรือมีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอที่พืชจะดูดใช้ในการเจริญเติบโตหรือไม่ในขณะนั้น ซึ่งการวิเคราะห์ใบพืชนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงอายุและจำนวนใบของพืช แม้ว่าปริมาณทั้งหมดของธาตุอาหารในพืชจะผันแปรตามอายุแต่ถ้าเลือกเก็บตัวอย่างพืชที่มีอายุทางสรีระ (physiological age) เดียวกันทุกครั้งแล้ว ความแปรปรวนก็จะน้อยลง (ยงยุทธ, 2543) เช่น การวิเคราะห์ใบมันสำปะหลัง อายุ 3 - 5 เดือน มีปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วย ไนโตรเจน 51 - 58 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัส 3.6 - 5.0 กรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียม 13 - 20 กรัมต่อกิโลกรัม เป็นต้น (Reuter, 1997) (ตารางที่ 2.4) สำหรับมะเขือเทศความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบบนสุดของมะเขือเทศที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตจะแตกต่างกันในแต่ละระยะ โดยปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เพียงพอในระยะเริ่มออกดอก คือ 50 - 60 4 - 9 และ 38 - 60 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับในระยะเริ่มติดผล มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เพียงพอ 46 - 60 3 - 9 และ 33 - 50 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และระยะผลแรกสุกแก่ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เพียงพอ 46 - 60 3 - 9 และ 33 - 50 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2.5) (Huett *et al*., 1997)

ตารางที่ 2.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังจากต้นอายุ 3 - 4 เดือน ที่จัดว่าเพียงพอ ใบดัชนี (index leaf) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ แผ่นใบบนสุดซึ่งเจริญเต็มที่

ธาตุ	ระดับที่เพียงพอ
ไนโตรเจน (ก./กก.)	51 - 58
ฟอสฟอรัส (ก./กก.)	3.6 - 5.0
โพแทสเซียม (ก./กก.)	13 - 20
แคลเซียม (ก./กก.)	7.5 - 8.5
แมกนีเซียม (ก./กก.)	2.9 - 3.1
ซัลเฟอร์ (ก./กก.)	2.6 - 3.0
ทองแดง (ก./กก.)	6 - 10
สังกะสี (ก./กก.)	30 - 60
แมงกานีส (ก./กก.)	50 - 120
เหล็ก (ก./กก.)	120 - 140
โบรอน (ก./กก.)	30 - 60

ที่มา : Reuter, 1997

ตารางที่ 2.5 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบบนสุดของมะเขือเทศในระยะต่างๆ ที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต

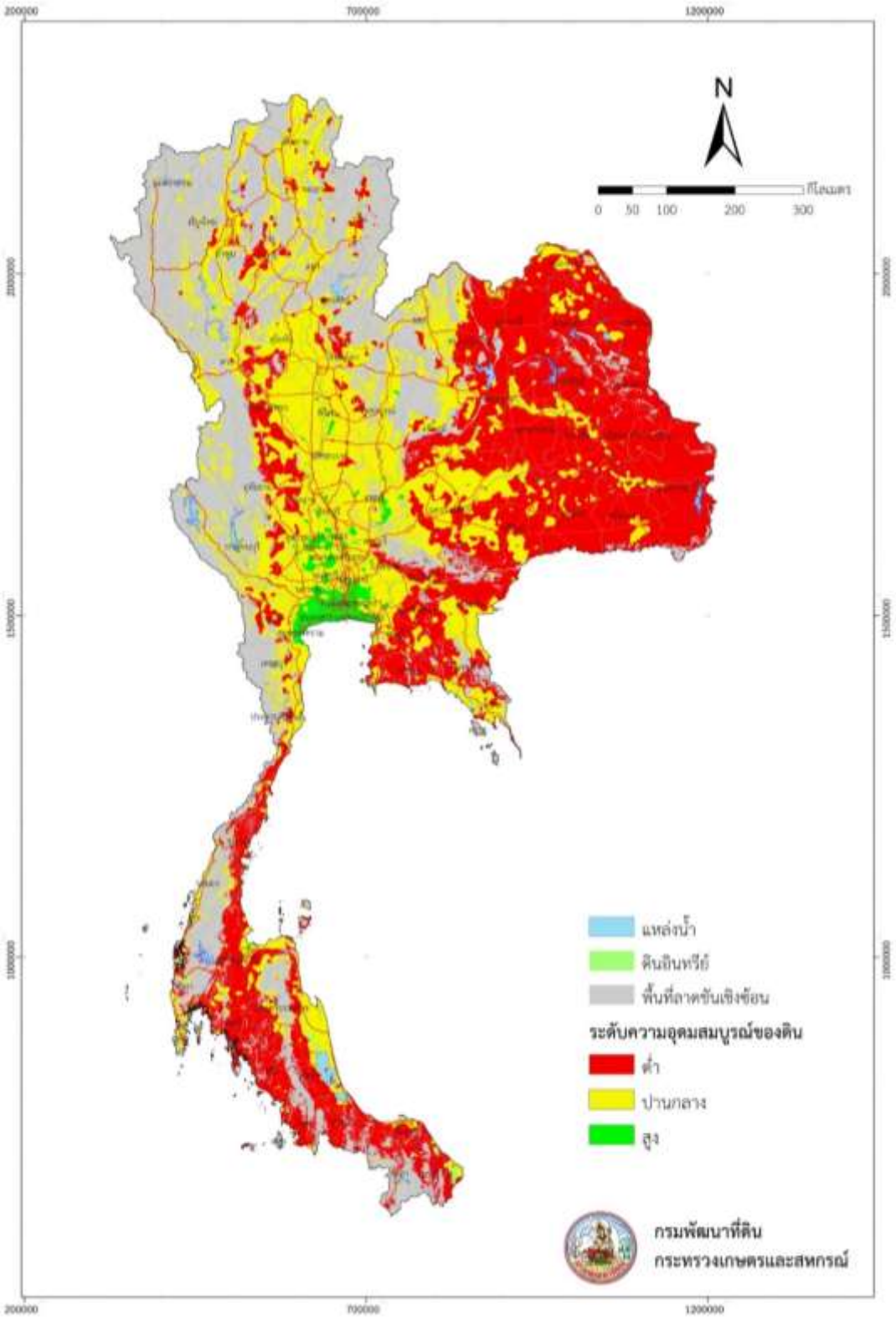
ธาตุ (ความเข้มข้น)	ระยะการเจริญเติบโต		
	เริ่มออกดอก	เริ่มติดผล	ผลแรกสุกแก่
ไนโตรเจน (ก./กก.)	50 - 60	46 - 60	45 - 46
ฟอสฟอรัส (ก./กก.)	4 - 9	3 - 9	4 - 9
โพแทสเซียม (ก./กก.)	38 - 60	33 - 50	30 - 50
แคลเซียม (ก./กก.)	15 - 25	14 - 32	14 - 40
แมกนีเซียม (ก./กก.)	40 - 6	3.9 - 7.1	4 - 12
โบรอน (มก./กก.)	30 - 100	-	-
ทองแดง (มก./กก.)	5 - 35	-	-
เหล็ก (มก./กก.)	60 - 300	-	-
แมงกานีส (มก./กก.)	50 - 250	-	-
สังกะสี (มก./กก.)	30 - 100	-	-
โมลิบดีนัม (มก./กก.)	0.6	-	-

ที่มา : Huett *et al*., 1997

2.5 ความอุดมสมบูรณ์ของดินประเทศไทย

ความอุดมสมบูรณ์ของดินมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการผลิตพืช แต่ยังมีสาเหตุหลายประการที่ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำซึ่งไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ได้แก่ สาเหตุจากดินเองเนื่องจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่แตกต่างกันมีผลทำให้สมบัติของดินมีความแตกต่างกัน วัตถุต้นกำเนิดดินที่ทำให้ดินมีเนื้อดินทรายก็จะทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำกว่าดินเหนียว เนื่องจากหินและแร่ที่มีองค์ประกอบของแร่ธาตุ

ต่างกัน นอกจากนี้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงยังเกิดจากมนุษย์ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เช่น ขาดการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ และขาดการอนุรักษ์ดินและน้ำส่งผลให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน นอกจากนี้ประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อน ภูมิอากาศร้อนชื้น ซึ่งมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ในดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ รวมทั้งจุลินทรีย์จะเกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินอย่างรวดเร็ว มีผลทำให้อินทรียวัตถุในดินลดลง ส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งดินในแต่ละภาคของประเทศไทยมีวัตถุต้นกำเนิดดินที่แตกต่างกัน รวมถึงการดูแลอนุรักษ์ดินและน้ำและการทำการเกษตรที่แตกต่างกัน ดังนั้นความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงแตกต่างกัน จากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน (2558ก) ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละภาคของประเทศไทย นำมาวิเคราะห์ดินเพื่อประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ในแต่ละภาคของประเทศไทย พบว่า ความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทยมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำมากสุดถึงร้อยละ 49.38 ระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลางร้อยละ 44.07 และระดับความอุดมสมบูรณ์สูงร้อยละ 6.58 (ภาพที่ 2.1) โดยความอุดมสมบูรณ์ของดินในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)



ภาพที่ 2.1 การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นบนของประเทศไทย

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก

2.5.1 ความอุดมสมบูรณ์ของดินภาคเหนือ

พื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่มีลักษณะเป็นภูเขาสูงชัน พื้นที่สูงสลับซับซ้อนมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าเกษตรกรใช้พื้นที่ในการทำการเกษตรโดยขาดการอนุรักษ์ดินและน้ำ ขาดการปรับปรุงดินทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง รวมทั้งดินภาคเหนือมีพัฒนาการและการชะล้างสูงจึงส่งผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ โดยจากการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจากผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร และสมบัติเคมีบางประการของดินภาคเหนือ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)

1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จากข้อมูลการวิเคราะห์ดิน จำนวน 15,875 ตัวอย่าง พบว่า จำนวนตัวอย่างมากที่สุด 6,094 ตัวอย่าง หรือ คิดเป็น 38.39 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 4.6 - 5.5 จัดเป็นดินกรดจัดมากถึงกรดจัด รองลงมา คือ 6,017 ตัวอย่าง หรือ คิดเป็น 37.90 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.6 - 6.5 จัดเป็นดินกรดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย จำนวน 2,255 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 14.20 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.6 - 7.5 จัดเป็นดินเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย (ตารางที่ 2.6) นอกจากนี้พื้นที่ดินกรดของภาคเหนือ แบ่งออกเป็นพื้นที่ลุ่มและพื้นที่ดอน ดินกรดในพื้นที่ลุ่มภาคเหนือ มีพื้นที่ 5,576,364 ไร่ ดินกรดพื้นที่ดอน 9,761,815 ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข) (ตารางที่ 2.7) ซึ่งความเป็นกรดของดินจะส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน โดยเฉพาะฟอสฟอรัส จะทำปฏิกิริยากับธาตุบางชนิดในดินทำให้แปรสภาพเป็นฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำยากและไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช และจุลธาตุบางชนิดจะละลายออกมามากทำให้เป็นพิษกับพืชได้ ดังนั้นก่อนการปลูกพืชจะต้องมีการปรับปรุงดินโดยการใช้ปูนเพื่อยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างให้เหมาะสมกับการปลูกพืช เช่น ปูนมาร์ล โดโลไมท์ และปูนขาว เป็นต้น

2) อินทรียวัตถุในดิน จากข้อมูลการวิเคราะห์ดิน จำนวน 15,882 ตัวอย่าง พบว่า จำนวนตัวอย่างมากที่สุด 8,125 ตัวอย่าง หรือ คิดเป็น 51.16 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรียวัตถุในช่วง 1.5 - 3.5 จัดอยู่ในระดับปานกลาง รองลงมา คือ 6,935 ตัวอย่าง หรือ คิดเป็น 43.67 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในระดับต่ำ และ จำนวน 822 ตัวอย่าง คิดเป็น 5.18 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในระดับสูง มีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่า 3.5 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.8) โดยจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคเหนือมีลักษณะเป็นพื้นที่สูง มีความลาดชัน ทำให้มีการชะล้างของดินสูงในพื้นที่ที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินที่ถูกต้อง ทำให้เกิดการชะล้างหน้าดินซึ่งอินทรียวัตถุในดินก็จะถูกชะล้างไปด้วย

3) ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ จากจำนวนตัวอย่างดิน 15,661 ตัวอย่าง มีจำนวน 7,743 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 49.44 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับต่ำ รองลงมาคือ จำนวน 4,421 ตัวอย่าง คิดเป็น 28.23 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับสูง และจำนวน 3,497 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 22.33 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 10 - 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับปานกลาง (ตารางที่ 2.9) ระดับของโพแทสเซียมในดินมีลักษณะเดียวกันกับฟอสฟอรัส จากจำนวนตัวอย่างดิน 15,754 ตัวอย่าง พบว่า 6,348 ตัวอย่าง หรือ 40.29 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับต่ำ รองลงมาคือ จำนวน 5,982 ตัวอย่าง คิดเป็น 37.97 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มากกว่า 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับสูง และจำนวน 3,424 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 21.73 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ 60 - 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับปานกลาง (ตารางที่ 2.10) โดยปริมาณโพแทสเซียมในดินมีผลมาจาก

ปริมาณอนุภาคดิน โดยดินที่มีอนุภาคดินเหนียวจะมีโพแทสเซียมในดินทุกรูป ซึ่งในดินในภาคเหนือในส่วนที่เป็นดินลุ่มจะมีดินที่เป็นเนื้อดินเหนียว ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 1 4 5 6 และ 7 และดินในพื้นที่ดอน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 28 29 30 31 54 และ 56

2.5.2 ความอุดมสมบูรณ์ของดินภาคกลาง

ดินภาคกลางจัดเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าดินในภาคอื่นๆ เนื่องจากสภาพทั่วไปเป็นพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำแม่กลอง วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำพา แต่บางพื้นที่ยังพบดินปัญหา เช่น ดินเค็มภาคกลาง และดินเปรี้ยว สำหรับข้อมูลการวิเคราะห์ดินภาคกลางเพื่อนำมาประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ประกอบด้วย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน อินทรียวัตถุในดิน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)

1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน กรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ภาคกลางจำนวนตัวอย่าง 12,833 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน พบว่า ตัวอย่างดินส่วนใหญ่จำนวน 5,192 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 40.46 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.6 - 6.5 เป็นดินกรดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย รองลงมาคือ 3,070 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 23.92 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 4.6 - 5.5 เป็นดินกรดจัดมากถึงกรดจัด และ 3,050 ตัวอย่าง คิดเป็น 23.77 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.6 - 7.5 เป็นดินเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย (ตารางที่ 2.6) สำหรับข้อมูลพื้นที่ดินกรดของภาคกลางเมื่อแบ่งออกเป็นพื้นที่ลุ่มและพื้นที่ดอน ดินกรดในพื้นที่ลุ่มภาคกลางมีพื้นที่ 1,866,349 ไร่ ดินกรดพื้นที่ดอน 3,608,291 ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข) (ตารางที่ 2.7)

2) อินทรียวัตถุในดิน กรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ภาคกลางจำนวน 12,792 ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่าดินส่วนใหญ่จำนวน 7,256 ตัวอย่าง คิดเป็น 56.72 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 1.5 - 3.5 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในระดับปานกลาง รองลงมาจำนวน 3,728 ตัวอย่าง คิดเป็น 29.14 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในระดับต่ำ และ 1,808 ตัวอย่าง คิดเป็น 14.13 เปอร์เซ็นต์ มีอินทรียวัตถุมากกว่า 3.5 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในระดับสูง (ตารางที่ 2.8)

3) ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน ในส่วนของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินภาคกลาง มีปริมาณกระจายอยู่ทั้ง 3 ระดับ ใกล้เคียงกัน คือ ปริมาณฟอสฟอรัสระดับต่ำ มีจำนวน 4,238 ตัวอย่าง คิดเป็น 35.54 เปอร์เซ็นต์ ระดับปานกลาง มีจำนวน 3,862 ตัวอย่าง คิดเป็น 31.47 เปอร์เซ็นต์ และระดับสูง มีจำนวน 4,171 ตัวอย่าง คิดเป็น 33.99 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.9) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินภาคกลาง จากจำนวนข้อมูล 12,778 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมในระดับสูง จำนวน 7,130 ตัวอย่าง คิดเป็น 55.80 เปอร์เซ็นต์ ระดับต่ำ จำนวน 3,421 ตัวอย่าง คิดเป็น 28.77 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.10) ปริมาณโพแทสเซียมในดินภาคกลางส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับสูง เนื่องจากเป็นดินที่มีการพัฒนาการไม่มากนัก เป็นดินเหนียวที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่พัดพากับน้ำและมีการใช้ประโยชน์ที่ดินในการปลูกข้าว ซึ่งดินเหนียวประกอบด้วยส่วนที่เป็นแร่ดินเหนียว และแร่ปฐมภูมิที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ เช่น เฟลด์สปาร์ และไมกา และดินในที่ลุ่มจะมีองค์ประกอบของอิลไลต์ที่มีแร่ดินเหนียวอยู่ในระหว่างผลึก อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยไม่ถูกวิธีและอย่างต่อเนื่องจึงพบบางพื้นที่มีปริมาณโพแทสเซียมในระดับต่ำ

2.5.3 ความอุดมสมบูรณ์ของดินภาคตะวันออก

ดินในภาคตะวันออกได้รับอิทธิพลจากตะกอนลำน้ำจากแม่น้ำปราณบุรี จันทบุรี และลุ่มน้ำโตนสาบ เป็นดินที่มีการพัฒนาการสูง เนื่องจากการสลายตัวของหินทราย ซึ่งทำให้มีความอุดมสมบูรณ์

ของดินต่ำ โดยจากการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจากผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร และสมบัติเคมีบางประการของดินภาคตะวันออก ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ มีดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)

1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ดินในภาคตะวันออกเป็นดินที่มีพัฒนาการของดินที่สูงจึงทำให้คงเหลือประจุที่เป็นด่างในดินน้อย ส่งผลให้ดินมีสภาพความเป็นกรด โดยจากข้อมูลผลวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินส่วนใหญ่จึงอยู่ในระดับกรดจัดมากถึงกรดจัด มีค่าในช่วง 4.6 - 5.5 มีจำนวน 2,268 ตัวอย่าง คิดเป็น 47.17 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งดินที่สภาพกรดจัดรุนแรงมาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้อยกว่า 4.6 มีจำนวน 835 ตัวอย่าง คิดเป็น 17.37 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.6) เนื่องจากบางพื้นที่ได้รับอิทธิพลของดินเปรี้ยวจัด สำหรับข้อมูลพื้นที่ดินกรดภาคตะวันออก กระจายอยู่ทั้งพื้นที่ลุ่ม 2,036,990 ไร่ และพื้นที่ดอน 5,167,150 ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข) (ตารางที่ 2.7)

2) อินทรียวัตถุในดิน สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุ ส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ มีค่าอินทรียวัตถุต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีจำนวน 2,880 ตัวอย่าง จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 4,804 ตัวอย่าง คิดเป็น 59.95 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ระดับปานกลาง จำนวน 1,649 ตัวอย่าง คิดเป็น 34.33 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.8) เนื่องจากดินมีพัฒนาการสูง โดยบริเวณตอนบนของภาคเป็นดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินทรายและทางด้านตะวันตกเป็นดินที่สลายตัวมาจากหินแกรนิต

3) ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน สำหรับค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารทั้งฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ดินส่วนใหญ่มีปริมาณธาตุอาหารในระดับต่ำ พบว่า จากจำนวนตัวอย่างดินทั้งหมด 12,271 ตัวอย่าง มีตัวอย่างดิน 2,270 ตัวอย่าง ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับต่ำ คิดเป็น 48.16 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโพแทสเซียมจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน 12,778 ตัวอย่าง มีจำนวน 3,151 ตัวอย่าง คิดเป็น 69.48 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับต่ำ (ตารางที่ 2.9 และ 2.10)

2.5.4 ความอุดมสมบูรณ์ของดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินทรายจึงทำให้ดินมีอนุภาคดินทรายสูง จึงเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำตามธรรมชาติ ซึ่งจากการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ในปี พ.ศ.2546 พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง 1,003,893.73 ไร่ หรือ 37.95 เปอร์เซ็นต์ ในปี พ.ศ.2560 พบว่า ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ 1,663,075.55 ไร่ หรือ 84.86 เปอร์เซ็นต์ ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง 9,729.69 ไร่ หรือ 0.50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผลการศึกษาของวัชรีและวิทยา (2561) พบว่าดินในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางลดลงประมาณ 994,164.04 ไร่ หรือ 50.73 เปอร์เซ็นต์ และพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณ 919,425.14 ไร่ หรือ 46.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะพบว่าพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำเป็นส่วนใหญ่ หรืออาจกล่าวได้ว่า พื้นที่ความอุดมสมบูรณ์ปานกลางเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้กรมพัฒนาที่ดินได้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจากผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร และสมบัติเคมีบางประการของดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก) มีดังนี้

1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินที่เกิดการกร่อนและชะล้างธาตุอาหารสูง เนื่องจากมีอนุภาคดินทรายสูงจึงมีผลทำให้ดินมีสภาพความเป็นกรด ซึ่งจากข้อมูลการวิเคราะห์ดินส่วนใหญ่อยู่ในระดับกรดจัดถึงกรดจัดมาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 4.6 - 5.5 มี

จำนวน 19,212 ตัวอย่าง คิดเป็น 56.45 เปอร์เซ็นต์ และดินกรดรุนแรงมาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 4.6 มีจำนวน 5,518 ตัวอย่าง คิดเป็น 16.21 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.6) โดยมีพื้นที่ดินกรดในพื้นที่ลุ่ม 21,054,275 ไร่ พื้นที่ดอน 27,791,809 ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข) (ตารางที่ 2.7)

2) อินทรียวัตถุในดิน จากการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ จากตัวอย่างดิน 34,023 ตัวอย่าง ดินส่วนใหญ่จำนวน 29,382 ตัวอย่าง คิดเป็น 86.36 เปอร์เซ็นต์ มีอินทรียวัตถุในระดับต่ำ มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มีจำนวนตัวอย่างดิน 263 ตัวอย่าง คิดเป็น 0.77 เปอร์เซ็นต์ มีอินทรียวัตถุในระดับสูง มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่า 3.5 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.8)

3) ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับต่ำ โดยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน 33,899 ตัวอย่าง พบว่ามีจำนวนตัวอย่างดิน 24,554 ตัวอย่าง คิดเป็น 72.43 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสในระดับต่ำ มีค่าต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับผลวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์จากจำนวนตัวอย่างดินทั้งหมด31,859 ตัวอย่าง มีจำนวน 25,701 ตัวอย่าง คิดเป็น 80.67 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับต่ำ (ตารางที่ 2.9 และ 2.10)

2.5.5 ความอุดมสมบูรณ์ของดินภาคใต้

ภาคใต้เป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากมรสุมเขตร้อนจึงทำให้มีฝนตกชุก ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีการชะล้างสูง ทำให้แร่ธาตุสลายตัวและแปรสภาพเป็นดินเหนียวจำพวกเคโอลิไนท์ ซึ่งมีธาตุอาหารต่ำ ดังนั้นความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ โดยจากการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจากผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร และสมบัติเคมีบางประการของดินภาคใต้ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ มีดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)

1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ส่วนใหญ่อยู่ในระดับกรดจัดถึงกรดจัดมาก มีจำนวน 5,054 ตัวอย่าง คิดเป็น 58.17 เปอร์เซ็นต์ และดินกรดรุนแรง มีจำนวน 1,845 ตัวอย่าง คิดเป็น 21.23 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.6) โดยมีพื้นที่ดินกรดในพื้นที่ลุ่ม 5,280,143 ไร่ พื้นที่ดอน 13,267,405 ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข) (ตารางที่ 2.7)

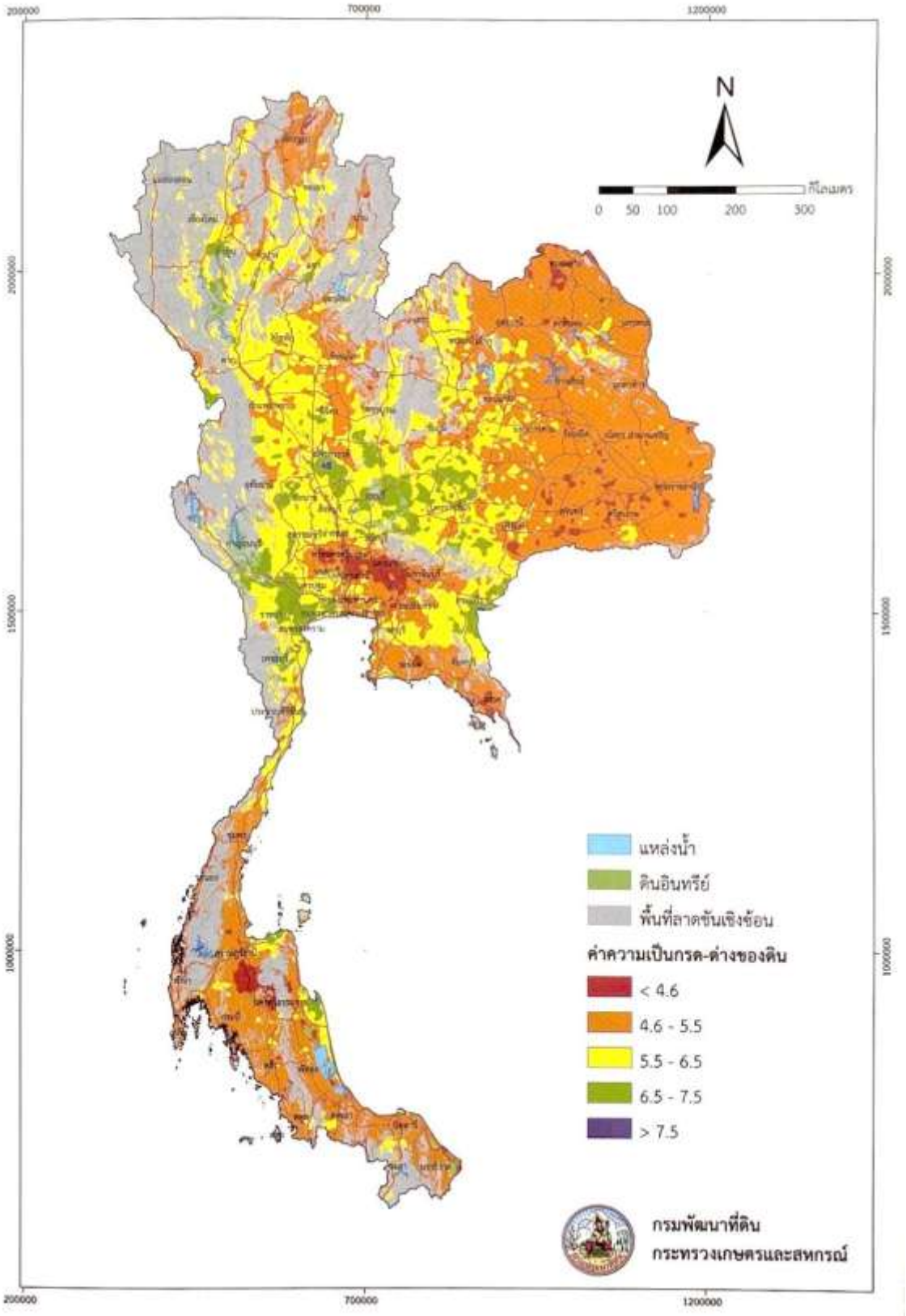
2) อินทรียวัตถุในดิน จากการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำและปานกลาง ซึ่งจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทั้งหมด 8,645 ตัวอย่าง มีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวน 4,536 ตัวอย่าง คิดเป็น 52.47 เปอร์เซ็นต์ และอินทรียวัตถุ 1.5 - 3.5 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวน 3,734 ตัวอย่าง คิดเป็น 43.16 เปอร์เซ็นต์ ตารางที่ 2.8อย่างไรก็ตามพื้นที่บริเวณปากพนังและรอบๆทะเลสาบสงขลาบางส่วนเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางและสูง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นบริเวณพื้นที่ลุ่มทำให้มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนลำน้ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก)

3) ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินจากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์จากตัวอย่างดินจากภาคใต้ พบว่า มีจำนวนตัวอย่างดิน 5,958 ตัวอย่าง คิดเป็น 69.36 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสในระดับต่ำ มีค่าต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในระดับต่ำนี้ส่วนใหญ่จะพบในพื้นที่ของภาคใต้ตอนล่าง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์จากตัวอย่างดินทั้งหมด 8,380 ตัวอย่าง มีจำนวน 6,238 คิดเป็น 74.11 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมในระดับต่ำ มีค่าต่ำกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 2.9 และ 2.10)

ตารางที่ 2.6 ผลวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างของดินในแต่ละภาคของประเทศไทย

ภาค	จำนวนข้อมูล	< 4.6		4.6 - 5.5		5.6 - 6.5		6.6 - 7.5		> 7.5	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
เหนือ	15,875	1,039	6.54	6,094	38.39	6,017	37.90	2,255	14.20	470	2.96
กลาง	12,833	1,245	9.70	3,070	23.92	5,192	40.46	3,050	23.77	276	2.15
ตะวันออก	4,808	835	17.37	2,268	47.17	1,154	24.00	446	9.28	105	2.18
ตะวันออกเฉียงเหนือ	34,032	5,518	16.21	19,212	56.45	6,354	18.67	2,318	6.81	630	1.85
ใต้	8,689	1,845	21.23	5,054	58.17	1,171	13.48	461	5.31	158	1.82
รวม	**76,237**	**10,482**	**13.75**	**35,698**	**6.83**	**19,888**	**26.09**	**8,530**	**11.19**	**1,639**	**2.15**

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก



ภาพที่ 2.2 การประเมินระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินชั้นบนของประเทศไทย

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก

ตารางที่ 2.7 พื้นที่ดินกรดรายภาคของประเทศไทย

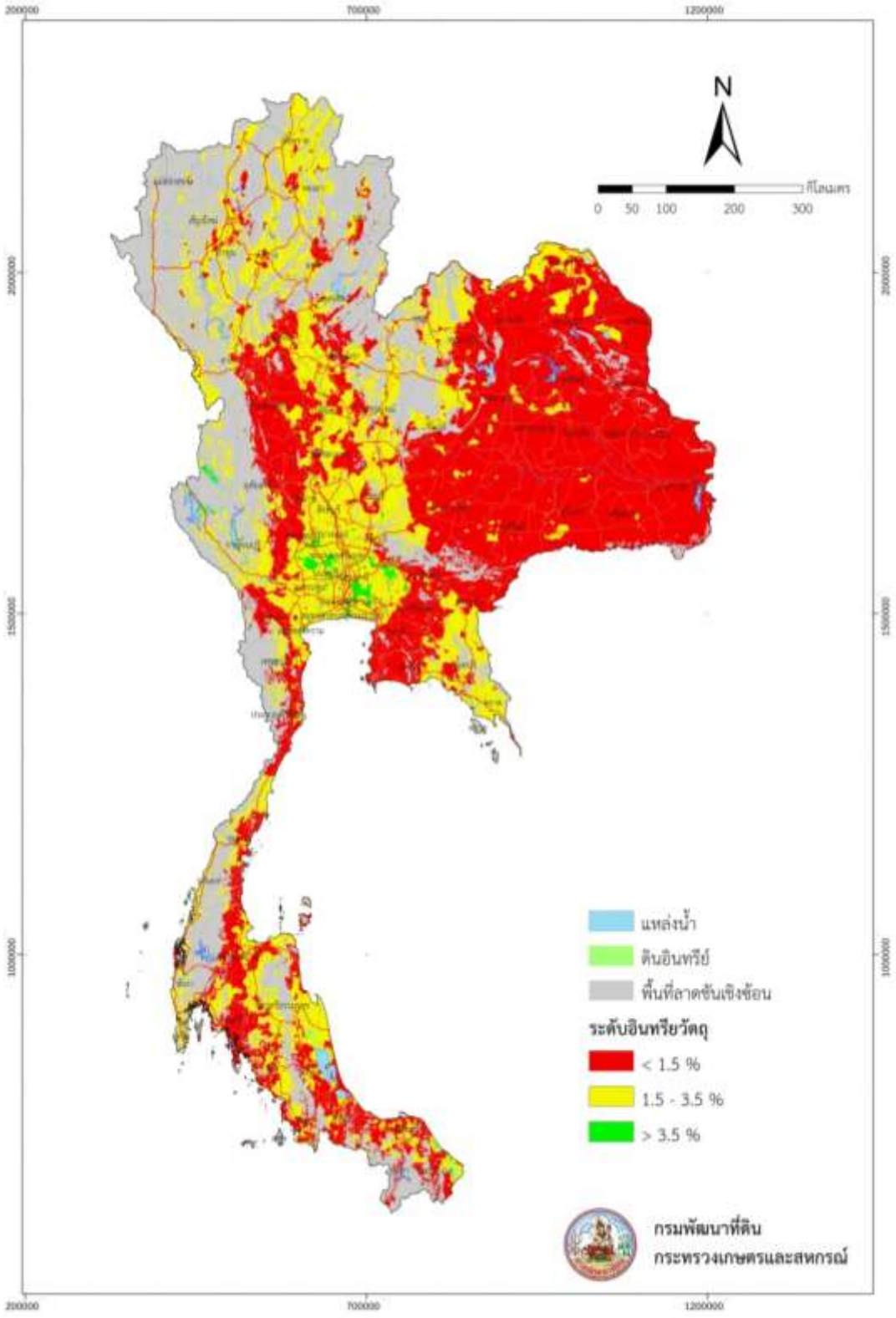
ภาค	พื้นที่ (ไร่)
1. ดินกรดพื้นที่ลุ่ม	**35,814,121**
ภาคเหนือ	5,576,364
ภาคกลาง	1,866,349
ภาคตะวันออก	2,036,990
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	21,054,275
ภาคใต้	5,280,143
2. ดินกรดพื้นที่ดอน	**59,596,470**
ภาคเหนือ	9,761,815
ภาคกลาง	3,608,291
ภาคตะวันออก	5,167,150
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	27,791,809
ภาคใต้	13,267,405
รวม	**95,410,591**

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข

ตารางที่ 2.8 ผลวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดินแต่ละภาคของประเทศไทย

ภาค	จำนวนข้อมูล	ระดับอินทรียวัตถุ (%)					
		ต่ำ (< 1.5)		ปานกลาง (1.5 - 3.5)		สูง (> 3.5)	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
เหนือ	15,882	6,935	43.67	8,125	51.16	822	5.18
กลาง	12,792	3,728	29.14	7,256	56.72	1,808	14.13
ตะวันออก	4,804	2,880	59.95	1,649	34.33	275	5.72
ตะวันออกเฉียงเหนือ	34,023	39,382	86.36	4,378	12.87	263	0.77
ใต้	8,645	4,536	52.47	3,734	43.19	375	4.34
รวม	**76,146**	**47,461**	**62.33**	**25,142**	**33.02**	**3,543**	**4.65**

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก



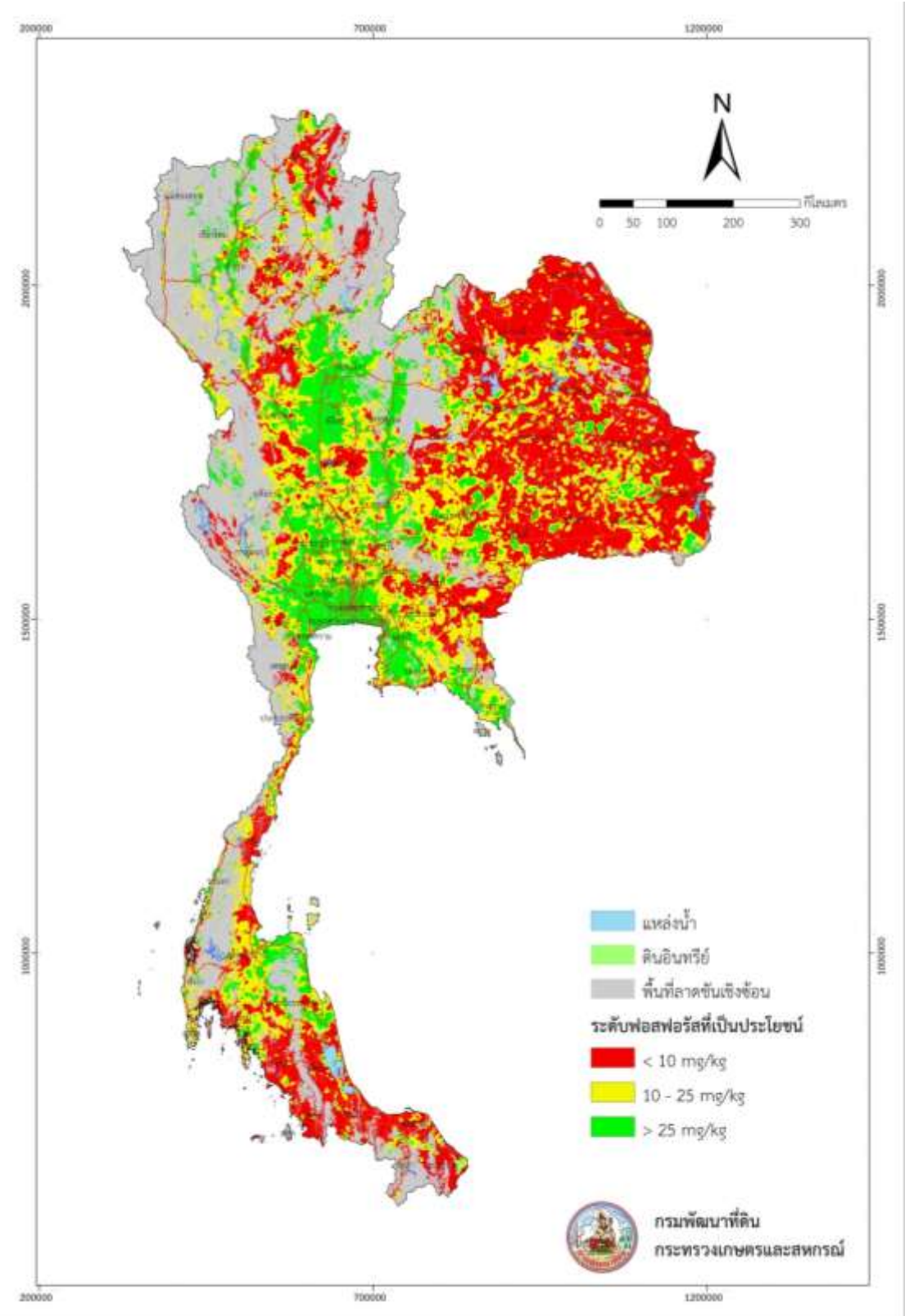
ภาพที่ 2.3 การประเมินระดับปริมาณอินทรียวัตถุในดินชั้นบนของประเทศไทย

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก

ตารางที่ 2.9 ผลวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแต่ละภาคของประเทศไทย

ภาค	จำนวนข้อมูล	ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก./กก.)					
		ต่ำ (< 10)		ปานกลาง (10 - 25)		สูง (> 25)	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
เหนือ	15,661	7,743	49.44	3,497	22.33	4,421	28.23
กลาง	12,271	4,238	35.54	3,862	31.47	4,171	33.99
ตะวันออก	4,713	2,270	48.16	1,432	30.38	1,011	21.45
ตะวันออกเฉียงเหนือ	33,899	24,554	72.43	5,971	17.61	3,374	9.95
ใต้	8,590	5,958	69.36	1,682	19.58	950	11.06
รวม	**75,134**	**44,763**	**59.58**	**16,444**	**21.89**	**13,927**	**18.54**

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก

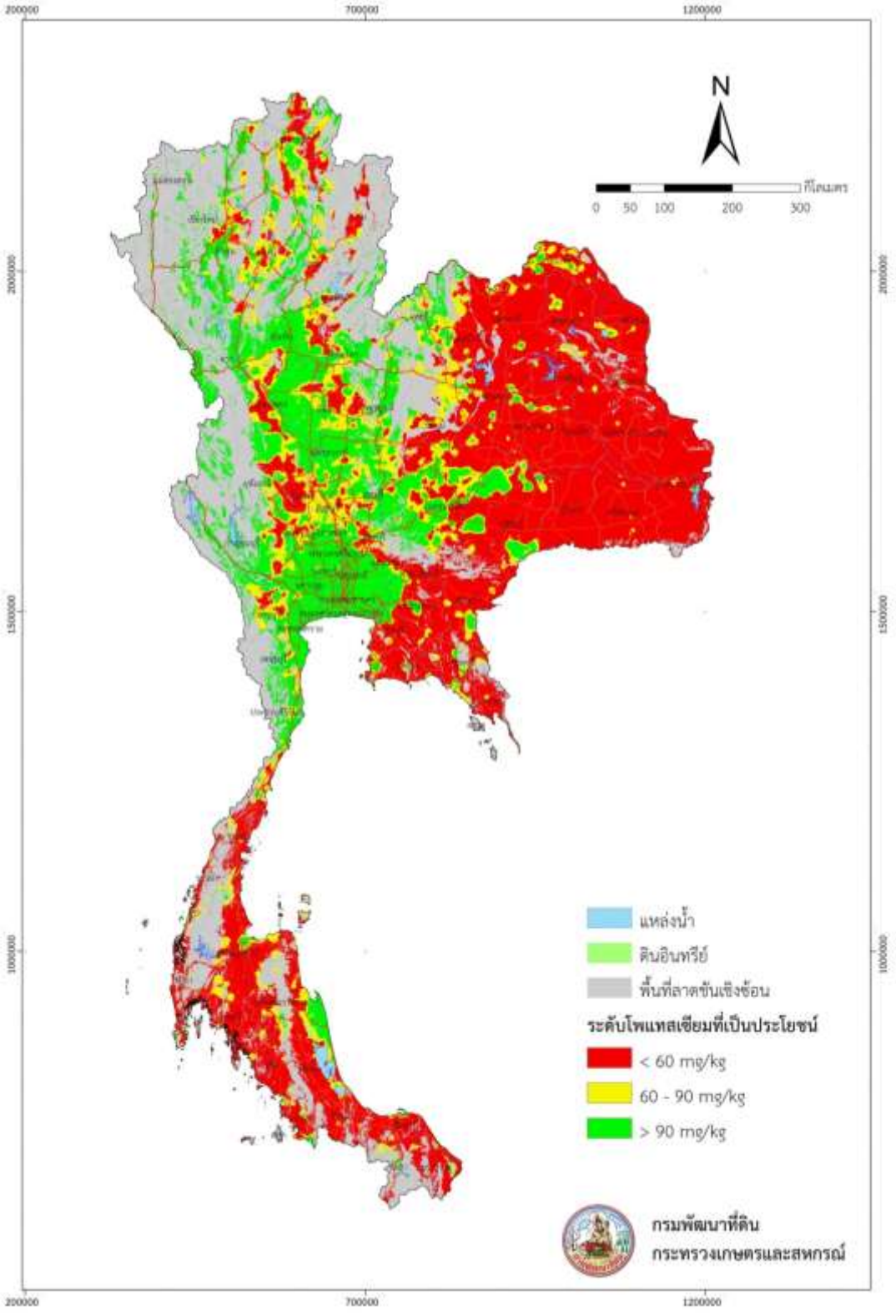


ภาพที่ 2.4 การประเมินระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินชั้นบนของประเทศไทย
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก

ตารางที่ 2.10 ผลวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินแต่ละภาคของประเทศไทย

ภาค	จำนวนข้อมูล	ระดับโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (มก./กก.)					
		ต่ำ (< 60)		ปานกลาง (60 - 90)		สูง (> 90)	
		จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
เหนือ	15,754	6,348	40.29	3,424	21.73	5,982	37.97
กลาง	12,778	3,421	28.77	2,227	17.43	7,130	55.80
ตะวันออก	4,535	3,151	69.48	376	8.29	1,008	22.23
ตะวันออกเฉียงเหนือ	31,859	25,701	80.67	2,932	9.20	3,226	10.13
ใต้	8,380	6,238	74.11	1,376	16.42	766	9.14
รวม	**73,306**	**44,859**	**61.19**	**10,335**	**14.10**	**18,112**	**24.71**

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก



ภาพที่ 2.5 การประเมินระดับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินชั้นบนของประเทศไทย
ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก

2.6 สภาพปัญหาของดินในพื้นที่การเกษตรของประเทศไทย

ดินปัญหาเป็นดินที่มีสมบัติไม่เหมาะสมหรือเหมาะสมน้อยต่อการปลูกพืช ถ้านำดินนั้นมาทำการเกษตรจะมีผลทำให้ไม่สามารถให้ผลผลิตหรือให้ผลผลิตต่ำ นอกจากนี้ยังรวมไปถึงดินที่มีข้อจำกัดต่อการใช้ประโยชน์ ซึ่งเมื่อนำไปใช้ประโยชน์จะเกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศอย่างรุนแรงด้วย ซึ่งดินปัญหาเกิดได้ทั้งจากธรรมชาติ เช่น วัตถุต้นกำเนิดดิน และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ โดยดินปัญหาที่พบในประเทศไทย มีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 175,534,325 ไร่ ประกอบด้วย ดินเปรี้ยวจัด 6,239,361 ไร่ ดินกรด 95,410,591 ไร่ ดินอินทรีย์ 260,109 ไร่ ดินเค็ม 14,393,469 ไร่ ดินทรายจัด 12,544,293 ไร่ ดินตื้น 46,090,109 ไร่ ดินพื้นที่สูงหรือพื้นที่ภูเขา 96,006,984 ไร่ และปัญหาดินดานพบกระจายอยู่ทั่วไป (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข) ซึ่งดินปัญหาในแต่ละประเภทมีลักษณะและสภาพปัญหาต่อการเกษตร ดังนี้

2.6.1 ดินเปรี้ยวจัด หรือ ดินกรดกำมะถัน เป็นดินที่เกิดจากตะกอนซึ่งมีการสะสมของแร่เหล็กซัลไฟด์ เช่น ไพไรต์ (FeS_2) ในสภาพรีดักชัน เมื่อผ่านกระบวนการออกซิเดชันจะทำให้เกิดกรดกำมะถัน แร่เหล็กไฮดรอกไซด์ และแร่จาโรไซต์ (jarosite) (Fanning and Rabenhorst, 2008) ดินเปรี้ยวจัดมักมีสภาพความเป็นกรดรุนแรงมาก (pH< 4) ทำให้ธาตุโลหะ เช่น เหล็ก และอะลูมินั่ม อาจละลายออกมาในระดับที่เป็นพิษต่อพืช นอกจากนี้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเปรี้ยวจัดมักอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากมักถูกตรึงโดยแร่เหล็กและอะลูมินั่มออกไซด์ในดิน และมักตกตะกอนเป็นแร่สเตรนไจต์ ($FePO_4 .2H_2O$) และวาริสไซต์ ($AlPO_4 .2H_2O$) ตามลำดับ (Johnston *et al*., 2011) โดยดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนละเอียด พบจุดประสีเหลืองฟางข้าว กระจายอยู่ทั่วไปในชั้นดิน ภายในความลึก 150 เซนติเมตรจากผิวดิน ถ้าพบภายในความลึก 50 เซนติเมตร จัดเป็นดินเปรี้ยวจัดที่พบชั้นดินกรดกำมะถันตื้น พบภายในความลึก 50 - 100 เซนติเมตร จัดเป็นดินเปรี้ยวจัดที่พบชั้นดินกรดกำมะถันลึกปานกลาง ภายในความลึก 100 - 150 เซนติเมตร จัดเป็นดินเปรี้ยวจัดที่พบชั้นดินกรดกำมะถันลึก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ก) โดยดินเปรี้ยวจัดพบกระจายในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ (ตารางที่ 2.11) ส่วนใหญ่มักใช้เพื่อการปลูกข้าวในเขตชลประทาน โดยลักษณะเชิงวิทยาแร่ในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินนี้ มักมีแร่ดินเหนียวในกลุ่ม 2:1 เป็นแร่เด่น (Janjirawuttikul *et al*., 2011) อย่างไรก็ตามดินดังกล่าวยังมีข้อจำกัดจากสภาพของความเป็นกรดรุนแรงจึงทำให้ขาดธาตุอาหารและความสมดุลของธาตุอาหารพืช เกิดความเป็นพิษของธาตุเหล็ก และอะลูมินั่มที่ละลายออกมามาก แนวทางการจัดการดินเปรี้ยวจัดคือการยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินโดยใช้ปูนทางการเกษตร เช่น ปูนมาร์ล โดโลไมท์ หินปูนฝุ่น และปูนขาว เป็นต้น ซึ่งอัตราคำแนะนำการใช้ปูนขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของกรด

ตารางที่ 2.11 การแพร่กระจายของดินเปรี้ยวจัดในจังหวัดต่างๆ

จังหวัด	พื้นที่ (ไร่)
นครนายก	603,811
นครปฐม	526,501
นนทบุรี	45,562
ปทุมธานี	688,940
ประจวบคีรีขันธ์	46,821
พระนครศรีอยุธยา	1,206,115
อ่างทอง	25,264
เพชรบุรี	43,396
ราชบุรี	136,825
สมุทรปราการ	28,484
สมุทรสาคร	2,692
สระบุรี	67,510
สุพรรพบุรี	593,608
รวมภาคกลาง	**4,015,529**
จันทบุรี	36,022
ฉะเชิงเทรา	606,935
ชลบุรี	99,811
ตราด	83,985
ปราจีนบุรี	426,020
ระยอง	12,013
รวมภาคตะวันออก	**1,264,787**
กระบี่	1,450
ชุมพร	43,215
ตรัง	12,979
นครศรีธรรมราช	355,230
นราธิวาส	138,759
ปัตตานี	102,313
พัทลุง	62,052
สงขลา	136,711
สตูล	9,216
สุราษฎร์ธานี	97,120
รวมภาคใต้	**959,045**
รวมทั้งประเทศ	**6,239,361**

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข

2.6.2 ดินกรด เป็นดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 7.0 (SSSA, 2008) และเป็นดินที่มีปริมาณธาตุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cations) ส่วนใหญ่จะเป็นไฮโดรเจนไอออนในรูปต่างๆ ซึ่งเมื่อธาตุประจุบวกที่เป็นกรดเหล่านี้แตกตัวออกมาจากดินที่ดูดซับไว้ ก็จะให้อนุมูลอิสระของไฮโดรเจนออกมาในสารละลายดิน ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า 7 ยิ่งมีการแตกตัวออกมามาก ปริมาณอนุมูลอิสระของไฮโดรเจนในสารละลายดินก็ยิ่งมีมาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินก็จะยิ่งต่ำมาก ความเป็นกรดของดินก็จะยิ่งสูง และเมื่อธาตุอาหารพวกไอออนบวกที่เป็นด่างของดินเหล่านี้ถูกชะออกไปจากดิน ไอออนบวกเหล่านี้ก็จะถูกแทนที่ด้วยไอออนบวกที่เป็นกรดโดยเฉพาะอะลูมินั่มไอออน ทำให้ดินมีความอิ่มตัวด้วยอะลูมินั่มมากขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ก) ดังนั้นค่าความอิ่มตัวด้วยอะลูมินั่มจึงเป็นตัวชี้วัดความรุนแรงของความเป็นกรดของดินได้ดีอีกด้วย (Spain, 1986) โดยดินกรดเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง H^+ จากกรดคาร์บอนิกกับเบสิกแคตไอออน (basic cation) ที่แลกเปลี่ยนได้ในกระบวนการพัฒนาของดิน เดิมทีเดียวเมื่อดินมีกำเนิดขึ้นมาในระยะแรกๆ จากการผุพังอยู่กับที่ (weathering) ของหินและแร่ต่าง ๆนั้น ดินจะมีแคตไอออนต่างๆ ที่มีปฏิกิริยาเป็นด่างหรือที่เรียกว่าเบสิกแคตไอออน อาทิเช่น Ca^{++}, Mg^{++}, K^{++} และ Na^{++} ดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวเป็นจำนวนมาก และในขณะนั้นดินจะไม่มีปฏิกิริยาเป็นกรด ต่อมาเมื่อมีการชะละลายโดยน้ำฝนที่ตกลงมาและไหลซึมผ่านดินเกิดขึ้นติดต่อกันเป็นเวลานานเข้าเบสิกแคตไอออนต่างๆ จะถูกพัดพาให้สูญหายไปทั้งนี้เพราะเมื่อน้ำฝนไหลซึมผ่านดินอยู่นั้นจะละลายเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งมีอยู่เป็นปริมาณมากในดิน เกิดเป็นกรดคาร์บอนิค (H_2CO_3) ซึ่งจะแตกตัวได้ง่ายให้ H^+ ทำให้น้ำที่ไหลซึมผ่านดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด และขณะที่มันไหลซึมผ่านดินลงไปนั้น H^+ ก็จะไล่ที่เบสิกแคตไอออนซึ่งดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินให้สูญหายไปโดยถูกพัดพาไปกับน้ำที่ไหลซึมชั้นดินและ H^+ ในน้ำก็จะดูดซับอยู่ที่ผิวของดินเหนียวแทน เมื่อกระบวนการนี้ดำเนินไปนานเข้า จนในที่สุดเมื่อพื้นผิวของอนุภาคดินมีไฮโดรเจนมากขึ้นและมีปริมาณสูงกว่าเบสิกแคตไอออน ก็ทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด อีกสาเหตุหนึ่งก็คือหากดินมีอินทรียสารทับถมอยู่มาก เมื่ออินทรียสารนี้เน่าเปื่อยลง จะมีกรดอินทรีย์ต่างๆ เกิดขึ้นด้วย กรดเหล่านี้เมื่อเกิดขึ้นในดินก็จะมีผลทำให้ดินเป็นกรดด้วยทั้งนั้น เพราะ H^+ จากกรดเหล่านี้จะเข้าไปไล่ที่พวกแคตไอออนที่เป็นด่าง ซึ่งในที่สุดก็จะถูกชะละลายสูญหายไป จึงทำให้ดินที่ตกค้างอยู่กลายเป็นกรดไปทีละน้อย (เจริญ และคณะ, 2540) สำหรับดินกรดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใส่ปุ๋ยยูเรียและปุ๋ยแอมโมเนียมอย่างไม่ถูกต้อง เป็นเหตุให้มีการสะสมแอมโมเนียมในดิน กระบวนการไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียมก่อให้เกิด H^+ ในดิน (ยงยุทธ, 2560) นอกจากนี้ในย่านอุตสาหกรรมหรือโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงซึ่งมีกำมะถันสูง เป็นเหตุให้เกิดฝนกรด (acid rain) ตกลงบนพื้นที่ และเพิ่มกรดในดินทีละน้อยแต่ต่อเนื่องยาวนาน ซึ่งสาเหตุการเกิดดินกรดจะต่างจากการเกิดดินเปรี้ยวจัด หรือดินกรดกำมะถัน (acid sulfate soil) ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันของไพไรต์ ดังนั้นการที่จะเกิดดินเปรี้ยวจัดซึ่งมีลักษณะดังกล่าวได้จะต้องมีการสะสมไพไรต์ ซึ่งมีลักษณะสำคัญ 2 ประการ คือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินต่ำมาก และจะพบชั้นใดชั้นหนึ่งของดินมีจุดประสีเหลืองฟางข้าวอย่างชัดเจน ซึ่งก็คือแร่จาโรไซต์ที่เป็นสารที่ปลดปล่อยกรดได้มาก ชั้นดินที่มีแร่จาโรไซต์จึงมี ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 4 และมีปริมาณของซัลเฟตสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) อย่างไรก็ตามดินกรดที่มีปัญหาทางการเกษตรคือ ดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 5.5 ซึ่งจะทำให้ธาตุอาหารโดยเฉพาะฟอสฟอรัสถูกตรึงในดินซึ่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ และจุลธาตุบางชนิดปลดปล่อยมามากจนทำให้เป็นพิษต่อพืช ดินกรดไม่สามารถดูด้วยตาได้จะต้องนำไปวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง แต่ดินกรดส่วนใหญ่จะมีเนื้อดินเป็นดินเนื้อหยาบ ดินร่วนหยาบ ดินร่วนปนทราย ทั้งในที่ลุ่มและที่ดอน การแก้ไขปัญหาดินกรด

นอกจากการใช้ปูนทางการเกษตรแล้ว การเพิ่มอินทรียวัตถุจะช่วยลดความเป็นพิษของเหล็กและอะลูมินั่ม การคลุมดินจะช่วยรักษาความชื้นในดินป้องกันการชะละลายหน้าดิน และเลือกชนิดพืชที่เหมาะสมกับระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ก) โดยที่ดินกรดพบกระจายทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ดินกรดมากที่สุด รวมทั้งในพื้นที่ลุ่มและดอน 48,846,084 ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข)

2.6.3 ดินอินทรีย์ เป็นดินที่มีความหนาของชั้นวัสดุอินทรีย์รวมกันมากกว่าความหนาของชั้นวัสดุอนินทรีย์ ซึ่งถ้าดินมีสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำจะต้องประกอบด้วยปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ไม่น้อยกว่า 174 กรัมต่อกิโลกรัม แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของดินเหนียวด้วย ถ้าปริมาณดินเหนียวมากกว่าหรือเท่ากับ 500 กรัมต่อกิโลกรัม จะต้องมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ไม่น้อยกว่า 116 กรัมต่อกิโลกรัม หรือถ้าดินไม่อยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำจะต้องมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มากกว่าหรือเท่ากับ 230 กรัมต่อกิโลกรัม (SSSA, 2008) นอกจากนี้กรมพัฒนาที่ดิน(2556ก) กล่าวว่าดินอินทรีย์จะมีสารอินทรีย์ในรูปของคาร์บอนอินทรีย์อยู่ในเนื้อดินมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และพบสะสมเป็นชั้นหนามากกว่า 40 เซนติเมตรจากผิวดิน ดินอินทรีย์มักพบในพื้นที่ลุ่มน้ำขังหรือมีน้ำขังนานตลอดปี ทำให้การย่อยสลายของสารอินทรีย์เป็นไปได้ช้ามาก และจะพบองค์ประกอบของไพไรต์ จึงพบปัญหาดินเปรี้ยวจัดด้วย สภาพปัญหาของดินคือ อินทรียวัตถุจะเกาะตัวกันอย่างหลวมๆ ยืดหยุ่นและลอยน้ำ เมื่อระบายน้ำออกไป และดินแห้ง ทำให้ดินยุบตัวมาก ดินและน้ำเป็นกรดจัดมาก เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารขาดธาตุอาหาร และเกิดความเป็นพิษของเหล็ก และอะลูมินั่ม สำหรับการแก้ไขปรับปรุงดินอินทรีย์ จะแก้ไขในลักษณะเดียวกับปัญหาดินเปรี้ยว โดยการควบคุมระดับน้ำเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น การใส่ปูน การใส่ปุ๋ย เป็นต้น พื้นที่ดินอินทรีย์พบในบริเวณที่ลุ่มน้ำขังชายฝั่งทะเลของภาคใต้และภาคตะวันออก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข)

2.6.4 ดินเค็ม ดินที่ไม่ใช่ดินโซดิก ซึ่งมีเกลือละลายง่าย (soluble salt) จนทำให้ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่ มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยตั้งแต่ 4 เดซิซีเมนต่อเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยพืชที่ไม่ทนต่อสภาวะความเค็ม จะได้รับผลกระทบตั้งแต่ค่าการนำไฟฟ้า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร แต่สำหรับพืชทนเค็มจะได้รับผลกระทบตั้งแต่ 8 เดซิซีเมนต่อเมตร (SSSA, 2008) ซึ่งดินเค็มในประเทศไทยเกิดจากการสะสมของเกลือที่มาจากการละลายของโดมเกลือหรือจากน้ำใต้ดินที่มีเกลือละลายน้ำอยู่มาก หรือพื้นที่ที่เคยมีน้ำทะเลท่วมถึงมาก่อน และเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำทะเลและตะกอนน้ำกร่อยอยู่ใต้ตะกอนน้ำจืด หรือเกิดจากอิทธิพลของน้ำทะเลท่วมถึงหรือเคยท่วมมาก่อน โดยประเภทดินเค็มในประเทศไทย ประกอบด้วยดินเค็มบก และดินเค็มชายทะเล สำหรับดินเค็มบก ได้แก่ ดินเค็มบกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินที่มีการสะสมเกลือจากการละลายเกลือของหินเกลือหรือจากน้ำใต้ดินที่มีเกลือละลายอยู่มาก ทำให้พบชั้นสะสมเกลือมาก มีเนื้อที่รวม 2,207,544 ไร่ ดินเค็มบกภาคกลาง เป็นพื้นที่ที่เคยมีน้ำทะเลท่วมถึงมาก่อน และเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำทะเลและตะกอนน้ำกร่อยอยู่ใต้ตะกอนน้ำจืด มีพื้นที่ประมาณ 54,644 ไร่ สำหรับดินเค็มชายทะเลได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลโดยตรง พบกระจัดกระจายทั่วไปในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ รวมเนื้อที่ 1,955,131 ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข) ผลกระทบของดินเค็มต่อการปลูกพืช ดินเค็มถือว่าเป็นดินที่มีศักยภาพในการผลิตต่ำ เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ส่งผลทำให้พืชขาดน้ำ ความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช และมีไอออนที่เป็นพิษสะสมในพืชมากเกินไป เช่น โซเดียม และคลอไรด์ (Luttge *et al*., 1984; Sharma, 1984)

2.6.5 ดินทรายจัด เป็นดินที่มีอนุภาคทรายเป็นส่วนใหญ่ โดย FAO – ISRAC - ISSS (1998) ให้ความหมายว่าเป็นดินที่มีองค์ประกอบของอนุภาคดินเหนียวน้อยกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคทรายมากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความลึกของดิน 1 เมตร เอิบ (2533) กล่าว่าดินทรายจัดเป็นดินที่มีเนื้อดินบนเป็นดินทราย หรือ ดินทรายร่วน และมีความหนามากกว่า 50 เซนติเมตร สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ 1) ดินทรายที่มีเนื้อเป็นทราย หรือ ทรายร่วนหนากว่า 50 เซนติเมตร แต่ไม่เกิน 1 เมตร จากผิวดินบน ส่วนดินชั้นล่างลงไปจะเหนียวขึ้น ดินทรายกลุ่มนี้พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2) ดินทรายที่มีเนื้อดินเป็นทราย หรือทรายร่วนหนากว่า 1 เมตร แต่ไม่เกิน 2 เมตร คือ ภายใน 2 เมตร จะพบชั้นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายเกิดขึ้น ดินทรายกลุ่มนี้พบมากเช่นเดียวกับกลุ่มแรก 3) ดินทรายที่มีเนื้อดินเป็นทรายและทรายร่วนหนากว่า 2 เมตร ซึ่งพบเป็นพื้นที่ไม่มากนัก จากลักษณะที่กล่าวมาพบว่า เนื้อดินจะเป็นทรายปะปนอยู่ตั้งแต่ผิวดินลงไปจนถึงความลึกเกินไปกว่า 1 เมตร มีแหล่งกำเนิดจากหินทราย (sandstone) ซึ่งมีแร่ควอตซ์ (quartz) เป็นส่วนประกอบสำคัญ เนื้อดินค่อนข้างหยาบมีสภาพเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5 - 6 มีปริมาณธาตุอาหารตามธรรมชาติ ตลอดจนความสามารถในการดูดธาตุอาหารต่ำ มีอินทรียวัตถุต่ำมาก โดย เฉลี่ยจะน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ สมบัติทางกายภาพของดินไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช บางแห่งมีการจับตัวเป็นชั้นดานแข็งขึ้น บริเวณที่มีเนื้อดินเป็นทรายละเอียดเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตและชอนไชของรากพืช เมื่อฝนตกจะเกิดน้ำไหลบ่าไปบนผิวดิน ชะล้างเอาหน้าดินและธาตุอาหารไปด้วย สำหรับกรมพัฒนาที่ดิน (2556ข) ให้ความหมายของดินทรายจัดว่าเป็นดินที่มีอนุภาคขนาดทรายอยู่มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ และมีความหนาของชั้นที่เป็นดินทรายลึกจากผิวดินอย่างน้อย 50 เซนติเมตร ที่รองรับด้วยชั้นดานดินเหนียว ดินร่วน หรือพบชั้นดินอินทรีย์ภายในความลึก 1 เมตร มีเนื้อดินเป็นทราย หรือดินทรายปนร่วน ซึ่งเป็นดินที่ไม่มีโครงสร้าง มีลักษณะเป็นเม็ดดินเดี่ยวๆ การเกาะตัวหรือยึดตัวของเม็ดดินต่ำ ทำให้เกิดปัญหาการชะล้างพังทลายของดิน บางพื้นที่ดินแน่นทึบเนื่องจากเนื้อดินเป็นทรายละเอียด นอกจากนี้พบปัญหาดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปริมาณอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในเกณฑ์ต่ำมาก ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารต่ำ สำหรับการแก้ปัญหาดินทราย โดยการปลูกพืชคลุมดิน วัสดุคลุมดิน ช่วยรักษาความชื้นของดิน ลดการชะล้าง และการเพิ่มอินทรียวัตถุ รวมทั้งการจัดการน้ำที่เหมาะสม พื้นที่ดินทรายพบทั่วไปในทุกภาคของประเทศ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่รวม 8,357,358 ไร่ (ตารางที่ 2.12)

ตารางที่ 2.12 การแพร่กระจายของดินทรายจัดรายภาค

ภาค	พื้นที่ (ไร่)
1. ดินทรายในพื้นที่ลุ่ม	**3,006,825**
ภาคเหนือ	67,225
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2,289,619
ภาคกลาง	10,900
ภาคตะวันออก	568,822
ภาคใต้	70,259
2. ดินทรายในพื้นที่ดอนที่ไม่มีชั้นดานอินทรีย์	**9,017,898**
ภาคเหนือ	882,937
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	6,067,739
ภาคกลาง	958,396
ภาคตะวันออก	368,663
ภาคใต้	740,163
3. ดินทรายที่มีชั้นดานอินทรีย์	**519,570**
ภาคตะวันออก	54,880
ภาคใต้ (11 จังหวัด)	464,690
รวมทั้งประเทศ	**12,544,293**

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข

2.6.6 ดินตื้น เป็นดินที่มีความลึกของดินน้อยกว่า 50 เซนติเมตร ซึ่งจะจำกัดการเติบโตของพืชและยากต่อการชอนไชของรากพืช ซึ่งความลึกของดินวัดจากชั้นดินบนถึงชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน หรือขั้นหิน หรือชั้นดินดานซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือการก่อสร้าง (Office of Environment and Heritage, 2017) อย่างไรก็ตาม กรมพัฒนาที่ดินได้ให้ความหมายของดินตื้น กล่าวว่า เป็นดินที่พบชั้นลูกรัง ชั้นกรวด ชั้นเศษหินปริมาณมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือพบชั้นเชื่อมแข็งของศิลาแลง หรือชั้นมาร์ลภายในความลึก 50 เซนติเมตร จากผิวดิน ซึ่งจะเป็นอุปสรรคขัดขวางต่อการชอนไชของรากพืช ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต และส่งผลต่อผลผลิตพืช นอกจากนี้ดินตื้นจะมีปริมาณเนื้อดินน้อย ทำให้ดินมีความสามารถในการดูดซับน้ำและธาตุอาหารต่ำ เกิดการชะล้างพังทลายของดินได้ง่าย ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แนวทางการแก้ไขปัญหาดินตื้น คือการเลือกพื้นที่ที่มีเนื้อดินหนามากกว่า 15 เซนติเมตร ปรับปรุงดินเฉพาะหลุมโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ปลูกพืชคลุมดินและจัดระบบการให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับพื้นที่ดินตื้นพบกระจายอยู่ทั่วทุกภาค รวม 46,090,109 ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข) (ตารางที่ 2.13)

ตารางที่ 2.13 การแพร่กระจายของดินตื้นรายภาค

ภาค	พื้นที่ (ไร่)
1. ดินตื้นในพื้นที่ลุ่มหรือพื้นที่น้ำขัง	**8,881,718**
ภาคเหนือ	1,337,603
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	6,298,765
ภาคกลาง	246,373
ภาคตะวันออก	672,330
ภาคใต้	326,647
2. ดินตื้นถึงชั้นลูกรัง ก้อนกรวดหรือเศษหิน	**26,133,752**
ภาคเหนือ	7,705,441
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	10,288,723
ภาคกลาง	1,795,635
ภาคตะวันออก	4,155,564
ภาคใต้ (13 จังหวัด)	2,188,389
3. ดินตื้นในพื้นที่ดอน ถึงชั้นหินพื้น	**8,977,961**
ภาคเหนือ	4,023,565
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2,003,724
ภาคกลาง	1,232,585
ภาคตะวันออก	969,130
ภาคใต้	748,957
4. ดินตื้นในพื้นที่ดอน ถึงชั้นหินมาร์ล	**2,096,678**
ภาคเหนือ	673,325
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	117,431
ภาคกลาง	903,937
ภาคตะวันออก	397,828
ภาคใต้	4,157
รวมทั้งประเทศ	**46,090,109**

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558ก. **สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2558ข. **คู่มือการพัฒนาที่ดินสำหรับหมอดินอาสาและเกษตรกร.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2556ก. **การจัดการดินเปรี้ยวจัด ดินกรด และดินอินทรีย์.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2556ข. **การจัดการดินทรายจัด.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2548. **มหัศจรรย์พันธุ์ดิน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการ กรมวิชาการเกษตรฉบับที่ 8/2548**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กองสำรวจดิน. 2523. **คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เจริญ เจริญจำรัสชีพ, กำชัย กาญจนธนเศรษฐ และ เมธิน ศิริวงค์. 2540. **การจัดการดินกรดในประเทศไทย**. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2560. **รอบรู้เรื่องปุ๋ยเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท เจียไต๋ จำกัด, กรุงเทพฯ.

___. 2557. **คุณภาพดินเพื่อการเกษตร.** สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

___. 2543. **ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

___, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วัชรี แซ่ตั้ง และ วิทยา ตรีโลเกศ. 2561. การติดตามการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์. **วารสารดินและปุ๋ย.** 1: 17 - 26.

เอิบ เขียวรื่นรมย์. 2533. **ดินของประเทศไทย ลักษณะ การกระจาย และการใช้.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Fanning, D.S. and M.C. Rabenhorst. 2008. Rational for updating the definitions of sulfidic materials and the sulfuric horizon in soil taxonomy and proposed revised definitions, pp. 53 - 61. In C. Lin, S. Huang, Y. Li., eds. **Proceedings of the Joint Conference of the 6th International Symposium in Acid Sulfate Soil Conference and the Acid Rock Drainage Symposium.** Guangdong Science & Technology Press, Guangzhou.

FAO - ISRIC - ISSS. 1998. **World Reference Base for Soil Resources**. Acco Press, Leuven.

Huett, D.O., N.A. Maier, L.A. Sparrow and T.J. Piggott. 1997. Vegetable crop, pp.383 - 461. In D.J. Reuter and J.B. Robinson, eds. **Plant Analysis: an Interpretion Manual**. Inkata Press, Melbourne.

Janjirawuttikul, N., M. Umitsu and S. Tawornpruek. 2011. Pedogenesis of acid sulfate soils in the lower central plain of Thailand**. Int. J. Soil Sci**. 6: 77 - 102.

Johnston, S.G., A.F. Keene, R.T. Bush, E.D. Burton, L.A. Sullivan, L. Isaacson, A.E. McElnea, C.R. Ahern, C.D. Smith and B. Powell. 2011. Iron geochemical zonation in a tidally inundated acid sulfate soil wetland. **Chem. Geol**. 280: 257 - 270.

Luttge, U., J. Andrew and C. Smith. 1984. Structural, biophysical and biochemical aspects of the role of leaves in plant adaptation to salinity and water stress, pp. 125 - 150. In C.S. Richard and G.H. Toenniessen, eds. **Salt Tolerance in Plant Strategies for Crop Improvement**. John Wiley and Sons, New York.

Office of Environment and Heritage. 2017. **Glossary of Terms used in Soil and Landscape Science.** Office of Environment and Heritage. NSW, Sydney.

Reuter, D. W. 1997. Temperate and subtemperate crops, pp. 39 - 99. In D.J. Reuter and J.B. Robinson, eds. **Plant Analysis: an Interpretation Manual**. Inkata Press, Melbourne.

Sharma, S.K. 1984. Osmotic and ionic effects in salt sensitive and resistant wheat varieties. **Indian J. Plant Physiol**. 27: 153 - 158.

SSSA. 2008**. Glossary of Soil Science Terms**. SSSA, Madison, Wisconsin.

Spain, J.M. 1986. Strategies for overcoming soil acidity and aluminum toxicity as production constraints in the tropics and subtropics, pp. 79 - 83. In **Proceedings of the International Conference on the Management and Fertilization of Upland Soils in the Tropics and Subtropics.** Nanjing, People s Republic of China.

Weir, R.G. and G.C. Cresswell. 1995. **Plant Nutrition Disorders 2. Tropical Fruit and Nut Crops**. Inkata Press, Melbourne.

บทที่ 3

สถานภาพการใช้ปุ๋ยในการเกษตรของประเทศไทย

3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพืช

การปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ หรือทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและได้ผลผลิตในปริมาณสูงและมีคุณภาพตามที่ต้องการนั้นต้องอาศัยปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วย

3.1.1 ปัจจัยด้านพันธุกรรม สำหรับปัจจัยด้านพันธุกรรมในการเพาะปลูกพืช คือ พันธุ์พืช ซึ่งจะเป็นสิ่งที่กำหนดการแสดงออกของพืช ควบคุมขนาด รูปร่าง สีสัน การให้ผลผลิต ความต้านทานต่อโรค และแมลงของพืช โดยพืชแต่ละพันธุ์จะมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่แตกต่างกันซึ่งจะถูกควบคุมโดยยีน (gene) ที่อยู่บนโครโมโซมภายในเซลล์ ซึ่งจะกระตุ้นให้พืชมีการสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต กระบวนการทางสรีรวิทยา หรือเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชที่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์พืช ซึ่งปัจจุบันได้มีการศึกษาและคัดเลือกพันธุ์พืชเพื่อให้ได้พันธุ์ที่มีลักษณะพันธุ์พืชที่ดี เช่น พันธุ์ที่ให้ผลผลิตพืชสูง พันธุ์ที่มีความต้านทานต่อโรคและแมลง เป็นต้น

3.1.2 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

1) แสง (light) พืชต้องการแสงเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งเป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดแป้งและน้ำตาล เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช รวมทั้งพืชต้องการแสงเพื่อกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น การสังเคราะห์โปรตีน การคายน้ำ การควบคุมทิศทางในการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น พืชแต่ละชนิดมีความต้องการแสงในปริมาณที่แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของพืช เช่น ข้าว สามารถจำแนกตามการตอบสนองต่อช่วงแสงได้ 2 ประเภท คือ ข้าวไวต่อช่วงแสง เป็นข้าวที่ออกดอกเฉพาะเมื่อช่วงเวลากลางวันสั้นกว่า 12 ชั่วโมง ดังนั้น พันธุ์ข้าวประเภทนี้จึงปลูกและให้ผลผลิตได้ปีละหนึ่งครั้ง หรือปลูกได้เฉพาะในฤดูนาปี เช่น ขาวดอกมะลิ 105 กข 6 กข15 เป็นต้น ส่วนข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง เป็นข้าวที่ออกดอกเมื่อข้าวมีระยะเวลาการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตตามอายุจึงใช้ปลูกและให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปี หรือปลูกได้ในฤดูนาปรัง บางครั้งจึงเรียกว่า ข้าวนาปรัง เช่น กข 7 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 1 เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2548ข) นอกจากนี้แสงยังมีผลต่อการออกดอกของพืชหลายชนิด พืชบางชนิดจะออกดอกเมื่อความยาวในตอนกลางวันมากกว่ากลางคืน เราเรียกพืชชนิดนี้ว่า พืชวันยาว (long day)

2) อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิของดินและของบรรยากาศ จะเป็นเป็นตัวควบคุมกระบวนการเมตาบอลิซึมในพืช เช่น กระบวนการผลิตแป้ง กระบวนการให้พลังงานแก่พืช กระบวนการสร้างสารประกอบและกระบวนการอื่นๆ ในพืช อุณหภูมิที่เหมาะสมจะส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่ดี โดยปกติจะอยู่ระหว่าง 15 - 40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป กระบวนการต่างๆ เหล่านี้จะเกิดได้ช้า ซึ่งมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

3) น้ำ หรือความชื้น (moisture) น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของพืช ซึ่งน้ำในดินนั้นจะอยู่ในช่องว่างของดิน โดยสัดส่วนของน้ำในดินที่มีความเหมาะสมกับการปลูกพืชจะต้องมีน้ำเป็นองค์ประกอบ 25 เปอร์เซ็นต์ น้ำในดินจะช่วยในการละลายธาตุอาหาร ดูดธาตุอาหาร ลำเลียงอาหารไปยังส่วนต่างๆ ของพืชเพื่อไปสร้างสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งกระบวนการต่างๆ ในพืชที่ต้องใช้น้ำเพื่อให้เกิด

กิจกรรม เช่น กระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้น้ำช่วยในการลดอุณหภูมิภายในต้นพืช ซึ่งความชื้นในดินจะต้องมีความเหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิด เนื่องจากพืชมีความต้องการน้ำที่แตกต่างกัน แต่ถ้าความชื้นไม่เพียงพอหรือพืชขาดน้ำพืชจะแสดงอาการเหี่ยวเฉา กระบวนการต่างๆ จะเกิดได้ช้า การเจริญเติบโตหยุดชะงัก และอาจตายในที่สุด

4) อากาศในดิน (air) ช่องว่างในดินจะเป็นที่อยู่ของอากาศซึ่งที่เหมาะสมของสัดส่วนของอากาศในดิน คือ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอากาศในดินจะมีความสำคัญต่อพืช โดยพืชจะใช้ก๊าซออกซิเจนในกระบวนการหายใจ ซึ่งได้พลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นพืชจึงต้องมีอากาศอย่างเพียงพอ เพื่อให้การหายใจเกิดขึ้นได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ พืชจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง

5) ธาตุอาหารพืช (nutrients) ธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช กระบวนการทางชีวเคมีในพืช เมื่อพืชขาดธาตุอาหารจะมีอาการผิดปกติ ธาตุอาหารพืชมี 17 ธาตุ ซึ่ง 3 ธาตุพืชได้รับจากอากาศ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน อีก 14 ธาตุพืชได้รับจากดิน สำหรับธาตุที่มาจากดินแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 2) ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน และ 3) ธาตุอาหารเสริมหรือจุลธาตุ ได้แก่ เหล็ก ทองแดง แมงกานีส สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม คลอรีน และนิกเกิล (ยงยุทธ, 2558ก) โดยวิธีการเติมธาตุอาหารลงไปในดินเพื่อให้พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตก็คือ การใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการของพืชมีหลักในการพิจารณา 4 ประการ (IPNI, 2012; Roberts and Norton, 2012) คือ

5.1) ชนิดปุ๋ยถูกต้อง (right kind) คือ ปุ๋ยนั้นมีธาตุอาหารตรงกับที่ดินขาดแคลน

5.2) อัตราปุ๋ยถูกต้อง (right rate) หมายถึง กำหนดอัตราปุ๋ยให้สอดคล้องกับระดับความขาดแคลนธาตุอาหารของดินและเป็นอัตราที่ช่วยให้ได้ผลผลิตสูง

5.3) กำหนดช่วงเวลาการใส่ถูกต้อง (right time) คือ แบ่งใส่ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสมกับความต้องการธาตุอาหารของพืช เพื่อให้พืชได้รับธาตุเหล่านั้นในแต่ละช่วงเวลาอย่างเพียงพอ

5.4) ใส่ในบริเวณที่ถูกต้อง (right place) เพื่อให้รากพืชดูดธาตุอาหารจากปุ๋ยไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปุ๋ยเป็นปัจจัยผันแปร เนื่องจากเมื่อมีการใช้ปุ๋ยเพื่อให้ธาตุอาหารซึ่งตรงกับที่ดินขาดแคลน การเปลี่ยนแปลงอัตราปุ๋ย จะทำให้ปริมาณผลผลิตพืชเปลี่ยนแปลงด้วย กล่าวคือผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยตามลำดับจนได้ผลผลิตสูงสุด แต่ถ้าเพิ่มอัตราปุ๋ยขึ้นอีกผลผลิตจะลดลง (บรรลุ และคณะ, 2549) นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยจะได้ผลดีตามความมุ่งหมายเมื่อปุ๋ยที่ใช้มีคุณภาพดี ดังนั้นการควบคุมคุณภาพของปุ๋ยเพื่อการผลิตพืชจึงมีความสำคัญมาก

3.2 ความหมายและประเภทของปุ๋ย

3.2.1 ความหมายของปุ๋ย

ปุ๋ย (fertilizer) เป็นสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ธรรมชาติหรือสารอินทรีย์สังเคราะห์ ซึ่งมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบหนึ่งธาตุหรือมากกว่าหนึ่งธาตุ และธาตุอาหารเหล่านั้นเป็นประโยชน์ต่อพืช (SSSA, 2008) พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 (มาตรา 3) ให้ความหมายของปุ๋ยดังนี้ ปุ๋ย หมายความว่า สารอินทรีย์ อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดิน เพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช ปุ๋ยรวมความถึงจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ ปุ๋ยที่มีจุลินทรีย์มีชีวิตเป็นส่วนประกอบเรียกว่า ปุ๋ยชีวภาพ (biological fertilizer หรือ biofertilizer) การใช้ปุ๋ยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มธาตุอาหารในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินสูงขึ้นตามที่ต้องการ ในข้อความข้างต้นมีความสำคัญ คือ “ธาตุอาหารพืช” และ “ความอุดมสมบูรณ์ของดิน”

3.2.2 ความสำคัญของปุ๋ยต่อการผลิตพืช

เนื่องจากดินที่ใช้ในการปลูกพืชของภูมิภาคต่างๆ ในโลก รวมทั้งดินที่ใช้ในภาคเกษตรกรรมของประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกัน กล่าวคือแต่ละบริเวณมีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารแต่ละธาตุสูง ปานกลางและต่ำแตกต่างกันไป (FAO, 2012) ผลการตรวจวิเคราะห์และประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินของประเทศไทยระหว่างปี 2547 - 2552 โดยเก็บตัวอย่างดินจำนวน 35,558 จุด พบว่า จำนวนตัวอย่างดินที่ผลการประเมินแสดงว่ามีความอุดมสมบูรณ์ในระดับต่ำ ปานกลาง และสูง คือ 49.38 เปอร์เซ็นต์ 44.07 เปอร์เซ็นต์ และ 6.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความอุดมสมบูรณ์ในแต่ละภาค พบว่า ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำกว่าภาคอื่นๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก) ดังนั้นการใช้ปุ๋ยในการปรับปรุงดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและปานกลางเพื่อให้ดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ของทุกธาตุอยู่ในระดับที่สูง จึงมีความสำคัญต่อการผลิตพืชอย่างมาก ส่วนความสำคัญของปุ๋ยต่อการเพิ่มผลผลิตพืชเห็นได้ชัดจากผลการทดลองระยะยาวในสหรัฐอเมริกาโดยเปรียบเทียบระหว่างแปลงควบคุมซึ่งไม่ใส่ปุ๋ยกับแปลงที่ใส่ปุ๋ย เมื่อประมวลผลจากแปลงทดลองที่ดำเนินการปลูกพืชและวัดผลผลิต 362 ฤดูปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีส่วนในการเพิ่มผลผลิตพืชจากไม่ใส่ปุ๋ย 30 - 50 เปอร์เซ็นต์ การปลูกพืช 4 ชนิดในสหรัฐอเมริกา หากไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ผลผลิตพืชจะลดลงดังนี้ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 41 เปอร์เซ็นต์ ข้าว 27 เปอร์เซ็นต์ ข้าวบาร์เลย์ 19 เปอร์เซ็นต์ และข้าวสาลี 16 เปอร์เซ็นต์ (Roberts, 2009; Bruulsema *et al*., 2012)

3.2.3 ประเภทของปุ๋ย

ปุ๋ยมี 3 ประเภท คือ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยแต่ละชนิดมีวัตถุประสงค์ของการใช้แตกต่างกัน

1) ปุ๋ยเคมี (chemical fertilizer) เป็นปุ๋ยที่เป็นสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม ปุ๋ยเชิงประกอบ ปุ๋ยอินทรีย์เคมี แต่ไม่รวมถึงสาร 2 ประเภทต่อไปนี้ 1) ปูนขาว ดินมาร์ล ปูนปลาสเตอร์ ยิปซัม โดโลไมต์ หรือสารอื่นที่รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์กำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา 2) สารอนินทรีย์หรืออินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม ที่มุ่งหมายสำหรับใช้ในการอุตสาหกรรมหรือกิจการอื่น ตามที่รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ประกาศในราชกิจจานุเบกษา (พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2550) ในปัจจุบันปุ๋ยเคมี

ที่เป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์มีเพียงอย่างเดียว คือ ปุ๋ยยูเรีย นอกนั้นเป็นสารประกอบอนินทรีย์ทั้งสิ้น ปุ๋ยเคมีแบ่งประเภทตามชนิดของธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ย (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ดังนี้

1.1) ปุ๋ยธาตุอาหารหลัก แบ่งเป็นปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทสเซียม นอกจากนี้ยังมีปุ๋ยเคมีซึ่งมีธาตุอาหารหลักเป็นองค์ประกอบมากกว่า 1 ธาตุด้วย เช่น ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (สูตร 18 - 46 - 0) มีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส สาเหตุที่เรียกปุ๋ยเคมีซึ่งมีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมว่าปุ๋ยธาตุอาหารหลัก เนื่องจากดินที่ใช้ในการปลูกพืชโดยทั่วไปมักขาดแคลนธาตุใดธาตุหนึ่งในกลุ่มนี้ จึงมีการใช้ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารเหล่านั้นกันโดยทั่วไป

1.2) ปุ๋ยธาตุอาหารรอง แบ่งเป็นปุ๋ยแคลเซียม ปุ๋ยแมกนีเซียม และปุ๋ยกำมะถัน นอกจากนี้ยังมีปุ๋ยเคมีซึ่งมีธาตุอาหารรองเป็นองค์ประกอบมากกว่า 1 ธาตุด้วย เช่น ปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟต มีธาตุแมกนีเซียม และกำมะถัน

1.3) ปุ๋ยธาตุอาหารเสริม ได้แก่ ปุ๋ยเหล็ก ทองแดง แมงกานีส และสังกะสี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีปุ๋ยเคมีซึ่งมีธาตุอาหารเสริมเป็นองค์ประกอบมากกว่า 1 ธาตุด้วย เช่น ปุ๋ยที่มีธาตุเหล็กและสังกะสีอยู่ด้วยกัน

การใช้ปุ๋ยเคมีในปัจจุบันมี 3 วิธี คือ 1) ใช้หว่านหรือโรยในดินโดยตรง 2) ใส่ร่วมกับระบบน้ำชลประทานและ 3) ฉีดพ่นทางใบ (ยงยุทธ, 2557ก) คำนิยามของปุ๋ยเคมียังครอบคลุมถึงปุ๋ยที่เรียกว่า “ปุ๋ยอินทรีย์เคมี” ด้วยปุ๋ยอินทรีย์เคมี หมายถึง ปุ๋ยที่มีข้อกำหนด 4 ประการ คือ 1) มีปริมาณธาตุอาหารรับรองที่แน่นอน 2) มีปริมาณอินทรียวัตถุไม่น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ 3) มีธาตุหลักอย่างน้อย 2 ธาตุ แต่ละธาตุมีไม่น้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุอาหารรับรองรวมกันไม่น้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ และ 4) ความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของปุ๋ย (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555)

2) ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) คือ ปุ๋ยที่เป็นสารอินทรีย์ธรรมชาติ ธาตุอาหารจะเป็นประโยชน์ต่อพืชต้องผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืช ปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบทั้งธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุ และมีสารอินทรีย์ซึ่งหากใช้ในปริมาณที่สูงพอประมาณ จะช่วยให้สมบัติของดินทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ (ยงยุทธ และคณะ, 2551) “ปุ๋ยอินทรีย์” ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2550 (มาตรา 3) หมายถึงปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ ปุ๋ยอินทรีย์มี 3 ชนิด คือ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยคอก

2.1) ปุ๋ยหมัก (compost) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการนำชิ้นส่วนของพืชมาหมักและผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จนแปรสภาพไปจากรูปเดิมจนกระทั่งได้อินทรียวัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ และมีสัดส่วนของสารประกอบของคาร์บอนและไนโตรเจนต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข)

2.2) ปุ๋ยคอก (animal manure) เป็นมูลซึ่งสัตว์ขับถ่ายและสะสมอยู่ตามพื้นคอก ตลอดจนมูลและน้ำล้างคอกที่รวมอยู่ในสระเก็บน้ำทิ้ง มูลสัตว์ซึ่งรวบรวมได้มากพอที่จะใช้เป็นปุ๋ย ได้แก่ มูลโค กระบือ สุกรและสัตว์ปีก ในมูลสัตว์ดังกล่าวมีฟาง วัสดุรองคอก เศษพืช เศษอาหารและปัสสาวะรวมกัน (ยงยุทธและคณะ, 2551) หรือกล่าวได้ว่าปุ๋ยคอกเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งขับถ่ายของสัตว์ เช่น โค กระบือ สุกร ไก่ เป็ดและห่าน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข)

2.3) ปุ๋ยพืชสด (green manure) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการตัดสับหรือไถกลบลงไปในดินในขณะที่พืชยังเขียวสดอยู่ในช่วงระยะที่พืชออกดอก เพื่อใช้ในการปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยพืชปุ๋ยสดที่นิยมใช้ คือ พืชตระกูลถั่ว เนื่องจากขึ้นได้ง่ายและเจริญเติบโตได้ดี รวมทั้งมีแบคทีเรีย

ไรโซเบียมที่ช่วยในการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ จึงทำให้พืชตระกูลถั่วมีไนโตรเจนสูง เมื่อไถกลบลงไปในดินและย่อยสลายแล้วจะช่วยในการเพิ่มไนโตรเจนและอินทรียวัตถุในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข)

3) ปุ๋ยชีวภาพ (biofertilizer) คือ ปุ๋ยซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่คัดเลือกแล้วว่าเป็นสายพันธุ์ดีและมีปริมาณมาก เมื่อใช้คลุกเมล็ดใส่ให้ติดผิวรากหรือท่อนพันธุ์ หรือใส่ลงไปในดิน จุลินทรีย์เหล่านั้นจะเพิ่มประชากรและสร้างกลุ่มของเซลล์ในดินรอบผิวรากที่ผิวรากและ/หรือในราก แล้วส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารมากขึ้น (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

3.3 การใช้ปุ๋ยเคมี

3.3.1 สถานการณ์การใช้ปุ๋ยเคมีในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ใช้ปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยการผลิตอย่างต่อเนื่องเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชชนิดต่างๆ จากการรายงานของนรินทร์ (2560) ประเทศไทยมีการนำเข้าปุ๋ยเคมีส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าแม่ปุ๋ย มีสัดส่วน 62.5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณนำเข้าปุ๋ยเคมีทั้งหมด ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจนนำเข้าจากประเทศซาอุดิอาระเบีย กาตาร์ มาเลเซีย และจีน มีสัดส่วน 47.8 เปอร์เซ็นต์ ปุ๋ยฟอสฟอรัสนำเข้าจากประเทศอียิปต์ ออสเตรเลีย มาเลเซีย และจีน มีสัดส่วน 0.2 เปอร์เซ็นต์ และปุ๋ยโพแทสเซียมนำเข้าจากประเทศแคนาดา เบลารุส เยอรมนี ชิลี และอิสราเอล มีสัดส่วน 14.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้มีการนำเข้าปุ๋ยผสม (compound NPK) 37.5 เปอร์เซ็นต์ ประเทศที่นำเข้า คือ ประเทศจีน รัสเซีย เกาหลีใต้ นอร์เวย์ และฟินแลนด์ เป็นต้น สำหรับปุ๋ยเคมีที่ใช้กันมากในภาคเกษตรกรรมของไทย ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46 - 0 - 0) ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 - 0 - 0) ปุ๋ยสูตร 16 - 20 - 0 สูตร 15 - 15 - 15 สูตร 16 - 16 - 8 และ สูตร 13 - 13 - 21 ซึ่งปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีทั้ง 6 ชนิดดังกล่าวรวมกันคิดเป็นสัดส่วนกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีรวมทั้งประเทศ เนื่องจากใช้ได้กับพืชทุกชนิด ทั้งนาข้าว พืชไร่ ไม้ผล รวมทั้งพืชผักชนิดต่างๆ เพื่อเร่งการเจริญเติบโตทุกส่วนของพืช ซึ่งปริมาณการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจแต่ละชนิด พบว่า ในปี 2558 ประเทศไทยใช้ปุ๋ยเคมี 6.17 ล้านตัน โดยใช้ในข้าวนาปี 1.83 ล้านตัน ข้าวนาปรัง 0.44 ล้านตัน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 0.30 ล้านตัน มันสำปะหลัง 0.32 ล้านตัน อ้อยโรงงาน 0.53 ล้านตัน ยางพารา 1.54 ล้านตัน ปาล์มน้ำมัน 0.53 ล้านตัน และพืชอื่นๆ 0.67 ล้านตัน (อำนวย, 2558) สำหรับข้อมูลปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ระหว่างปี 2551 - 2561 พบว่าสามารถแบ่งเป็นช่วงๆ ตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยช่วงปี 2551 - 2557 ปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นจาก 3,798.26 - 5,415.02 พันตัน คิดเป็นมูลค่าระหว่าง 42,665.63 - 81,201.97 ล้านบาท แต่ในช่วงปี 2553 - 2557 จะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งนรินทร์ (2560) กล่าวว่าในช่วงปี 2552 - 2554 ความต้องการปุ๋ยเคมีมีการเติบโตเนื่องจากเกษตรกรมีการปลูกข้าวมากขึ้นและราคาผลผลิตพืชสูงขึ้น ทำให้เกษตรกรมีกำลังที่จะซื้อปุ๋ย แต่ในช่วงปี 2553 - 2557 ราคาผลผลิตลดลง จึงทำให้เกษตรกรมีกำลังซื้อและความต้องการปุ๋ยลดลง สำหรับในช่วงปี 2557 - 2559 ปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีมีปริมาณลดลงและหลังจากนั้นปริมาณการนำเข้าเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีมีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยต่างๆ ทั้งสภาพภูมิอากาศ ราคาพืชผลทางการเกษตร และกำลังการซื้อของเกษตรกร

ตารางที่ 3.1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีในช่วงปี 2551 - 2561

ปี	ปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมี (พันตัน)	มูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมี (ล้านบาท)
2551	3,798.26	75,612.32
2552	3,833.07	42,665.63
2553	5,172.71	61,210.73
2554	5,569.82	79,067.04
2555	5,377.29	81,201.97
2556	5,638.35	72,251.44
2557	5,415.02	66,102.65
2558	4,653.60	56,708.76
2559	4,882.92	49,300.56
2560	5,821.55	57,803.00
2561	5,629.70	58,757.00

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561

3.3.2 การใช้ปุ๋ยเคมีกับพืชเศรษฐกิจ

การใส่ปุ๋ยให้กับพืชยังมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารให้พืชสามารถดูดไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยให้เกิดประสิทธิภาพ รวมทั้งให้มีการสูญเสียธาตุอาหารน้อยที่สุด จะต้องพิจารณาจากหลักการที่สำคัญ คือ ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อให้ทราบชนิดและปริมาณปุ๋ยที่ต้องใส่ให้กับพืช โดยจะต้องมีความรู้เรื่องธาตุอาหาร และความต้องการธาตุอาหารของพืชแต่ละชนิด โดยเมื่อพืชขาดธาตุอาหารที่รุนแรงก็จะแสดงอาการผิดปกติเป็นตัวบ่งชี้ รวมทั้งการใส่ปุ๋ยจะต้องใส่ปุ๋ยในอัตราที่กำหนดตามช่วงเวลา และวิธีการที่เหมาะสมกับพืช และมีการติดตามผลการใส่ปุ๋ยเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับอัตราและวิธีการใส่ให้ดียิ่งขึ้นต่อไป ซึ่งการใส่ปุ๋ยสำหรับพืชเศรษฐกิจตามค่าวิเคราะห์ดินเป็นคำแนะนำที่หลายหน่วยงานได้นำมาใช้แนะนำส่งเสริมสู่เกษตรกรเพื่อให้การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพ โดยการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสามารถทำได้โดยเก็บตัวอย่างดินในแปลงก่อนปลูกพืชนำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เมื่อได้ข้อมูลค่าวิเคราะห์ดินแล้ว นำมาประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน และเปรียบเทียบกับความต้องการปริมาณธาตุอาหารของพืชแต่ละชนิด โดยนำข้อมูลผลวิเคราะห์ดินไปคำนวณการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินตามโปรแกรมปุ๋ยรายแปลงของกรมพัฒนาที่ดิน หรือคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจของกรมวิชาการเกษตร ดังนี้

1) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามโปรแกรมปุ๋ยรายแปลง กรมพัฒนาที่ดินได้แนะนำส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจากคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามโปรแกรมปุ๋ยรายแปลง ซึ่งเป็นโปรแกรมสารสนเทศที่ให้คำแนะนำการจัดการดินและปุ๋ยรายแปลง ถูกพัฒนาขึ้นโดยการบูรณาการข้อมูลการจัดการดินของกรมพัฒนาที่ดินร่วมกับคำแนะนำการจัดการปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตรและผลงานวิจัยการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ แล้วจึงจัดทำระบบติดต่อผู้ใช้ให้สามารถคัดกรองข้อมูลได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ เกษตรกรสามารถรับคำแนะนำการใช้ปุ๋ยได้แม้ไม่ส่งตัวอย่างดินวิเคราะห์ เนื่องจากโปรแกรมมีผลวิเคราะห์ดินพื้นฐานประจำชุดดินอยู่แล้ว แต่ในกรณีที่เกษตรกรส่งดินมาตรวจวิเคราะห์กับกรมพัฒนาที่ดิน สามารถระบุผลการวิเคราะห์ดินเข้าไปในโปรแกรม จะทำให้ได้

คำแนะนำการจัดการปุ๋ยที่มีความจำเพาะเป็นรายแปลงซึ่งช่วยให้เกษตรกรสามารถใช้ปุ๋ยได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น และสามารถลดต้นทุนด้านการผลิต ก่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน ตลอดจนให้กำไรสูงสุด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562)

2) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจตามค่าวิเคราะห์ดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2548ก)

2.1) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่

2.1.1) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับมันสำปะหลัง

การใช้ปุ๋ยในมันสำปะหลังนอกจากพิจารณาจากความอุดมสมบูรณ์ของดินแล้ว พันธุ์มันสำปะหลังก็เป็นสิ่งสำคัญซึ่งมันสำปะหลังในแต่ละสายพันธุ์จะมีความต้องการธาตุอาหารที่แตกต่างกัน เช่น ความต้องการธาตุอาหารของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 1 มีการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 15.2 3.6 และ 12.4 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ สำหรับวิธีการใส่ ระยะเวลา และอัตราปุ๋ยที่เหมาะสม พบว่า การใส่ปุ๋ยทั้งหมดครั้งเดียวในหลุมที่เจาะสองข้างลำต้นและกลบปุ๋ยเมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 - 3 เดือนหลังปลูก มีผลทำให้เพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดและต้นทุนต่ำจากการใช้ปุ๋ยเคมี โดยปัจจุบันมีคำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับมันสำปะหลัง คือ ปุ๋ยเคมีอัตรา 16 - 8 - 16 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่สองข้างต้นมันสำปะหลังแล้วกลบปุ๋ยครั้งเดียวหลังปลูก 1 - 3 เดือน หรือหลังกำจัดวัชพืชครั้งแรก เมื่อดินมีความชื้นพอเหมาะ นอกจากนี้มีคำแนะนำการใช้ปุ๋ยผสมผสานของปุ๋ยเคมีอัตรา 16 - 8 - 16 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 1 - 2 ตันต่อไร่ หรือร่วมกับการไถกลบซากต้นใบมันสด 3 ตันต่อไร่ หรือร่วมกับปุ๋ยคอก 500 กิโลกรัมต่อไร่ และเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีจึงแนะนำให้ใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2548ข) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การใช้ปุ๋ยกับมันสำปะหลังตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่	วิธีการใส่ปุ๋ย
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		ใส่ปุ๋ยครั้งเดียว หลังปลูก 1 - 3 เดือน หรือหลังกำจัดวัชพืช เมื่อดินมีความชื้นพอเหมาะ โดยใส่สองข้างต้นมันสำปะหลัง
< 1	ปุ๋ย N 16 กก./ไร่	
1 - 2	ปุ๋ย N 8 กก./ไร่	
> 2	ปุ๋ย N 4 กก./ไร่	
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		
< 7	ปุ๋ย P_2O_5 8 กก./ไร่	
7 - 30	ปุ๋ย P_2O_5 4 กก./ไร่	
> 30	ปุ๋ย P_2O_5 0 กก./ไร่	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		
< 30	ปุ๋ย K_2O 16 กก./ไร่	
30 - 60	ปุ๋ย K_2O 8 กก./ไร่	
> 60	ปุ๋ย K_2O 4 กก./ไร่	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

2.1.2) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับข้าวโพด

บทบาทของธาตุอาหารหลักต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพด ประกอบด้วย ไนโตรเจน มีบทบาทสำคัญต่อข้าวโพดตลอดอายุการเจริญเติบโต ตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโตเริ่มแรก จนถึงการสร้างเมล็ด ระยะที่ข้าวโพดต้องการไนโตรเจนมากที่สุด คือ ระยะที่ข้าวโพดออกดอกตัวผู้และตัวเมีย จากการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่า ในช่วงอายุข้าวโพดประมาณ 18 - 30 วัน และ 39 - 65 วัน ปริมาณการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนสูงถึง 7 กิโลกรัมต่อไร่ และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ดังนั้น ถ้าในช่วงอายุการเจริญเติบโตหากปริมาณธาตุไนโตรเจนในดินมีไม่เพียงพอจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด สำหรับความต้องการฟอสฟอรัสของข้าวโพดในระยะเริ่มแรกมากกว่าในระยะอื่นๆ นอกจากนี้ยังต้องการในช่วงที่ข้าวโพดออกดอกตัวผู้ และตัวเมีย โพแทสเซียมมีความสำคัญในการสร้างความเจริญเติบโตและความแข็งแรงของลำต้นและการสร้างเมล็ด โดยข้าวโพดมีความต้องการไนโตรเจน 20 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 10 กิโลกรัมต่อไร่ วิธีการใส่ปุ๋ยแนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 2/3 ส่วน รองก้นร่องตอนปลูกและส่วนที่เหลือใส่เมื่อข้าวโพด อายุได้ 30 วัน ส่วนฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมใส่รองก้นหลุมก่อนปลูก (กรมวิชาการเกษตร, 2548ข) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.3 และ 3.4

ตารางที่ 3.3 การใช้ปุ๋ยกับข้าวโพดสีเหลืองตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่	วิธีการใส่ปุ๋ย
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งหนึ่ง รองก้นร่องตอนปลูก และส่วนที่เหลือ ใส่เมื่อข้าวโพดอายุได้ 30 วัน
< 1	ปุ๋ย N 20 กก./ไร่	
1 - 2	ปุ๋ย N 15 - 10 กก./ไร่	
> 2	ปุ๋ย N 5 - 10 กก./ไร่	
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสรองก้นร่องตอนปลูก
< 10	ปุ๋ย P_2O_5 10 กก./ไร่	
10 - 15	ปุ๋ย P_2O_5 10 - 5 กก./ไร่	
> 15	ปุ๋ย P_2O_5 5 - 0 กก./ไร่	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมรองก้นร่องตอนปลูก
< 60	ปุ๋ย K_2O 10 กก./ไร่	
60 - 100	ปุ๋ย K_2O 10 - 5 กก./ไร่	
> 100	ปุ๋ย K_2O 5 - 0 กก./ไร่	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

ตารางที่ 3.4 การใช้ปุ๋ยกับข้าวโพดฝักสดตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่	วิธีการใส่ปุ๋ย
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งหนึ่ง รองก้นร่องตอนปลูก และส่วนที่เหลือใส่เมื่อข้าวโพดอายุได้ 30 วัน
< 1	ปุ๋ย N 30 กก./ไร่	
1 - 2	ปุ๋ย N 20 กก./ไร่	
> 2	ปุ๋ย N 15 กก./ไร่	
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส รองก้นร่องตอนปลูก
< 10	ปุ๋ย P_2O_5 10 กก./ไร่	
10 - 15	ปุ๋ย P_2O_5 10 - 5 กก./ไร่	
> 15	ปุ๋ย P_2O_5 5 - 0 กก./ไร่	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมรองก้นร่องตอนปลูก
< 60	ปุ๋ย K_2O 10 กก./ไร่	
60 - 100	ปุ๋ย K_2O 10 - 5 กก./ไร่	
> 100	ปุ๋ย K_2O 5 - 0 กก./ไร่	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

2.1.3) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับอ้อย

ความต้องการธาตุอาหารในอ้อยปลูกและอ้อยตอจะแตกต่างกัน ซึ่งอัตราการใช้ปุ๋ยสำหรับอ้อยปลูกและอ้อยตอจึงแตกต่างกันด้วย โดยอ้อยปลูกจะมีความต้องการไนโตรเจน 12 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส 6 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียม 12 กิโลกรัมต่อไร่ อ้อยตอ มีความต้องการไนโตรเจน 18 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส 9 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียม 18 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจำนวนครั้งที่ใส่ถ้าปลูกอ้อยในเขตชลประทาน จะแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใส่เมื่ออ้อยอายุ 1 เดือน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 1/2 ส่วน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 1/2 ส่วน เมื่ออ้อยอายุ 3 เดือน สำหรับการปลูกอ้อยในเขตอาศัยน้ำฝนจะใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 รองก้นหลุมด้วยปุ๋ยสูตร 0 - 3 - 0 ครั้งที่ 2 ใส่ตอนต้นฤดูฝน และครั้งที่ 3 หลังจากครั้งที่ 2 อีก 2 เดือน อัตราเดียวกันกับในเขตชลประทาน รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การใช้ปุ๋ยกับอ้อยปลูกตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่	วิธีการใส่ปุ๋ย
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		- ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งหนึ่ง โรยข้างแถวปลูกแล้วพรวนกลบหลังอ้อยงอก 30 วัน และส่วนที่เหลือใส่โรยข้างแถวปลูก แล้วพรวนกลบหลังจากครั้งแรก 60 วัน
< 1	ปุ๋ย N 18 กก./ไร่	
1 - 2	ปุ๋ย N 12 กก./ไร่	
> 2	ปุ๋ย N 12 กก./ไร่	
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		- ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส โรยข้างแถวปลูก แล้วพรวนกลบหลังอ้อยงอก 30 วัน
< 15	ปุ๋ย P_2O_5 6 กก./ไร่	
15 - 30	ปุ๋ย P_2O_5 6 กก./ไร่	
> 30	ปุ๋ย P_2O_5 6 กก./ไร่	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		- ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม โรยข้างแถวปลูก แล้วพรวนกลบหลังอ้อยงอก 30 วัน
< 60	ปุ๋ย K_2O 12 กก./ไร่	
60 - 90	ปุ๋ย K_2O 12 กก./ไร่	
> 90	ปุ๋ย K_2O 6 กก./ไร่	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

2.2) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับข้าว

ไนโตรเจนมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของข้าว คือช่วยเพิ่มความสูง จำนวนรวง ขนาดใบ จำนวนดอกย่อย จำนวนเมล็ดเต็ม เป็นต้น ส่วนฟอสฟอรัสจะช่วยการเจริญเติบโตของข้าวทั้งรากและส่วนเหนือดิน โพแทสเซียมเป็นธาตุที่ข้าวดูดใช้สะสมในซังและเมล็ดมากกว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยมีบทบาทสำคัญต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ช่วยให้ข้าวทนต่อโรคและแมลง และช่วยในการพัฒนาเมล็ด (ยงยุทธ, 2558ข) สำหรับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่แนะนำให้ใช้กับข้าว รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.6

2.2.1) ข้าวไวต่อช่วงแสง

- ดินมีอินทรียวัตถุน้อยกว่า 1 1 - 2 และ มากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 9 6 และ 3 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ตามลำดับ
- ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 5 5 - 10 และมากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใช้ปุ๋ยฟอสเฟตอัตรา 6 3 และ 0 กิโลกรัมฟอสเฟตต่อไร่ ตามลำดับ
- ดินมีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้น้อยกว่า 60 60 - 80 และมากกว่า 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 6 3 และ 0 กิโลกรัมโพแทสเซียมไร่ ตามลำดับ

2.2.2) ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง

- ดินมีอินทรียวัตถุน้อยกว่า 1 1 - 2 และ มากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 18 6 และ 6 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ตามลำดับ
- ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 5 5 - 10 และมากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใช้ปุ๋ยฟอสเฟตอัตรา 6 3 และ 0 กิโลกรัมฟอสเฟตต่อไร่ ตามลำดับ
- ดินมีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้น้อยกว่า 60 60 - 80 และมากกว่า 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 6 3 และ 0 กิโลกรัมโพแทสเซียมต่อไร่ ตามลำดับ

ตารางที่ 3.6 การใช้ปุ๋ยกับข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่ ข้าวพันธุ์ไวต่อช่วงแสง	อัตราปุ๋ยที่ใส่ ข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสง	วิธีการใส่ปุ๋ย
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)			- ปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละเท่ากัน ครั้งที่ 1 ใส่ระยะปักดำ ครั้งที่ 2 ใส่ระยะกำเนิดช่อดอก - ปุ๋ยฟอสฟอรัสและปุ๋ยโพแทสเซียม ใส่ระยะปักดำ
< 1	ปุ๋ย N 9 กก./ไร่	ปุ๋ย N 18 กก./ไร่	
1 - 2	ปุ๋ย N 6 กก./ไร่	ปุ๋ย N 12 กก./ไร่	
> 2	ปุ๋ย N 3 กก./ไร่	ปุ๋ย N 6 กก./ไร่	
2) ฟอสฟอรัส(P, มก./กก)			
< 5	ปุ๋ย P_2O_5 6 กก./ไร่	ปุ๋ย P_2O_5 6 กก./ไร่	
5 - 10	ปุ๋ย P_2O_5 3 กก./ไร่	ปุ๋ย P_2O_5 3 กก./ไร่	
> 10	ปุ๋ย P_2O_5 0 กก./ไร่	ปุ๋ย P_2O_5 0 กก./ไร่	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)			
< 60	ปุ๋ย K_2O 6 กก./ไร่	ปุ๋ย K_2O 6 กก./ไร่	
60 - 80	ปุ๋ย K_2O 3 กก./ไร่	ปุ๋ย K_2O 3 กก./ไร่	
> 80	ปุ๋ย K_2O 0 กก./ไร่	ปุ๋ย K_2O 0 กก./ไร่	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

2.3) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับไม้ผล

ความต้องการธาตุอาหารของไม้ผลขึ้นอยู่กับวงจรการเจริญเติบโตทางสรีรวิทยา ซึ่งประกอบด้วยระยะการเจริญเติบโตที่สำคัญ 3 ระยะในแต่ละรอบปี การใส่ปุ๋ยเพื่อให้ธาตุอาหารกับไม้ผลจึงต้องสัมพันธ์กับความต้องการธาตุอาหารในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และควรมีการวิเคราะห์ดินประกอบการพิจารณาจัดการธาตุอาหารให้เหมาะสมกับสถานะของปริมาณธาตุอาหารในดิน (ตารางที่ 3.7 3.8 3.9 3.10 3.11 และ 3.12) นอกจากนี้ควรมีการวิเคราะห์ใบประกอบไปด้วยเป็นครั้งคราว เพื่อให้มีการใส่ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดกับไม้ผล โดยระยะเจริญเติบโตของลำต้น ใบ และกิ่งก้านสาขา ซึ่งมีการแตกใบอ่อนพร้อมกันทั้งต้นประมาณ 2 - 3 ชุดสำหรับสร้างอาหารสะสมไว้ใช้ในการออกดอกและให้ผลผลิต ระยะนี้ไม้ผลมีความต้องการไนโตรเจนสูง จึงควรเน้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและควรแบ่งปุ๋ยออกเป็น 3 ส่วน ใส่เดือนละ 1 ครั้ง เพื่อลดการชะล้างปุ๋ย สำหรับการใส่ปุ๋ยในระยะออกดอก เป็นระยะต่อจากปลายฤดูฝนในช่วงต้นฤดูหนาว เป็นช่วงของการพักตัวก่อนออกดอกการใส่ปุ๋ยเพื่อกระตุ้นให้เกิดการออกดอกควรกระทำก่อนวันออกดอกประมาณ 1 เดือน ระยะนี้ไม้ผลมีความต้องการธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ในสัดส่วนที่สูงกว่าไนโตรเจน เพื่อใช้ในกระบวนการถ่ายเทพลังงานในกิจกรรมที่จำเป็นต่อการพัฒนาตาดอกของไม้ผล และการใส่ปุ๋ยในระยะติดผลและระยะพัฒนาการของผล เป็นระยะที่ไม้ผลมีความต้องการธาตุโพแทสเซียมมากกว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เพื่อช่วยในการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต จากใบ กิ่ง และลำต้น ไปตามท่ออาหารไปเลี้ยงผลอ่อนให้พัฒนาได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ และปรับปรุงคุณภาพในด้านรสชาติให้ดีขึ้น จึงควรใส่ปุ๋ยครั้งแรกระยะที่เริ่มติดผลอ่อน และครั้งที่สองก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 2 เดือน (กรมวิชาการเกษตร, 2548ข)

ตารางที่ 3.7 การใช้ปุ๋ยกับลำไยตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่ต่อต้น (ขนาดทรงพุ่ม 8 เมตร)	วิธีการใส่ปุ๋ย
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		1. ระยะเจริญเติบโตของลำต้น ใบ และกิ่งก้านสาขา เน้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และควรแบ่งปุ๋ยออกเป็น 3 ส่วน ใส่เดือนละ 1 ครั้ง
< 2	ปุ๋ย N 1,400 ก.	
2 - 3	ปุ๋ย N 720 ก.	
> 3	ปุ๋ย N 360 ก.	
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		2. ระยะออกดอก ใส่ก่อนวันออกดอกประมาณ 1 เดือน ระยะนี้ไม้ผลมีความต้องการธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในสัดส่วนที่สูงกว่าไนโตรเจน
< 15	ปุ๋ย P_2O_5 800 ก.	
15 - 45	ปุ๋ย P_2O_5 400 ก.	
> 45	ปุ๋ย P_2O_5 200 ก.	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		3. ระยะติดผลและระยะพัฒนาการของผล ควรใส่ปุ๋ยครั้งแรกระยะที่เริ่มติดผลอ่อน และครั้งที่สองก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 2 เดือน
< 50	ปุ๋ย K_2O 1,360 ก.	
50 - 100	ปุ๋ย K_2O 680 ก.	
> 100	ปุ๋ย K_2O 360 ก.	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

ตารางที่ 3.8 การใช้ปุ๋ยกับเงาะตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่ต่อต้น (ขนาดทรงพุ่ม 7 เมตร)	วิธีการใส่ปุ๋ย
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		1. ระยะเจริญเติบโตของลำต้น ใบ และกิ่งก้านสาขา เน้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และควรแบ่งปุ๋ยออกเป็น 3 ส่วน ใส่เดือนละ 1 ครั้ง
< 2	ปุ๋ย N 1,680 ก.	
2 - 3	ปุ๋ย N 840 ก.	
> 3	ปุ๋ย N 420 ก.	
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		2. ระยะออกดอก ใส่ก่อนวันออกดอกประมาณ 1 เดือน ระยะนี้ไม้ผลมีความต้องการธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในสัดส่วนที่สูงกว่าไนโตรเจน
< 15	ปุ๋ย P_2O_5 560 ก.	
15 - 45	ปุ๋ย P_2O_5 280 ก.	
> 45	ปุ๋ย P_2O_5 140 ก.	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		3. ระยะติดผลและระยะพัฒนาการของผล ควรใส่ปุ๋ยครั้งแรกระยะที่เริ่มติดผลอ่อน และครั้งที่สองก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 2 เดือน
< 50	ปุ๋ย K_2O 840 ก.	
50 - 100	ปุ๋ย K_2O 420 ก.	
> 100	ปุ๋ย K_2O 210 ก.	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

ตารางที่ 3.9 การใช้ปุ๋ยกับทุเรียนตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่ต่อต้น (ขนาดทรงพุ่ม 8 เมตร)	วิธีการใส่ปุ๋ย
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		1. ระยะเจริญเติบโตของลำต้น ใบ และกิ่งก้านสาขา เน้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และควรแบ่งปุ๋ยออกเป็น 3 ส่วน ใส่เดือนละ 1 ครั้ง
< 2	ปุ๋ย N 1,920 ก.	
2 - 3	ปุ๋ย N 960 ก.	
> 3	ปุ๋ย N 720 ก.	
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		2. ระยะออกดอก ใส่ก่อนวันออกดอกประมาณ 1 เดือน ระยะนี้ไม้ผลมีความต้องการธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในสัดส่วนที่สูงกว่าไนโตรเจน
< 15	ปุ๋ย P_2O_5 800 ก.	
15 - 45	ปุ๋ย P_2O_5 400 ก.	
> 45	ปุ๋ย P_2O_5 200 ก.	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		3. ระยะติดผลและระยะพัฒนาการของผล ควรใส่ปุ๋ยครั้งแรกระยะที่เริ่มติดผลอ่อน และครั้งที่สองก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 2 เดือน
< 50	ปุ๋ย K_2O 1,600 ก.	
50 - 100	ปุ๋ย K_2O 800 ก.	
> 100	ปุ๋ย K_2O 400 ก.	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

ตารางที่ 3.10 การใช้ปุ๋ยกับมังคุดตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่ต่อต้น (ขนาดทรงพุ่ม 7 เมตร)	วิธีการใส่ปุ๋ย
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		1. ระยะเจริญเติบโตของลำต้น ใบ และกิ่งก้านสาขา เน้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และควรแบ่งปุ๋ยออกเป็น 3 ส่วน ใส่เดือนละ 1 ครั้ง
< 2	ปุ๋ย N 1,400 ก.	
2 - 3	ปุ๋ย N 700 ก.	
> 3	ปุ๋ย N 350 ก.	
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		2. ระยะออกดอก ใส่ก่อนวันออกดอกประมาณ 1 เดือน ระยะนี้ไม้ผลมีความต้องการธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในสัดส่วนที่สูงกว่าไนโตรเจน
< 15	ปุ๋ย P_2O_5 700 ก.	
15 - 45	ปุ๋ย P_2O_5 350 ก.	
> 45	ปุ๋ย P_2O_5 175 ก.	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		3. ระยะติดผลและระยะพัฒนาการของผล ควรใส่ปุ๋ยครั้งแรกระยะที่เริ่มติดผลอ่อน และครั้งที่สองก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 2 เดือน
< 50	ปุ๋ย K_2O 1,680 ก.	
50 - 100	ปุ๋ย K_2O 840 ก.	
> 100	ปุ๋ย K_2O 420 ก.	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

ตารางที่ 3.11 การใช้ปุ๋ยกับมะพร้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่ต่อต้น (ขนาดทรงพุ่ม 5 เมตร)	วิธีการใส่ปุ๋ย
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		1. ระยะเจริญเติบโตของลำต้น ใบ และกิ่งก้านสาขา เน้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และควรแบ่งปุ๋ยออกเป็น 3 ส่วน ใส่เดือนละ 1 ครั้ง
< 2	ปุ๋ย N 1,200 ก.	
2 - 3	ปุ๋ย N 600 ก.	
> 3	ปุ๋ย N 300 ก.	
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		2. ระยะออกดอก ใส่ก่อนวันออกดอกประมาณ 1 เดือน ระยะนี้ไม้ผลมีความต้องการธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในสัดส่วนที่สูงกว่าไนโตรเจน
< 15	ปุ๋ย P_2O_5 500 ก.	
15 - 45	ปุ๋ย P_2O_5 250 ก.	
> 45	ปุ๋ย P_2O_5 125 ก.	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		3. ระยะติดผลและระยะพัฒนาการของผล ควรใส่ปุ๋ยครั้งแรกระยะที่เริ่มติดผลอ่อน และครั้งที่สองก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 2 เดือน
< 50	ปุ๋ย K_2O 1,000 ก.	
50 - 100	ปุ๋ย K_2O 500 ก.	
> 100	ปุ๋ย K_2O 250 ก.	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

ตารางที่ 3.12 การใช้ปุ๋ยกับสับปะรดตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่	วิธีการใส่ปุ๋ย
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		ครั้งที่ 1 กอนปลูก ใสรองกนรอง
< 1.5	ปุ๋ย N 75 กก./ไร่	ครั้งที่ 2 ระยะ 1-3 เดือน ใสบริเวณกาบใบลางชิดโคนตน
1.5 - 2.5	ปุ๋ย N 50 กก./ไร่	
> 2	ปุ๋ย N 25 กก./ไร่	ครั้งที่ 3 ระยะ 6 เดือน ใส่บริเวณกาบใบล่างชิดโคนต้น
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		
< 6	ปุ๋ย P_2O_5 34 กก./ไร่	
6 - 455	ปุ๋ย P_2O_5 17 กก./ไร่	
> 45	ปุ๋ย P_2O_5 0 กก./ไร่	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		
< 35	ปุ๋ย K_2O 136 กก./ไร่	
35 - 140	ปุ๋ย K_2O 68 กก./ไร่	
> 140	ปุ๋ย K_2O 34 กก./ไร่	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

2.4) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับปาล์มน้ำมัน

การใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมันนอกจากพิจารณาจากความอุดมสมบูรณ์ของดินแล้ว ควรพิจารณาระยะการเจริญเติบโต และขนาดทรงพุ่มอีกด้วย สำหรับคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินนั้น กรณีที่ปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสต่ำกว่า 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะมีอัตราปุ๋ยแนะนำปุ๋ยในปาล์มที่มีขนาดทรงพุ่ม 7 เมตร ประกอบด้วย ปุ๋ยไนโตรเจน 1,400 กรัมต่อต้น ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 840 กรัมต่อต้น และปุ๋ยโพแทสเซียม (K_2O) 1,400 กรัมต่อต้น เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2548ข) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 การใช้ปุ๋ยกับปาล์มน้ำมันตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่ต่อต้น (ขนาดทรงพุ่ม 7 เมตร)	วิธีการใส่
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		- แบ่งใส่ปุ๋ยอัตราแนะนำออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน ใส่ 4 ครั้งต่อ แต่ละครั้งห่างกันประมาณ 3 เดือน ใส่ปุ๋ยโดยวิธีหว่านรอบโคนต้น ห่างจากโคนต้นประมาณ 1 ฟุต แล้วพรวนดินกลบ และรดน้ำตาม การพรวนดินต้องระมัดระวังไม่ให้กระทบกระเทือนราก
< 1.5	ปุ๋ย N 1,400 ก.	
1.5 - 2.5	ปุ๋ย N 700 ก.	
> 2.5	ปุ๋ย N 350 ก.	
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		
< 15	ปุ๋ย P_2O_5 840 ก.	
15 - 45	ปุ๋ย P_2O_5 420 ก.	
> 45	ปุ๋ย P_2O_5 210 ก.	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		
< 50	ปุ๋ย K_2O 1,400 ก.	
50 - 100	ปุ๋ย K_2O 700 ก.	
> 100	ปุ๋ย K_2O 350 ก.	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

2.5) คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับยางพารา

การใช้ปุ๋ยในยางพาราตามค่าวิเคราะห์ดินจะแนะนำในยางหลังกรีด จะไม่แนะนำในยางก่อนเปิดกรีด โดยคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินนั้น กรณีที่ปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสต่ำกว่า 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมต่ำกว่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะมีอัตราปุ๋ยแนะนำ ประกอบด้วย ปุ๋ยไนโตรเจน 24 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 8 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียม (K_2O) 19 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2548ข) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 การใช้ปุ๋ยกับยางพาราตามค่าวิเคราะห์ดิน

รายการวิเคราะห์	อัตราปุ๋ยที่ใส่	วิธีการใส่
1) อินทรียวัตถุ (OM, %)		- แบ่งใส่ปุ๋ยอัตราแนะนำออกเป็น
< 1.5	ปุ๋ย N 24 กก./ไร่	4 ส่วนเท่าๆกัน ใส่ 4 ครั้งต่อ แต่
1.5 - 2.5	ปุ๋ย N 12 กก./ไร่	ละครั้งห่างกันประมาณ 3 เดือน
> 2.5	ปุ๋ย N 12 กก./ไร่	ใส่ปุ๋ยโดยวิธีหว่านปุ๋ยให้กระจาย
2) ฟอสฟอรัส (P, มก./กก)		สม่ำเสมอในแถวยางพารา ห่าง
< 11	ปุ๋ย P_2O_5 8 กก./ไร่	จากโคนต้นข้างละ 1 เมตร
11 - 30	ปุ๋ย P_2O_5 4 กก./ไร่	
> 30	ปุ๋ย P_2O_5 4 กก./ไร่	
3) โพแทสเซียม (K, มก./กก)		
< 40	ปุ๋ย K_2O 19 กก./ไร่	
40 - 60	ปุ๋ย K_2O 14 กก./ไร่	
> 60	ปุ๋ย K_2O 14 กก./ไร่	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2548ข

3.4 การผลิตและการใช้ปุ๋ยอินทรีย์

3.4.1 ปริมาณปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมักที่ผลิตในไร่นา

1) ปริมาณปุ๋ยคอก

ปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยได้ขยายตัวเพิ่มมากขึ้น จนทำให้เกิดอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่แพร่หลายไปทั่วประเทศ ซึ่งมีการใช้เทคโนโลยีต่างๆ มาใช้ในการผลิตทั้งเพื่อการส่งออก และบริโภคภายในประเทศ (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ซึ่งจากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2562) รายงานข้อมูลสถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2562 พบว่า จำนวนและชนิดของปศุสัตว์ของประเทศไทยนั้นกระจายอยู่ตามภาคต่างๆ โดยข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ 9 ชนิด ได้แก่ โคเนื้อ โคนม กระบือ สุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่ ไก่พื้นเมือง เป็ดเนื้อ และเป็ดไข่ รวมทั้งสิ้น 454,072,247 ตัว (ตารางที่ 3.15) ซึ่งในการเลี้ยงปศุสัตว์ต่างๆ ดังกล่าวนี้จะมีมูลสัตว์ที่เกิดขึ้น ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่การเกษตร โดยนำไปใช้เป็นปุ๋ยคอกซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งก็จะเกิดผลดีหลายประการ เช่น ช่วยปรับปรุงดิน ช่วยนำของเสียเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์เพิ่มธาตุอาหารพืช และช่วยกำจัดมลภาวะให้แก่สิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าปุ๋ยคอกจากปศุสัตว์ดังกล่าวจึงมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้เป็นปุ๋ยคอกได้ เพราะมีปริมาณมากและกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ

จากการประเมินปริมาณมูลสัตว์โดยคำนวณจากปริมาณมูลโคที่ผลิตต่อตัวต่อวัน รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.17 (กฤษพนธิ์, 2546 อ้างถึง กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2544) โดยเมื่อพิจารณาจากจำนวนปศุสัตว์ 9 ชนิด สามารถประเมินปริมาณของมูลสัตว์ในปี 2562 ได้ทั้งสิ้น 27.91 ล้านตัน โดยภาคเหนือ และภาคกลางมีปริมาณมากกว่าภาคอื่นๆ คือ 10.37 และ 10.78 ล้านตัน ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีปริมาณสูงมาก ดังนั้นถ้ามีการจัดการเพื่อนำมาผลิตเป็นปุ๋ยคอกก็สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงดินได้อย่างดี

ตารางที่ 3.15 จำนวน โค กระบือ สุกร ไก่ และเป็ดในประเทศไทย ปี 2562

ภาค	โคเนื้อ (ตัว)	โคนม (ตัว)	กระบือ (ตัว)	สุกร (ตัว)	ไก่เนื้อ (ตัว)	ไก่ไข่ (ตัว)	ไก่พื้นเมือง (ตัว)	เป็ดเนื้อ (ตัว)	เป็ดไข่ (ตัว)	รวม
ตะวันออกเฉียงเหนือ	952,053	86,056	221,986	1,127,732	29,141,781	8,647,353	18,794,699	557,460	2,354,593	61,883,713
เหนือ	2,542,318	176,286	926,195	1,336,501	59,141,469	6,850,616	28,007,021	3,691,701	975,620	103,647,727
กลาง	1,155,588	434,193	91,049	4,470,060	195,444,173	35,238,593	8,577,006	5,632,006	7,954,099	258,996,767
ใต้	821,738	4,676	24,398	716,938	13,762,287	5,225,408	7,276,089	1,060,177	1,052,369	29,944,080
รวมทั้งประเทศ	**5,471,697**	**701,211**	**1,263,628**	**7,651,231**	**297,489,710**	**55,961,970**	**62,254,815**	**10,941,304**	**12,336,681**	**454,072,247**

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562

ตารางที่ 3.16 การประเมินปริมาณมูลสัตว์ชนิดต่างๆ ปี 2562 (1,000 ตัน)

ภาค	โคเนื้อ (ตัน)	โคนม (ตัน)	กระบือ (ตัน)	สุกร (ตัน)	ไก่เนื้อ (ตัน)	ไก่ไข่ (ตัน)	ไก่พื้นเมือง (ตัน)	เป็ดเนื้อ (ตัน)	เป็ดไข่ (ตัน)	รวม
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1,737	471	648	823	319	94.7	206	6.1	25.8	4,330.6
เหนือ	4,640	965	2,704	976	648	75.0	307	40.4	10.7	10,366.1
กลาง	2,109	2,377	266	3,263	2,140	386	93.9	61.7	87.1	10,783.7
ใต้	1,500	25.6	71.2	523	151	57.2	79.7	11.6	11.5	2,430.8
รวมทั้งประเทศ	**9,986**	**3,838.6**	**3,689.2**	**5,585**	**3,258**	**612.9**	**686.6**	**119.80**	**135.10**	**27,911.2**

หมายเหตุ : ปริมาณมูลสัตว์ได้จาก จำนวนสัตว์ x ปริมาณมูลสัตว์ ต่อวันต่อตัว

ตารางที่ 3.17 ค่าสัดส่วนปริมาณการขับถ่ายมูลสัตว์เฉลี่ย

ชนิด	สัดส่วนปริมาณมูลสด (กก./ตัว/วัน)
1 โคเนื้อ	5
2. โคนม	15
3. กระบือ	8
4. สุกร	2
5. ไก่	0.03
6. เป็ด	0.03

ที่มา : กฤษพนธิ์, 2546 อ้างถึง กรมพัฒนาและสงเสริมพลังงาน, 2544

2) ปริมาณปุ๋ยหมัก

เกษตรกรสามารถจะทำปุ๋ยหมักไว้ใช้ได้เองจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่ทั่วไปในไร่นา เพื่อใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินเพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข) การผลิตปุ๋ยหมักเป็นการนำเศษพืชหรือวัสดุที่จะใช้หมักมากองรวมกัน ผสมคลุกเคล้ากับมูลสัตว์และปุ๋ยเคมี รดน้ำให้กองปุ๋ยมีความชื้นพอเหมาะ เมื่อสภาพภายในกองปุ๋ยเหมาะสม จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่ติดมากับเศษวัสดุที่ใช้หมักก็จะเริ่มเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นมา โดยการเข้าย่อยสลายวัสดุที่นำมาหมักเพื่อใช้เป็นอาหาร จนกลายเป็นปุ๋ยหมัก (ธงชัย, 2546) ดังนั้นปริมาณและศักยภาพที่ผลิตปุ๋ยหมักในไร่นา จะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จากการประเมินศักยภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการ เกษตรจากพืช 10 ชนิด ได้แก ข่าว ข้าวโพด อ้อย ถั่วเหลือง มันสำปะหลัง สับปะรด มะพร้าว ปาลมน้ำมัน ลำไย และกาแฟ โดยใช้ข้อมูลปริมาณผลผลิตของพืชจากการายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ป 2562 (ดังแสดงในตารางที่ 3.18) คูณด้วยค่าอัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิตพืช (กฤษพนธิ์, 2546 อ้างถึง กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2544) รายละเอียดในตารางที่ 3.19 ซึ่ง พบว่า วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากพืชทั้ง 10 ชนิดมีปริมาณมากถึง 130.199 ล้านตัน (ตารางที่ 3.20) โดยเมื่อแยกเป็นรายภาค พบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณมากที่สุดคือ 45.402 ล้านตัน รองลงมาภาคเหนือ 33.338 ล้านตัน ดังนั้นจากข้อมูลปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรดังกล่าวจึงมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักเพื่อใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดินได้ นอกจากนี้กรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินโครงการส่งเสริมการใช้สารอินทรีย์ลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร จากผลการดำเนินงานในปี 2562 ส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตปุ๋ยหมักทั่วประเทศ จำนวน 3,400 ตัน (กองแผนงาน, 2562)

ตารางที่ 3.18 ค่าอัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิตจากพืช 10 ชนิด

ชนิด	ค่าอัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต
1. แกลบ	0.230
2. ฟาง	0.447
3.ซังข้าวโพด	0.273
4. ต้นและใบข้าวโพด	0.89
5. ชานอ้อย	0.291
6. ส่วนยอดและใบอ้อย	0.302
7. ลำต้น ใบ และเปลือกถั่วเหลือง	0.663
8. ลำต้นมันสำปะหลัง	0.088
9. เปลือก แกน ก้าน ใบ สับปะรด	0.74
11. เปลือกมะพร้าว	0.362
12. กะลามะพร้าว	0.160
13. ทะลายมะพร้าว	0.049
14. ทางมะพร้าว	0.225
15. ทะลายปาล์มเปล่า	0.428
16. เส้นใยปาล์ม	0.147
17. กะลาปาล์ม	0.049
18. ก้านปาล์ม	0.604
19. ทะลายตัวผู้ปาล์มน้ำมัน	0.233
20. กิ่งและก้านลำไย	0.25
21. เปลือกและเมล็ดลำไย	0.13
22. กิ่งและก้านกาแฟ	0.90

ที่มา : กฤษพนธิ์, 2546 อ้างถึง กรมพัฒนาและสงเสริมพลังงาน, 2544

ตารางที่ 3.19 ปริมาณผลผลิตพืช 10 ชนิดจากภาคต่างๆ ของประเทศไทย ปี 2562 (ตัน)

ชนิดพืช	ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคกลาง	ภาคใต้	รวม
ข้าว	10,575,767	11,889,364	5,472,730	439,540	31,474,401
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	2,938,936	740,361	542,376		4,221,673
อ้อย	35,730,103	58,051,703	34,748,056		128,529,862
ถั่วเหลือง	30,859	9,490	27		40,376
มันสำปะหลัง	6,790,736	17,531,952	6,757,278		31,079,966
สับปะรด	317,650	139,454	1,186,566	35,998	1,679,668
มะพร้าว	1,137	982	44,750	359,157	806,026
ปาล์มน้ำมัน	100,149	275,177	1,272,048	15,125,056	16,772,430
ลำไย	626,921	11,198	373,157		1,011,276
กาแฟ	7,909	92	176	16,437	24,614

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562

ตารางที่ 3.20 การประเมินปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในภาคต่างๆ ของประเทศไทย ปี 2562 (1,000 ตัน)

ชนิดพืช	วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	ปริมาณวัสดุเหลือใช้				
		ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคกลาง	ภาคใต้	รวม
ข้าว	แกลบ	2,432	2,735	1,259	101	6,527
	ฟาง	4,727	5,315	2,446	196	12,684
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ซังข้าวโพด	802	202	148		1,152
	ต้นและใบ	2,616	658	483		3,757
อ้อย	ชานอ้อย	10,397	16,893	10,112		37,402
	ยอดและใบ	10,790	17,532	10,494		38,816
ถั่วเหลือง	ลำต้นใบเปลือก	20	6.29	0.02		26.31
มันสำปะหลัง	ลำต้น	598	1,543	595		2,736
สับปะรด	เปลือกและแกนก้าน ใบ	235	103	878	26.64	1,242
มะพร้าว	เปลือก	0.42	0.36	16.20	130	147
	กะลามะพร้าว	0.18	0.16	7.16	57.47	64.97
	ทะลายมะพร้าว	0.056	0.05	2.19	17.60	19.90
	ทางมะพร้าว	0.26	0.22	10.07	80.81	91.36
ปาล์มน้ำมัน	ทะลายเปล่า	42.86	117	544	6,474	7,178
	เส้นใยปาล์ม	14.72	40.45	187	2,223	2,465
	กะลาปาล์ม	4.91	13.48	62.33	741	822
	ก้าน	60.49	166	768	9,136	10,130
	ทะลายตัวผู้	23.33	64.12	296	3,524	3,907
ลำไย	กิ่ง ก้าน	2.80	2.80	93.29		98.89
	เปลือก เมล็ด	564	10.08	335		909
กาแฟ	เปลือก เมล็ด	7.12	0.08	0.16	14.79	22.15
รวม		**33,338**	**45,402**	**28,736**	**22,722**	**130,199**

ที่มา : ปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้จากการคำนวณ ผลผลิตกับค่าอัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต

3.4.2 ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตเป็นการค้า

ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการซื้อขายหรือปุ๋ยเพื่อการค้า คือ ปุ๋ยที่มีไว้เพื่อขาย พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติม โดย พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) (มาตรา 3) กำหนดนิยามของ “ขาย” ว่าหมายถึง จำหน่าย จ่าย แจก แลกเปลี่ยน โอนสิทธิหรือโอนการครอบครองให้แก่บุคคลอื่น ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในทางการค้า และให้หมายความรวมถึงการมีไว้เพื่อขายด้วย (ยงยุทธ, 2559) กรมวิชาการเกษตรซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบตาม พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติม โดย พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 ซึ่งได้กำหนด การผลิต การจำหน่าย การนำเข้า การส่งออก ต้องได้รับใบอนุญาตจากกรมวิชาการเกษตร เพื่อดูความพร้อม อุปกรณ์ในการดำเนินการ และได้มีการควบคุมคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์โดยการขึ้นทะเบียน จากผลการศึกษาของสังวรณ์ (2557) รายงานการสำรวจข้อมูลจำนวนโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทยที่ได้รับอนุญาตจากกรมวิชาการเกษตร ระหว่างปี พ.ศ. 2553 ถึงปี พ.ศ. 2557 พบว่า มีจานวนทั้งสิ้น 470 โรงงาน โดยจังหวัดที่มีจำนวนโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ 5 อันดับแรกของประเทศ ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี นนทบุรี และสระบุรี โดยทั้ง 5 จังหวัด มีโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์รวม 207 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 44.04 ของโรงงานผู้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ทั้งหมดของประเทศไทย โดยจังหวัดกาญจนบุรีมีจำนวนของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 12.76 รองลงมา คือ จังหวัดนครปฐม คิดเป็นร้อยละ 12.34 จังหวัดสุพรรณบุรี คิดเป็นร้อยละ 7.23 จังหวัดนนทบุรี คิดเป็นร้อยละ 6.81 และจังหวัดสระบุรี คิดเป็นร้อย 4.09 (ตารางที่ 3.21)

การผลิตปุ๋ยหมักเพื่อการค้านั้นจะเป็นการผลิตปุ๋ยหมักเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งจากการรายงานของกรมพัฒนาที่ดิน (2558ข) พบว่า วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักอุตสาหกรรม ประกอบด้วย กากอ้อย หรือชานอ้อย แกลบ ซังข้าวโพด กากเปลือกมันสำปะหลัง ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว และเศษเหลือจากปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 3.22) ซึ่งจากข้อมูลการประเมินปริมาณวัสดุเหลือใช้ ในปี 2562 ได้แก่ กากอ้อย แกลบ ซังข้าวโพด และเศษเหลือจากปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการนำมาผลิตปุ๋ยหมักในตารางที่ 3.20 มีปริมาณรวมกันทั้งสิ้น 69.583 ล้านตัน ซึ่งชานอ้อยหรือกากอ้อยมีปริมาณมากที่สุด ซึ่งได้จากโรงงานน้ำตาล

ตารางที่ 3.21 จังหวัดที่มีโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ 5 อันดับแรกของประเทศไทยและได้รับอนุญาตจากกรมวิชาการเกษตร ระหว่างปี พ.ศ. 2553 ถึงปี พ.ศ. 2557

จังหวัด	จำนวนโรงงาน	ร้อยละของจำนวนโรงงานทั้งหมด
กาญจนบุรี	60	12.76
นครปฐม	58	12.34
สุพรรณบุรี	34	7.23
นนทบุรี	32	6.81
สระบุรี	23	4.90
รวม	**207**	**44.04**

ที่มา : สังวร, 2557

ตารางที่ 3.22 แหล่งผลิตปุ๋ยหมักอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการผลิต

แหล่งผลิตปุ๋ยหมักอุตสาหกรรม	วัสดุที่ใช้
ภาคกลางและตะวันออก	
ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง	ขี้เลื่อย แกลบ ซังข้าวโพด กากและเปลือกมันสำปะหลัง เปลือก เหง้า และแกนลำต้นสับปะรดกระป๋อง
อยุธยา สระบุรี ลพบุรี	กากอ้อย ซังข้าวโพด ขี้เลื่อย
สุพรรณบุรี กาญจนบุรี	กากอ้อย แกลบ ขี้เลื่อย
สมุทรสาคร	กากและเปลือกมันสำปะหลัง
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	
นครราชสีมา	กากและเปลือกมันสำปะหลัง กากอ้อย ซังข้าวโพด
ขอนแก่น	กากอ้อย ซังข้าวโพด กากและเปลือกมันสำปะหลัง ไส้ปอ
อุดรธานี หนองคาย	กากอ้อย เศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตผลไม้กระป๋อง กากและเปลือกมันสำปะหลัง
บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ	ขี้เลื่อย แกลบ
ภาคเหนือ	
แพร่ น่าน อุตรดิตถ์	กากอ้อย กากและเปลือกมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด
กำแพงเพชร	กากอ้อย กากและเปลือกมันสำปะหลัง
สุโขทัย พิษณุโลก	กากอ้อย แกลบ
นครสวรรค์ อุทัยธานี	กากอ้อย กากและเปลือกมันสำปะหลัง
ภาคใต้	
กระบี่	เศษเหลือจากปาล์มน้ำมัน
สุราษฎร์นี	ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว แกลบ

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข

3.4.3 การผลิตเมล็ดพันธุ์ และการใช้ปุ๋ยพืชสด

1) วิธีการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด

พืชที่นิยมปลูกทำเป็นปุ๋ยพืชสด ส่วนใหญ่จะมีปัญหาในด้านเมล็ดพันธุ์เพราะมิใช่พืชเศรษฐกิจ ดังนั้นเพื่อให้โครงการของภาครัฐ โดยเฉพาะของกรมพัฒนาที่ดินที่มีการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยพืชสดให้เกษตรกรประสบผลสำเร็จ จึงจำเป็นที่จะต้องส่งเสริมเกษตรกรให้สามารถผลิตเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสดไว้เพื่อใช้ในไร่นาของตนเองได้ด้วย โดยกรมพัฒนาที่ดินแนะนำวิธีการปลูกพืชปุ๋ยสดเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ค)

1.1) การเลือกพื้นที่ ควรเลือกดินที่มีลักษณะร่วนปนทรายมีการระบายน้ำดี มีความเป็นกรดเป็นต่างระหว่าง 6 - 7 ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์และความชื้นพอเหมาะจะทำให้ได้เมล็ดพันธุ์สูงและมีคุณภาพ ถ้าเป็นดินที่ขาดธาตุอาหารจำเป็นช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืชปุ๋ยสดในระยะแรกด้วย โดยเฉพาะปุ๋ยฟอสฟอรัส หรือ หินฟอสเฟต (rock phosphate) เนื่องจากสามารถเพิ่มน้ำหนักสดของ

พืชปุ๋ยสดของพืชตระกูลถั่วได้อย่างชัดเจน (*Azad et al.*, 1988; Bhadoria, 2004) โดยใช้อัตราประมาณ 20 กิโลกรัมต่อไร่

1.2) ฤดูปลูก การปลูกพืชปุ๋ยสดเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์นั้นฤดูปลูกหรือช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสมถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะสามารถลดปัญหาจากการทำลายของศัตรูพืช ความแห้งแล้ง และความสูญเสียของเมล็ดพันธุ์จากการทำลายของเชื้อราลงได้ ดังนั้นจึงควรได้พิจารณาถึงช่วงของปริมาณน้ำฝนที่มากพอเพียง ต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืชสูงสุดและสามารถจะเก็บเกี่ยวผลผลิตได้สะดวกในช่วงที่สิ้นสุดฤดูฝนแล้ว เพื่อป้องกันความเสียหายอันอาจเกิดขึ้นได้จากความชื้นหรือน้ำฝนที่ตกถูกฝักแก่ของพืชปุ๋ยสดทำให้เชื้อราเข้าทำลายเมล็ดพันธุ์เสียหายได้

1.3) การเตรียมดิน การเตรียมดินที่ดีควรจะมีการไถตากดินไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้แสงแดดได้ทำลายเชื้อโรคและวัชพืชในดินหลังจากนั้นจึงทำการไถพรวนย่อยดินให้เล็กลง พร้อมทั้งคราดเก็บเอาวัชพืชออกให้หมด ในขณะเดียวกันก็ต้องทำการปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง หลังจากนั้นก็ทำการปลูกพืชปุ๋ยสด การใส่หินฟอสเฟตอย่างละเอียดให้ทั่วทั้งแปลงในอัตรา 20 - 30 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าพืชตระกูลถั่วเป็นพืชที่ต้องการปริมาณของฟอสเฟตในดินสูงในระยะแรกของการเจริญเติบโต แต่เมื่อเติบโตพอสมควรแล้ว เมื่อระบบรากได้แพร่กระจายไปกว้างขวางก็จะสามารถหาอาหารได้เองอย่างเพียงพอ อีกประการหนึ่งการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในปริมาณเล็กน้อยจะช่วยให้พืชตระกูลถั่วมีการตรึงไนโตรเจนอย่างมีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือในกรณีที่พื้นที่ปลูกเป็นดินที่ค่อนข้างมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

1.4) การเตรียมเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ที่จะนำมาปลูกเพื่อขยายพันธุ์นั้นควรจะมีความงอกตั้งแต่ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป เมื่อทราบเปอร์เซ็นต์ความงอกแล้วก็จะสามารถกำหนดจำนวนเมล็ดพันธุ์ที่จะปลูกว่าจะใช้เท่าไรต่อไร่ได้ เช่นในกรณีปอเทืองหากเมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ความงอกตั้งแต่ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ก็จะใช้เมล็ดพันธุ์ปลูกปกติ คือ 5 กิโลกรัมต่อไร่ แต่หากมีเปอร์เซ็นต์ความงอกน้อยกว่านี้ควรเพิ่มเมล็ดพันธุ์ปลูกต่อไร่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วน อีกประการหนึ่งเมล็ดพืชปุ๋ยสดบางชนิดมีเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) หนาทำให้ยากแก่การงอก เช่น เมล็ดพันธุ์โสนอัฟริกัน ถั่วเวอราโน ไมยราบไร้หนาม คุดซู เป็นต้น วิธีการที่จะช่วยให้งอกได้เร็วขึ้นก็คือ ก่อนนำไปปลูกควรแช่เมล็ดพันธุ์เหล่านั้นในน้ำอุ่นประมาณ 80 องศาเซลเซียส นานประมาณ 10 นาที หรือในน้ำเย็นธรรมดานานประมาณ 12 ชั่วโมง เพื่อทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่มสะดวกแก่การซึมผ่านของความชื้นในเมล็ดต้นอ่อนก็จะงอกได้ง่ายขึ้น

1.5) อัตราการใช้เมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด พืชปุ๋ยสดที่ปลูกเพื่อเก็บเมล็ดพันธุ์นิยมปลูกเป็นแถวหรือหยอดเป็นหลุม โดยมีระยะระหว่างต้นและระหว่างแถวเพื่อสะดวกในการเก็บเกี่ยว น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ปลูกขึ้นอยู่กับขนาดของเมล็ดและระยะปลูก

1.6) วิธีการปลูกเพื่อเก็บเมล็ดพันธุ์ มี 2 วิธี คือ ปลูกแบบหยอดเป็นหลุม หรือแบบโรยเป็นแถว ๆ และเว้นทางเดินไว้สำหรับเข้าไปพ่นยาปราบศัตรูพืช ในกรณีเมล็ดมีขนาดเล็กไม่ควรหยอดให้ลึก แต่ถ้าเมล็ดมีขนาดใหญ่หยอดลึกได้ จะช่วยให้การงอกดีขึ้น

1.7) การดูแลรักษา ในการปลูกพืชปุ๋ยสดเพื่อเก็บเมล็ดพันธุ์ ควรมีการพรวนดินกำจัดวัชพืช และถอนต้นที่ไม่สมบูรณ์ออกหลังจากหยอดไปแล้วประมาณ 7 - 10 วัน โดยเหลือไว้หลุมละ 2 - 3 ต้น การพรวนดินกลบโคนต้นจะช่วยให้พืชเจริญเติบโตเร็ว ต้นไม่ล้มง่าย ซึ่งควรทำเมื่อพืชอายุไม่เกิน 30 วัน

1.8) การใช้ปุ๋ย การปลูกพืชปุ๋ยสดเพื่อเก็บเมล็ดพันธุ์ควรมีการใช้ปุ๋ยเคมี เช่น ฟอสเฟต อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ในตอนเตรียมดิน ในดินบางแห่งที่เป็นกรด จำเป็นต้องใส่ปูนขาวอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่

เพื่อปรับสภาพความเป็นกรดของดิน และควรใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15 - 15 - 15 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อพืชปุ๋ยสดมีอายุได้ 30 วัน

1.9) การป้องกันและกำจัดวัชพืช การปลูกพืชปุ๋ยสดเพื่อเก็บเมล็ดพันธุ์ควรฉีดพ่นยาปราบศัตรูพืชทันทีเมื่อพบการระบาดของหนอน และแมลงกัดกินใบและยอดอ่อน โดยใช้อะโซดรินหรือแลนเนท ฉีดพ่นทุกๆ สัปดาห์หรือตามอัตราที่แนะนำ ในกรณีที่เกิดการระบาดของโรคสามารถป้องกันกำจัดโดยหลีกเลี่ยงการปลูกซ้ำที่เดิมติดต่อกัน

1.10) การเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญตอนหนึ่ง ที่จะทำให้เมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรงมากหรือน้อย และถ้าเก็บเกี่ยวเร็วเกินไปเมล็ดจะไม่มีคุณภาพ และความงอกต่ำ หรือถ้าเก็บเกี่ยวช้าเกินไปฝักจะแตกและร่วงง่าย ต้องเก็บในขณะที่ไม่มีฝนตกชุก เพราะถ้าเมล็ดถูกฝนจะมีความชื้น ทำให้เมล็ดเปลี่ยนเป็นสีคล้ำ ฝักและเมล็ดจะมีเชื้อราขึ้น การเก็บเกี่ยวที่ล่าช้ามากที่สุด เมล็ดจะเสื่อมคุณภาพที่สุด โดยเมล็ดจะมีความงอกและความแข็งแรงลดลง เนื่องจากเมล็ดถูกทิ้งในแปลงเป็นระยะเวลานานประกอบกับสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกที่แปรปรวน ทำให้คุณภาพเมล็ดจะผันแปรไปตามสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกและเสื่อมคุณภาพมากกว่าเมล็ดที่เก็บเกี่ยวในระยะต้น ๆ การเก็บเกี่ยวล่าช้าทำให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพต่ำกว่า และมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่า นอกจากนี้การนวดต้องตรวจสอบความชื้นของเมล็ดพืชที่จะนำมานวด ถ้าเมล็ดแห้งเกินไปจะทำให้เมล็ดแตก เสียคุณภาพ ถ้าเมล็ดมีความชื้นสูงเกินไป ทำให้นวดไม่หมด เมล็ดติดค้างไปกับฝัก การนวดเมล็ดในขณะที่เมล็ดมีความชื้นสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดมีคุณภาพต่ำ ความชื้นที่เหมาะสมในการนวดควรอยู่ในระหว่าง 13 - 18 เปอร์เซ็นต์ ถ้าความชื้นสูงมากควรลดความชื้น โดยการตากสัก 2 แดด การนวดหรือกะเทาะเมล็ดนิยมอยู่สองวิธีใหญ่ๆ คือการใช้ไม้ทุบ การใช้คนหรือสัตว์ย่ำ และการใช้เครื่องนวด ซึ่งดัดแปลงมาจากเครื่องนวดข้าว ดังนั้นช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมจึงแตกต่างกันไปตามเวลาและสถานที่ เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาเวลาที่เมล็ดแก่ทางสรีรวิทยาเพื่อนำไปพิจารณาการวางแผนการผลิตและเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์คุณภาพดีและให้ผลผลิตสูงต่อไป (ตารางที่ 3.23)

ตารางที่ 3.23 อายุเก็บเกี่ยว ผลผลิต และวิธีการเก็บเกี่ยวของพืชปุ๋ยสดแต่ละชนิด

ชนิดพืช	อายุเก็บเกี่ยว (วัน)	ผลผลิต (กก./ไร่)	วิธีการเก็บเกี่ยว
ปอเทือง	120 - 150	80 - 150	เก็บทั้งกิ่งหรือทั้งต้น
ถั่วพร้า	120 - 150	200 - 250	เลือกเก็บเฉพาะฝักแก่
ถั่วพุ่ม	65 - 90	80 - 120	เลือกเก็บเฉพาะฝักแก่
ถั่วมะแฮะ	180 - 270	300 - 400	เลือกเก็บเฉพาะฝักแก่
โสนอัฟริกัน	120 - 150	120 - 250	เลือกเก็บเฉพาะฝักแก่
โสนอินเดีย	150 - 180	100 - 200	เลือกเก็บเฉพาะฝักแก่
โสนจีนแดง	120 - 150	100 - 200	เลือกเก็บเฉพาะฝักแก่
โสนคางคก	120 - 150	80 - 120	เลือกเก็บเฉพาะฝักแก่

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ค

2) ปริมาณเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด

กรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินโครงการส่งเสริมและสนับสนุนเกษตรกรในกิจกรรมการสาธิตการปลูกพืชปุ๋ยสดเพื่อการปรับปรุงบำรุงดิน สำหรับกิจกรรมการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยพืชสดนั้นได้สนับสนุนเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสดเพื่อปลูกและไถกลบลงดินเพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุ และความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยปริมาณเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด 5 ชนิด ที่มีการผลิตและจัดหาในช่วงปี พ.ศ. 2557 - 2561 ของกรมพัฒนาที่ดินเพื่อสนับสนุนสู่เกษตรกรนั้น ประกอบด้วย เมล็ดพันธุ์ปอเทือง เมล็ดพันธุ์ถั่วพร้า เมล็ดพันธุ์ถั่วพุ่ม เมล็ดพันธุ์ถั่วมะแฮะ และเมล็ดพันธุ์โสนอัฟริกัน ดังรายงานของ นิสา และคณะ (2562) พบว่า ในช่วงปีดังกล่าว ปริมาณเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด ร้อยละ 76.0 เป็นเมล็ดพันธุ์ปอเทือง รองลงมา คือ ปริมาณเมล็ดพันธุ์ถั่วพร้า เมล็ดพันธุ์ถั่วพุ่ม เมล็ดพันธุ์ถั่วมะแฮะ และเมล็ดพันธุ์โสนอัฟริกัน คิดเป็นร้อยละ 18.1 4.0 1.2 และ 0.7 ตามลำดับ โดยในปี 2561 จำนวนรวมของเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสดทั้งสิ้น 3,489.4 ตัน (ตารางที่ 3.24) โดยจากปริมาณเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสดที่กรมพัฒนาที่ดินสนับสนุนเกษตรกรตามโครงการต่างๆ สามารถนำไปใช้ในพื้นที่การเกษตรทั้งสิ้น ปี 2557 จำนวน 659,870 ไร่ ปี 2558 จำนวน724,388 ไร่ ปี 2559 จำนวน 739,735 ไร่ ปี 2560 จำนวน 735,825 ไร่ และ ปี 2561 จำนวน 650,905 ไร่ (ตารางที่ 3.25)

ตารางที่ 3.24 ชนิดและปริมาณเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด ที่จัดหาระหว่าง ปี พ.ศ. 2557 - 2561 (ตัน)

ชนิดพืชปุ๋ยสด	ปี				
	2557	2558	2559	2560	2561
ปอเทือง	2,640.5	2,859	3,112	3,224	2,851.4
ถั่วพร้า	805.2	950.5	730	547	468
ถั่วพุ่ม	311.2	155	160.6	114	34
ถั่วมะแฮะ	0	15	61	50	113
โสนอัฟริกัน	0	82	12	25	23
รวม	3,756.9	4,061.5	4,075.6	3,960.0	3,489.4

ที่มา : ดัดแปลงจาก กองแผนงาน, 2561

ตารางที่ 3.25 จำนวนพื้นที่การใช้ประโยชน์เมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด ที่จัดหาระหว่าง ปี พ.ศ. 2557 - 2561 (ไร่)

ชนิดพืชปุ๋ยสด	ปี				
	2557	2558	2559	2560	2561
ปอเทือง	528,100	571,800	622,400	644,800	570,280
ถั่วพร้า	100,650	118,813	91,250	68,375	58,500
ถั่วพุ่ม	31,120	15,500	16,060	11,400	3,400
ถั่วมะแฮะ	0	1,875	7,625	6,250	14,125
โสนอัฟริกัน	0	16,400	2,400	5,000	4,600
รวม	659,870	724,388	739,735	735,825	650,905

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ค

หมายเหตุ : อัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ปอเทือง และโสนอัฟริกัน 5 กิโลกรัม/ไร่
อัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ถั่วพร้า และถั่วมะแฮะ 8 กิโลกรัม/ไร่
อัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ถั่วพุ่ม 10 กิโลกรัม/ไร่

3) การใช้พืชปุ๋ยสดในระบบการปลูกพืช

การใช้พืชปุ๋ยสดในระบบการปลูกพืชมี 4 ระบบ ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ค)

3.1) ใช้พืชปุ๋ยสดในระบบปลูกพืชหมุนเวียน (crop rotation)

3.1.1) ปลูกพืชหลักหนึ่งชนิดหมุนเวียนสลับกับปลูกพืชปุ๋ยสดหนึ่งชนิดภายในเวลาหนึ่งปี คือ การปลูกพืชปุ๋ยสดในต้นฤดูฝนแล้วไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด หลังจากนั้นจึงปลูกพืชหลักตามพืชปุ๋ยสด ได้แก่ ปอเทือง โสนต่างๆ ถั่วเชียว เป็นต้น และพืชหลัก ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวไร่ และพืชเศรษฐกิจอื่นๆ ที่มีอายุสั้น

3.1.2) ปลูกพืชหลักในต้นฤดูฝนแล้วปลูกพืชปุ๋ยสดในปลายฤดูฝน ในระยะเวลาหนึ่งปี วิธีนี้เกษตรกรส่วนมากนิยมใช้กันแพร่หลายและพืชปุ๋ยสดที่ปลูกนั้นส่วนมากเป็นพืชที่สามารถนำมาเป็นอาหารหรือจำหน่ายผลผลิตได้ด้วย แต่วิธีการนี้ก็เสี่ยงต่อความชื้นไม่พอเพียงแก่การปลูกพืชปุ๋ยสดในบางฤดูกาล เช่น การปลูกข้าวเป็นพืชหลักในฤดูนาปี และปลูกถั่วเหลืองโดยหยอดเมล็ดในตอซังข้าวเป็นปุ๋ยพืชสด เป็นต้น

3.1.3) ปลูกพืชหลักหนึ่งชนิดสลับหมุนเวียนกับปลูกพืชปุ๋ยสดหนึ่งชนิดในระยะเวลาสองปี คือ การปลูกพืชปุ๋ยสดหรืออาจเป็นพืชปุ๋ยสดคลุมดินซึ่งมีอายุยาวในหนึ่งปีแล้วจึงปลูกพืชหลักในปีที่สองหมุนเวียนกันไปซึ่งเป็นระบบที่ใช้กับพื้นที่ที่มีความลาดเท เพื่อป้องกันการชะล้างพังทลาย หรือพื้นที่เกษตรที่สูงที่มีการทำไร่เลื่อนลอย เช่น การปลูกถั่วแปบเป็นปุ๋ยพืชสดสลับกับถั่วแดงหลวง (*Phaseolus valgasis*) เป็นต้น

3.2) ใช้พืชปุ๋ยสดในระบบปลูกพืชแซม (Inter cropping) คือ การปลูกพืชปุ๋ยสดบางชนิดที่เหมาะสมแซมในแถวพืชหลักซึ่งอาจเป็นการปลูกพืชหลักแล้วก็ปลูกพืชปุ๋ยสดแซมในแถวไปพร้อมๆ กันในเวลาเดียวกัน หรือปลูกพืชหลักแล้วระยะเวลาหนึ่งจึงปลูกพืชปุ๋ยสดแซมเป็นการเหลื่อมเวลากันในหนึ่งปี

3.2.1) ปลูกพืชหลักหนึ่งชนิดแล้วแซมด้วยพืชปุ๋ยสดหนึ่งชนิดในหนึ่งปี วิธีนี้เป็นวิธีการทำการเกษตรในที่ดอนในเขตเกษตรน้ำฝน เช่น ปลูกถั่วเขียว หรือถั่วเหลือง หรือปอเทือง หรือถั่วพุ่ม

เป็นต้น แซมในแถวข้าวโพดแบบแถวต่อแถวหรือพืชหลัก 2 แถวคู่ แล้วจึงแซมด้วยพืชปุ๋ยสด เมื่อได้อายุพอเหมาะทำการไถกลบหรือสับกลบพืชปุ๋ยสดพร้อมกับการสับกลบตอซังพืชหลัก

3.2.2) ปลูกพืชหลักสองชนิดแล้วแซมด้วยพืชปุ๋ยสดหนึ่งชนิดในเวลาหนึ่งปี วิธีนี้ใช้ในระบบการปลูกพืชในเขตเกษตรชลประทานที่เป็นนาข้าว โดยการปลูกข้าวเป็นพืชหลักในฤดูฝนหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวแล้วจึงทำการปลูกพืชหลักอย่างอื่นโดยใช้น้ำชลประทาน เช่น ปลูกข้าวโพดเป็นพืชหลักแล้วแซมด้วยโสนหรือปอเทืองหรือถั่วพุ่ม เป็นต้น เป็นพืชปุ๋ยสดในแถวข้าวโพด

3.2.3) วิธีปลูกพืชหลักสองชนิดและพืชปุ๋ยสดสองชนิดแซมในแถวในหนึ่งปี เป็นวิธีการปลูกพืชในเขตเกษตรกรรมชลประทานที่เป็นที่ดอนหรือนาดอน โดยในฤดูฝนสามารถใช้พื้นที่ปลูกพืชไร่ซึ่งเป็นพืชหลักได้ เช่น ข้าวโพดแล้วแซมด้วยพืชปุ๋ยสดในแถว พืชปุ๋ยสด ได้แก่ ปอเทือง ถั่วเขียว ถั่วพร้า เป็นต้น และเมื่อเก็บเกี่ยวพืชหลักและสับกลบพืชปุ๋ยสดและซากพืชหลักหลังฤดูฝนแล้วจึงเริ่มทำการปลูกพืชหลักชนิดอื่น ๆ อีกแล้วแซมด้วยพืชปุ๋ยสดในแถวเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว โดยอาศัยน้ำจากการชลประทานปฏิบัติเช่นนี้สลับและต่อ ๆ กันไปก็จะสามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้

3.3) ใช้พืชปุ๋ยสดในระบบปลูกพืชแบบแถบพืช (strip cropping) เป็นวิธีการใช้พืชปุ๋ยสดปลูกเป็นแนวชนวนคล้าย ๆ เป็นกำแพงเพื่อเป็นการป้องกันและลดการสูญเสียหน้าดินจากการชะล้างพังทลายของดินโดยแนวชนวนของพืชปุ๋ยสดนี้จะทำหน้าที่เป็นแนวดักตะกอนอันเกิดจากการชะล้างพังทลายจากฝนและลดความรุนแรงจากการไหลบ่าของน้ำฝนได้โดยแถบพืชปุ๋ยสดนี้อาจจะกว้างประมาณ 2 เมตรยาวตามแนว contour ต่อจากแถบพืชปุ๋ยสดจึงเป็นแปลงปลูกพืชเศรษฐกิจอาจกว้างประมาณ 3 เมตรขึ้นอยู่กับความลาดเท (slope) ต่อจากนั้นก็เป็นแถบพืชปุ๋ยสดอีกทำเช่นนี้สลับกันไปจนเต็มพื้นที่ พืชที่นิยมใช้ปลูกเป็นแนวแถบพืชปุ๋ยสด เช่น กระถิน ถั่วมะแฮะ เป็นต้น วิธีการปลูกพืชปุ๋ยสดเป็นแถบพืชนั้นนิยมทำกันในพื้นที่ที่มีความลาดเทตามแนวเส้นระดับ contour ส่วนมากมักพบในแถบภาคเหนือของประเทศไทย

3.4) การปลูกพืชปุ๋ยสดในระบบพืชคลุมดิน (cover crops) การปลูกพืชในระบบนี้มักเป็นการปลูกพืชปุ๋ยสดตระกูลถั่วชนิดที่มีลำต้นเป็นเถาเลื้อยเพื่อให้เจริญเติบโตปกคลุมผิวดินทำให้น้ำฝนที่ตกลงมากระทบผิวดินไม่รุนแรงเพราะจะกระทบถูกทิ้งใบของพืชปุ๋ยสดก่อนถึงดินช่วยมิให้เกิดการชะล้างหน้าดินได้ พืชปุ๋ยสดที่เป็นเถาเลื้อยที่ใช้ปลูกกันในระบบนี้ เช่น ถั่วคาโลโปโกเนียม ไมยราบไร้หนาม ถั่วคุดซูและถั่วแปบ เป็นต้น

3.5 การใช้ปุ๋ยชีวภาพ

3.5.1 ชนิดและปริมาณการใช้ปุ๋ยชีวภาพในปัจจุบัน

1) ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม

กรมวิชาการเกษตร เป็นหน่วยงานที่ได้ดำเนินการผลิตปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมเพื่อจำหน่ายให้เกษตรกรได้ใช้มากกว่า 30 ปีแล้ว และมีผลิตภัณฑ์ทั้งชนิดผง และชนิดเหลว ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมแต่ละชนิด จะใช้กับพืชตระกูลถั่วต่างชนิดกัน ตัวอย่าง เช่น ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วเหลือง ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วลิสง ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วเขียว และปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมชนิดอื่นๆ เช่น ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม สำหรับถั่วฝักยาว ถั่วลันเตา ถั่วพุ่ม ถั่วแดงหลวง ถั่วเหลืองฝักสด ถั่วแขก ถั่วเซนโตซีมา ถั่วเซอราโต ถั่วเพอราเรีย เป็นต้น จากข้อมูลกองวิจัยพัฒนาการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร รายงานบัญชีผลิตและจำหน่ายเชื้อไรโซเบียม ปี 2562 รวมทั้งสิ้น 101,056 ถุง โดยมีการจำหน่ายให้ทั้งหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และเกษตรกร (กองวิจัยพัฒนาการผลิตทางการเกษตร, 2562)

กรมพัฒนาที่ดิน เป็นหน่วยงานที่ดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ รวมทั้งปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ซึ่งเรียกว่า พด.11 สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์แบบผง ประกอบด้วยไรโซเบียม ที่ใช้กับพืชปุ๋ยสด 3 ชนิด ได้แก่ ปอเทือง โสนอัฟริกัน และถั่วพร้า (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) โดยผลการดำเนินงานในการผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ พด.11 สำหรับพืชปุ๋ยสด 3 ชนิด ระหว่างปี 2558 - 2562 พบว่า พด.11 สำหรับปอเทือง รวม 102,000 ซอง พด.11 สำหรับโสนอัฟริกัน 72,000 ซอง และ พด.11 สำหรับถั่วพร้า 18,400 ซอง (ตารางที่ 3.26) (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558 - 2562) ซึ่งสนับสนุนเกษตรกรทั่วประเทศ นำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่รวม 1920,400 ไร่ โดยคำแนะนำอัตราการใช้ 1 ซองต่อไร่

ตารางที่ 3.26 ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพของกรมพัฒนาที่ดิน ระหว่างปี 2558 - 2562 สนับสนุนสู่เกษตรกร

ชนิดผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ พด.	จำนวนผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ พด. (ซอง)					รวม
	ปี 2558	ปี 2559	ปี 2560	ปี 2561	ปี 2562	
1. จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9	72,000	54,000	34,000	48,000	110,000	318,000
2. พด.11 สำหรับปอเทือง	30,000	36,000	24,000	6,000	6,000	102,000
3. พด.11 สำหรับโสนอัฟริกัน	30,000	18,000	12,000	6,000	6,000	72,000
4. พด.11 สำหรับถั่วพร้า	9,000	3,400	6,000	-	-	18,400
5. ปุ๋ยชีวภาพ พด.12	75,000	72,000	30,000	66,000	72,000	315,000

ที่มา : กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558 - 2562

2) ปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

กรมพัฒนาที่ดิน ได้ดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เรียกว่า ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้จากดินป่า และดินบริเวณรากธัญพืช สามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืชเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน และสร้างฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 4 กลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ *Azotobacter tropicalis* เป็นจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดินสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยกิจกรรมเอนไซม์ไนโทรจีเนส มีค่าการตรึงไนโตรเจน 1,246 mol C_2H_4 /ต้น/ชั่วโมง ในการทดสอบกับข้าวโพด (พิกุล และดารารัตน์, 2552) แบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Burkholderia unamae* เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดอินทรีย์ปลดปล่อยออกมาละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในรูปไม่ละลาย เช่น หินฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ มีประสิทธิภาพละลายในดินที่มีสภาพ เป็นกรด กลาง และด่างเล็กน้อย ให้อยู่ในรูปฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น 14.27 13.76 และ 48.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อีกทั้งมีแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม *B. subtilis* และ แบคทีเรียผลิตฮอร์โมน *Azotabacter sp.* (ฉวีวรรณ และคณะ, 2552) ในปี 2558 - 2562 มีปริมาณการผลิตรวมทั้งสิ้น 315,000 ซอง (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558 - 2562) (ตารางที่ 3.26) ซึ่งสนับสนุนเกษตรกรทั่วประเทศ นำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ 315,000 ไร่ โดยคำแนะนำอัตราการใช้ 1 ซองต่อไร่

3) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

กรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ซึ่งเป็นแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่ใช้ในดินกรด และดินเปรี้ยว เรียกว่า จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ซึ่งจากผลการดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ระหว่างปี 2558 - 2562 จำนวนรวมทั้งสิ้น 318,000 ซอง (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558 - 2562) (ตารางที่ 3.26) ซึ่งสนับสนุนเกษตรกรโดยเฉพาะในพื้นที่ภาคกลาง และภาคใต้ 318,000ไร่ โดยคำแนะนำอัตราการใช้ 1 ซองต่อไร่

4) ปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ได้ค้นพบสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพได้ 14 สกุล จำนวน 254 สายพันธุ์ ในจำนวนนี้ *Anabaena siamensis* เป็นสายพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้รวดเร็วมีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนได้สูงและทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี เมื่อนำสาหร่ายเหล่านี้มาผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพแล้วไปทดสอบกับพืชในระดับการทดลองกระถาง แปลงทดลอง และไร่นาเกษตรกร สรุปได้ว่าปุ๋ยชีวภาพช่วยให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 15 - 20 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งประสบความสำเร็จในการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวในระดับอุตสาหกรรม เพื่อผลิตปุ๋ยชีวภาพให้ได้ปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร ในขณะเดียวกันทางรัฐบาลและภาคเอกชนได้ให้การสนับสนุนในการถ่ายทอดเทคโนโลยีในการผลิตและการใช้ปุ๋ยชีวภาพแก่เกษตรกรทั่วประเทศ ปรากฏว่าได้รับความสนใจจากเกษตรกรเป็นอย่างมาก ซึ่งรัฐบาลมอบหมายให้สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยดำเนินการผลิตปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวให้แก่กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ปีละ 15,000 ตัน เป็นระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535 - 2539) เพื่อแจกจ่ายให้กับเกษตรกรทั่วประเทศพร้อมทั้งให้ถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยชีวภาพให้แก่เจ้าหน้าที่ของรัฐ (เกษตรจังหวัด เกษตรอำเภอ กำนัน และผู้ใหญ่บ้าน) และเกษตรกร ในปัจจุบันนี้ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตให้กับบริษัท อัลโกเทค จำกัด ชื่อผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอัลจินัว (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2563)

3.5.2 ชนิดพืชปลูกและพื้นที่ที่นิยมใช้ปุ๋ยชีวภาพ

ปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกสนใจนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในกระบวนการบริหารจัดการการเกษตรแบบยั่งยืนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นระบบการเกษตรกรรมที่สอดคล้องกับกรอบหลักการพัฒนาในช่วงปี พ.ศ. 2559 - 2573 ของที่ประชุมสหประชาชาติโดยกำหนดเป็นเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development goals, SDGs) ของประเทศสมาชิกเพื่อแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนและระบบนิเวศของโลกที่เสื่อมโทรมลง ซึ่งการทำเกษตรยั่งยืนให้ความสำคัญกับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ประกอบด้วย อินทรียสาร อนินทรีย์ แร่ธาตุ และน้ำ เป็นหลัก รูปแบบของระบบเกษตรแบบยั่งยืน ได้แก่ เกษตรธรรมชาติ เกษตรอินทรีย์ วนเกษตร และเกษตรตามแนวทฤษฎีใหม่ ที่มีลักษณะการดำเนินกิจกรรมที่สอดคล้องกับระบบนิเวศผสมผสานกับการนำองค์ความรู้จากภูมิปัญญาท้องถิ่นหรือประสบการณ์ของกลุ่มเกษตรกรมาทำให้เกิดความมั่นคงใน ดังนั้นการนำจุลินทรีย์มาย่อยสลายสารให้พืชสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ รวมทั้งกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นปุ๋ยชีวภาพ (อรุณ และคณะ, 2559) ดังนั้นจุลินทรีย์จึงมีบทบาทสำคัญอย่างหนึ่งในการพัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้จุลินทรีย์รวมทั้งปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน จึงเป็นทิศทางนำไปสู่การผลิตในระบบเกษตรกรรมยั่งยืน และสอดคล้องกับกรอบหลักการพัฒนาในช่วงปี พ.ศ. 2559 - 2573 ของที่ประชุมสหประชาชาติด้วย สำหรับประเทศไทยปุ๋ยชีวภาพชนิดต่างๆ หน่วยงานภาครัฐมีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้จุลินทรีย์เพื่อเป็นปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ยกตัวอย่าง เช่น กรมพัฒนาที่ดิน มีการผลิตปุ๋ยชีวภาพสนับสนุนให้เกษตรกร (ตารางที่ 3.26) ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินมีการดำเนินงานโครงการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ลดการใช้ปุ๋ยเคมี และโครงการเกษตรอินทรีย์ ซึ่งได้สนับสนุนปัจจัยการผลิตต่างๆ รวมทั้งผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ พด. ต่างๆ สู่เกษตรกร เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี และลดต้นทุนการผลิตพืชชนิดต่างๆ ดังนี้

1) นาข้าว

การใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมในนาข้าว จากกการที่กรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ พด.11 ไรโซเบียมสำหรับโสนอัฟริกัน ซึ่งเป็นพืชปุ๋ยสดที่นิยมใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินในพื้นที่ลุ่ม คือ นาข้าว โดยคำแนะนำการใช้ พด.11 สำหรับเพิ่มมวลชีวภาพให้กับโสนอัฟริกันนั้น เกษตรกรสามารถนำไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมักและรำข้าวเป็นเวลา 4 วัน นำไปหว่านให้ทั่วแปลงนาก่อนการหว่านเมล็ดโสนอัฟริกันจะสามารถเพิ่มมวลชีวภาพของโสนอัฟริกันได้ 11- 31 เปอร์เซ็นต์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) ซึ่งได้ดำเนินการสนับสนุนให้กับเกษตรกรในพื้นที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ 5 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2558 - 2562) จำนวน 6,000 - 30,000 ซองต่อปี คิดเป็นพื้นที่ใช้ประโยชน์ 6,000 - 30,000 ไร่ต่อปี

2) พืชไร่

2.1) การใช้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม

ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมของกรมวิชาการเกษตรสามารถนำมาใช้กับพืชไร่ที่เป็นพืชตระกูลถั่วหลายชนิด โดยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมจะใช้ได้ผลดีมากกับดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินร่วนปนทรายและในพื้นที่ที่ไม่เคยปลูกพืชถั่วมาก่อน เพราะลักษณะดังกล่าวจะไม่มีแบคทีเรียสกุลไรโซเบียมอยู่ในดินหรือมีอยู่น้อย และ/หรือไม่มีประสิทธิภาพในการเข้าสร้างปมและตรึงไนโตรเจน โดยในลักษณะดินดังกล่าว เมื่อใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมจะทำให้ผลผลิตพืชถั่วเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 122 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืชถั่วที่ปลูก สภาพพื้นดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ถ้าดินมีความอุดมสมบูรณ์

สูงและ/หรือใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน จะมีผลทำให้กิจกรรมการสร้างปมถั่วและประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนลดลง ซึ่งการใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วเหลือง 1 ถุง สามารถใช้คลุกเมล็ดถั่วเหลืองได้ 10 - 15 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วลิสง 1 ถุง สามารถใช้คลุกเมล็ดถั่วลิสง (กะเทาะเปลือกแล้ว) ได้ 12 - 15 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วเขียว 1 ถุง สามารถใช้คลุกเมล็ดถั่วเขียว 3 - 5 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2548ก)

2.2) การใช้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์สำหรับข้าวโพดและข้าวฟ่าง

ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ เป็นปุ๋ยชีวภาพสำหรับข้าวโพด ข้าวฟ่าง เป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่วิจัยและพัฒนาโดยกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 เป็นปุ๋ยชีวภาพที่จีพีอาร์ชนิดแรกที่ได้มีการทดลองแนะนำให้เกษตรกรใช้สำหรับการปลูกข้าวโพด และข้าวฟ่างในประเทศไทย ประกอบด้วย แบคทีเรียที่แยกได้จากบริเวณรากพืช 3 สกุล คือ อะโซโตแบคเดอร์ (*Azotobacter*) ไบเจอริงเดีย (*Beijerinckia*) และอะโซสไปริลลัม (*Azospirllum*) เช่น การใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์1 คลุกเมล็ดช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโพด 21 เปอร์เซ็นต์ และข้าวฟ่าง 26 เปอร์เซ็นต์ ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์1 คลุกกับปุ๋ยหมักและใช้ปุ๋ยหมักในอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวโพด 29 เปอร์เซ็นต์ และข้าวฟ่าง 33 เปอร์เซ็นต์ การใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์1 ร่วมกับปุ๋ยเคมีไนโตรเจน 10 กิโลกรัมต่อไร่ ช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโพดได้ 108 เปอร์เซ็นต์ และข้าวฟ่างได้ 64 เปอร์เซ็นต์ (กรมวิชาการเกษตร, 2548ก)

3) ไม้ผล ไม้ยืนต้น

3.1) การใช้ไมคอร์ไรซา กับไม้ผล ไม้ยืนต้น

ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซากรมวิชาการเกษตร ชนิด วี-เอ หรือ เอ-เอ็ม ไมคอร์ไรซา ขนาดบรรจุ 500 กรัม โดยมีจำนวนสปอร์ มากกว่า 25 สปอร์ต่อกรัม ใช้สำหรับไม้ผล ได้แก่ มะม่วง ขนุน มะละกอ ทุเรียน มังคุด ลำไย มะขามหวาน และไม้ยางพารา สามารถนำไปใช้ได้กับพืชทุกระยะ แต่ถ้าจะให้ได้ผลดีที่สุดควรใส่ในระยะต้นกล้า หรือรองก้นหลุมก่อนปลูก หลังการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาซ้ำได้ 2 สัปดาห์จึงใส่ปุ๋ยชนิดอื่นได้ตามความเหมาะสม ส่วนการปลูกพืชใหม่ในแปลงให้โรยปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซารอบๆ บริเวณรากพืชแล้วกลบดิน สำหรับพืชที่โตแล้วให้ขุดเป็นร่องบริเวณทรงพุ่ม หรือเกลี่ยเศษใบไม้ที่คลุมอยู่ออกจนพบรากฝอยแล้วโรยปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาให้สัมผัสกับรากฝอยจนรอบทั้งต้น หลังจากนั้นกลบรากพืชด้วยดินดังเดิม โดยจะใส่ในปริมาณ 10 กรัมต่อต้น และสามารถใช้ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นปุ๋ยชีวภาพได้หลายชนิด (กรมวิชาการเกษตร, 2548ก)

3.2) การใช้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ของกรมพัฒนาที่ดิน

ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตของกรมพัฒนาที่ดิน มีชื่อว่า ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 มีการนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด และดินเปรี้ยว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้น 3 ครั้งต่อปี ซึ่งได้มีการส่งเสริมสนับสนุนให้กับเกษตรกรในพื้นที่ที่มีดินกรดและดินเปรี้ยว โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคกลาง และภาคใต้ โดยในพื้นที่ภาคใต้เกษตรกรได้มีกาประยุกต์นำไปผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงเพื่อใช้ประโยชน์ในทุเรียนและยางพารา

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2562. เข้าสู่โปรแกรมปุ๋ยรายแปลง. **ปุ๋ยรายแปลง.** แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/www/, 8 สิงหาคม 2562.

___. 2558ก. **สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2558ข. **คู่มือการจัดการอินทรียวัตถุเพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2558ค. **การใช้พืชปุ๋ยสดเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินประเทศไทย.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2556. **เทคโนโลยีชีวภาพทางดิน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548ก. **ปุ๋ยชีวภาพและผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2548ข. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555. **ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ วันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2555 เรื่อง ข้อความอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดให้มีในฉลากปุ๋ย.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กฤษพนธิ์ เพี้ยนศรี. 2546. **ฐานขอมูลศักยภาพพลังงานจากชีวมวล.** ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกลาธนบุรี. อ้างถึง กรมพัฒนาและสงเสริมพลังงาน. 2544. อัตราสวนวัสดุเหลือใชตอผลผลิต แฟคเตอรของการใชเปนพลังงานและแฟคเตอรวัสดุเหลือใชที่ยังไมมีการนำไปใช. ใน **รายงานผลการสำรวจวัสดุเหลือใชทางการเกษตร.** กรมพัฒนาและสงเสริมพลังงาน, กรุงเทพฯ.

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน 2562. **รายงานผลการดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ พด.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. 2562. **รายงานประจำปี 2558 กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2561. **รายงานประจำปี 2561 กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2560. **รายงานประจำปี 2560 กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2559. **รายงานประจำปี 2559 กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2558. **รายงานประจำปี 2558 กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กองแผนงาน. 2562. **สรุปผลการปฏิบัติงานของกรมพัฒนาที่ดินประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562**. วันที่ 30 กันยายน 2562. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

___. 2561. **เอกสารการประชุมหัวหน้าส่วนราชการ กรมพัฒนาที่ดิน ครั้งที่ 2/2561.** วันที่ 10 เมษายน 2561 กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กองวิจัยพัฒนาการผลิตทางการเกษตร. 2562. **บัญชีผลิตและจำหน่ายเชื้อไรโซเบียม.** กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, พิมพ์ธิดา เรืองไพศาล และ จันจิรา แสงสีเหลือง. 2552. **รายงานผลงานวิจัย ฉบับสมบูรณ์เรื่องการแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมให้เป็นประโยชน์ต่อพืช.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

นรินทร์ ตันไพบูลย์. 2560. อุตสาหกรรมปุ๋ยเคมี. **แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2561 - 2563**. แหล่งที่มา: https://www.krungsri.com, 26 กรกฎาคม 2562.

นิสา มีแสง, วันดี พึ่งเจาะ, อภันตรี พฤกษพงศ์, เกษมศรี มานิมนต์, อรรถพล ใจคำ และ วรรยา สุธรรมชัย. 2562. **ระบบการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วปรับปรุงบำรุงดินเป็นพืชทางเลือกใช้น้ำน้อย.** กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

บรรลุ พุฒิกร, ศานิต เก้าเอี้ยน และ เอื้อ สิริจินดา. 2549. **เศรษฐศาสตร์การผลิตทางการเกษตร.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. 2550. **ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนที่ 7 ก. วันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2551.**

พิกุล หรรษานิมิตกุล และ ดารารัตน์ โฮตาก้า**.** 2552. การคัดเลือกอะโซโตแบคเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตพืช, น. 88 - 89. ใน **บทคัดย่อการประชุมทางวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 1 เรื่องดินและปุ๋ยในภาวะวิกฤตอาหารและพลังงาน** วันที่ 23-24 เมษายน 2552**.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2559. การควบคุมปุ๋ยเพื่อการผลิตพืช. **ว.ปัญญาภิวัฒน์** 8: 1 - 15.

___. 2558ก. **ธาตุอาหารพืช.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

___. 2558ข ไนโตรเจนของข้าว, น. 241 - 260. ใน ยงยุทธ โอสถสภา, บรรณาธิการ. **ดิน ธาตุอาหารและปุ๋ยข้าว.** สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

___. 2557. **คุณภาพดินเพื่อการเกษตร.** สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

___, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร, 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2546**. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2563. ผลิตภัณฑ์ถ่ายทอดสู่เชิงพาณิชย์. **ปุ๋ยชีวภาพจากจุลินทรีย์เชิงอุตสาหกรรม อัลจินัว**. แหล่งที่มา https://www.tistr.or.th/tistrblog/?p=2494, 27 มิถุนายน 2563.

สังวรณ์ เสนะโลหิต. 2557. **ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตโดยโรงงานที่ได้รับอนุญาตจากกรมวิชาการเกษตร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2562**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร. **ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมี**. http//:oaezone.oae.go.th/view/1/ปัจจัยการผลิต/TH-TH, 7 กรกฎาคม 2563.

อรุณ ชาญชัยเชาว์วิวัฒน์, สุวินัย เกิดทับทิม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. 2559. การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในระบบเกษตรกรรมแบบยั่งยืน. **ว.หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อเพื่อการเรียนรู้.** 7: 2 . 398 - 413.

อำนวย ปะติเส. 2558. **นโยบายและมาตรฐานการส่งเสริมปัจจัยการผลิตทางการเกษตรเพื่อภาคเกษตรไทยยั่งยืน. เอกสารประกอบการบรรยายที่รัฐสภา เมื่อวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2558**. กรรมาธิการฝ่ายการเกษตรของรัฐสภา, กรุงเทพฯ.

Azad, M.L, A.S. Javed and M.S. Dogar. 1988. Effect of *Rhizobium japonicum*, phosphorus and iron on grain yield, protein content and N-fixation by soymean. **Pak. J Soil. Sci**. 3: 31 – 33.

Bradoria, P.S., El Dessougi, H. Liebersbach and H. Claassen. 2004. Phosphorus uptake kinetics, size of root system and growth of maize and groundnut in solution culture. Plant Soil. 262: 327-336.

Bruulsema, T. W., P. Heffer, R. M. Welch, I. Cakmak and K. Moran. 2012. **Fertilizing Crops to Improve Human Health: a Scientific Review Volume 1: Food and Nutrition Security.** IPNI and IFA, Paris.

FAO. 2012. **The State of Food and Agriculture 2010-2011**. Food and Agriculture Organization, Rome.

IPNI. 2012. **4R Plant Nutrition: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition**. International Plant Nutrition Institute Norcross, GA, USA.

Roberts, T.L. 2009. The role of fertilizer in growing the world's food**. Better Crops**. 93: 12 - 15.

___. and R. Norton. 2012. Applying 4R nutrient stewardship to wheat. **Better Crops**. 96: 3 - 4.

SSSA. 2008**. Glossary of Soil Science Terms.** Madison, USA.

บทที่ 4

ความหมายและประเภทของปุ๋ยชีวภาพ

4.1 ความหมายของปุ๋ยชีวภาพ

จุลินทรีย์ในดินเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทสำคัญในการเกิดกระบวนการต่างๆ ในดินทั้งในด้านการหมุนเวียนธาตุอาหารซึ่งจะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในดิน รวมทั้งแปรสภาพสารอนินทรีย์ให้เป็นธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืช นอกจากนี้ยังใช้ในการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์อีกด้วย สำหรับการนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในด้านการเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืช ทั้งที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์และการแปรสภาพธาตุอาหารโดยจุลินทรีย์ เรียกว่า ปุ๋ยชีวภาพ โดยความหมายของปุ๋ยชีวภาพมีดังนี้

ปุ๋ยชีวภาพ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช มาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือทางชีวเคมี การนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรนั้นส่วนใหญ่จะเน้นเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการเจริญเติบโตของพืช

ปุ๋ยชีวภาพ คือ ปุ๋ยซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่คัดเลือกแล้วว่าเป็นสายพันธุ์ดี และมีปริมาณมากเมื่อใช้คลุกเมล็ด ใส่ให้ติดผิวราก หรือท่อนพันธุ์ หรือใส่ลงไปในดิน จุลินทรีย์เหล่านั้นจะเพิ่มประชากรและสร้างกลุ่มของเซลล์ในดินรอบผิวราก ที่ผิวรากและ/หรือในราก แล้วส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารมากขึ้น (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

ปุ๋ยชีวภาพ หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช มาใช้ในการปรับปรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือทางชีวเคมี ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

ปุ๋ยชีวภาพ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ที่ช่วยส่งเสริมทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตพืช ผ่านกลไกที่แตกต่างกันในกระบวนการชีวเคมีของจุลินทรีย์ (Fuentes - Ramirez and Caballero - Mellado, 2005)

ปุ๋ยชีวภาพ ตามอภิธานศัพท์ปฐพีวิทยาของสมาคมปฐพีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริการะบุว่า ปุ๋ยชีวภาพ หมายถึง ปุ๋ยที่มีจุลินทรีย์ซึ่งคัดเลือกแล้วว่ามีประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารแก่พืช หรือมีสารอินทรีย์ เช่น ฮอร์โมนพืช นำมาใช้ในการปรับปรุงดินเพื่อการผลิตพืชอย่างยั่งยืน (SSSA, 2008)

ปุ๋ยชีวภาพ หมายถึง จุลินทรีย์ที่มีชีวิตซึ่งมีหน้าที่เฉพาะเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโต การเพิ่มผลผลิตของพืชและส่งเสริมการให้สารอาหารที่เพียงพอให้กับพืชที่เป็นโฮสต์ และช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตที่เหมาะสมในสรีรวิทยา (Kumar *et al*., 2013)

จากความหมายของปุ๋ยชีวภาพข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ปุ๋ยชีวภาพ หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช เนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันในกระบวนการชีวเคมีของจุลินทรีย์ นำมาใช้ในการปรับปรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือทางชีวเคมี ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น เพิ่มการเจริญเติบโตผลผลิตของพืช และเพื่อการผลิตพืชอย่างยั่งยืน

4.2 ประเภทของปุ๋ยชีวภาพ

ปุ๋ยชีวภาพสามารถแบ่งออกได้หลายประเภทตามการให้ธาตุอาหารที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ให้กับพืช ดังนี้

4.2.1 ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน (biofertilizer for nitrogen fixation)

1) ความสำคัญของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของพืช

ไนโตรเจน (nitrogen, N) เป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญ จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพของผลผลิตพืช ไนโตรเจนเป็นหนึ่งในสารตั้งต้นหรือสารประกอบในโครงสร้างพืช จีโนมของพืช และเกี่ยวข้องในเมทาบอลิซึมของเซลล์พืช (ยงยุทธ, 2558ก) ดังนี้

1.1) ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์เช่นเดียวกับคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และแมกนีเซียม ซึ่งพืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตคาร์โบไฮเดรต โดยคลอโรฟิลล์ 1 โมเลกุล ประกอบด้วย ไนโตรเจน 4 อะตอม และแมกนีเซียม 1 อะตอม ดังนั้นไนโตรเจนและแมกนีเซียมจึงมีบทบาทสำคัญของการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ในใบที่ทำหน้าที่รับโฟตอนจากแสงอาทิตย์ เปลี่ยนพลังงานในโฟตอนให้เป็นพลังงานการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในและระหว่างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ในระบบแสงของกระบวนการสังเคราะห์แสง แล้วนำพลังงานการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมาเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในรูป ATP และ NADPH สุดท้ายได้ส่งต่อพลังงานเคมีไปสะสมไว้ในโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรต เซลล์พืชใช้โครงคาร์บอนของคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ทุกชนิดที่พืชต้องการ

1.2) ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรตีน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญภายในเซลล์ อยู่ในโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ และเยื่อหุ้มอวัยวะเซลล์ทุกชนิด เป็นธาตุสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนหรือเอนไซม์ ซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมีทั้งหมดในเซลล์ โดยไนโตรเจนอยู่ในหมู่อะมิโนทำหน้าที่สำคัญในการเชื่อมโยงกรดอะมิโนต่างๆ ให้รวมกันเป็นโปรตีน

1.3) ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดนิวคลีอิกซึ่งรวมถึงดีเอ็นเอ (deoxyribonucleic acid; DNA) และอาร์เอ็นเอ (ribonucleic acid; RNA) กรดนิวคลีอิกเหล่านี้เป็นสารพันธุกรรมของพืช และมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน

1.4) ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของฮอร์โมนพืช เช่น ออกซิน และไซโตไคนิน ออกซินหรือกรดอินโดลอะซิติก (IAA) ซึ่งสังเคราะห์ในเมล็ด ปลายยอด ตา และใบอ่อน มีหน้าที่เร่งการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน และราก ส่งเสริมการพัฒนาของเนื้อเยื่อให้เป็นอวัยวะ กระตุ้นการพัฒนาของผล ควบคุมการแตกตาข้าง ทำให้พืชตอบสนองต่อแสงและความโน้มถ่วงของโลก ส่วนไซโตไคนิน ซึ่งสังเคราะห์ในราก เมล็ด ผล และใบ มีหน้าที่เร่งการเจริญเติบโตและแตกแขนงของราก กระตุ้นการแบ่งเซลล์และการเจริญของเนื้อเยื่อ เร่งการงอกของเมล็ด และชะลอการวายของใบ

ดังนั้นไนโตรเจนจึงเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช การเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต นอกจากนี้ยังเพิ่มพื้นที่ใบ ส่งเสริมการพัฒนาการงอกของเมล็ด และการสังเคราะห์โปรตีนธาตุอาหารพืช แต่อย่างไรก็ตามพืชไม่สามารถนำก๊าซไนโตรเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งคิดเป็นประมาณ 79 เปอร์เซ็นต์ มาใช้ได้โดยตรง เนื่องจากต้องอาศัยพลังงานสูงในการเปลี่ยนแปลงพันธะสาม (triple bond) ระหว่างไนโตรเจนสองอะตอม ซึ่งพืชดูดซับไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินผ่านทางรากในรูปแบบของแอมโมเนียมและไนเทรต (Santi *et al*., 2013) แต่มีจุลินทรีย์บางชนิดสามารถสร้างเอนไซม์ไนโทรจีเนส (nitrogenase) เร่งปฏิกิริยาการตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศและ

เปลี่ยนโมเลกุลก๊าซไนโตรเจนเป็นแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งจะเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์และรวมกับโมเลกุลอื่นภายในเซลล์ได้เป็นกรดอะมิโนและเกิดปฏิกิริยาเชื่อมต่อด้วยพันธะเพปไทด์ระหว่างโมเลกุลของกรดอะมิโนได้เป็นโมเลกุลโปรตีนสะสมอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์ตายและเกิดการย่อยสลายไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มอื่นในดินเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ไนเทรต (NO_3^-) ไนไทรต์ (NO_2^-) จุลินทรีย์ที่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนได้เป็นพวกโพรแคริโอตทั้งหมด เรียกพวกนี้ว่า ไดอะโซโทรฟ (diazotrophs) ที่พบในธรรมชาติแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มดำรงชีวิตแบบซิมไบโอซิส (symbiotic microorganism) กลุ่มดำรงชีวิตแบบอิสระ (free living) และกลุ่มดำรงชีวิตเชื่อมโยงกับซิมไบโอซิส (associative symbiosis) (Scragg, 2005) จุลินทรีย์ตรึงก๊าซไนโตรเจนในธรรมชาติมีหลากหลายชนิด โดยสามารถเติมธาตุไนโตรเจนให้กับดินประมาณ 1.80×10^8 ตันไนโตรเจนต่อปี (อรุณ และคณะ, 2559)

2) ปัญหาการขาดไนโตรเจนในดิน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่มักประสบปัญหาการขาดไนโตรเจนในดิน ซึ่งมีสาเหตุดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

2.1) อินทรียวัตถุในดินต่ำ ไนโตรเจนเจนเป็นองค์ประกอบหนึ่งของอินทรียวัตถุในดิน โดยอินทรียวัตถุจะมีไนโตรเจนประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งดินบนที่ใช้ในการเกษตรจากแถบอบอุ่นส่วนใหญ่จะมีอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 1 - 3 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะอินทรียวัตถุสลายตัวได้รวดเร็ว โดยเฉพาะในแถบชุ่มชื้นและอุณหภูมิสูงอย่างในเขตร้อนทั่วไป ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนในดินในพื้นที่แถบดังกล่าวจึงมีค่อนข้างต่ำ รวมทั้งบางส่วนอาจอยู่ในรูปของสารประกอบที่พืชใช้ประโยชน์ได้ยาก ต้องสลายตัวหรือเปลี่ยนรูปเสียก่อนจึงจะเป็นประโยชน์ต่อพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

2.2) การชะละลาย (leaching) ฝนที่ตกลงมาหรือน้ำชลประทานที่ซึมผ่านชั้นของดิน จะเอาไนโตรเจนตามลงไปด้วย โดยเฉพาะไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนไทรต์ หรือไนเทรต โดยไนเทรตจะเคลื่อนย้ายไปกับน้ำที่ซาบซึมลงลึกในดิน ซึ่งอัตราการซาบซึมขึ้นอยู่กับความพรุนของดิน ขนาดของช่องว่างในดิน (ศุภมาศ และคณะ, 2559) ซึ่งถ้าหากไนโตรเจนที่ถูกชะล้างลงไปยังชั้นล่างของดินที่ไม่ลึกรากของพืชก็จะดูดกลับขึ้นมาใหม่ แต่ถ้าถูกชะล้างลงไปยังชั้นดินล่างที่ลึกจนรากพืชหยั่งลงไปไม่ถึง การสูญเสียไนโตรเจนก็จะเกิดขึ้น ดังนั้นการสูญเสียไนโตรเจนโดยกระบวนการชะละลายนี้จึงควรระวังให้มากโดยเฉพาะในดินที่มีเนื้อหยาบ ซึ่งจะมีการเคลื่อนย้ายไนเทรตได้ง่ายกว่าดินเนื้อละเอียด โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีฝนชุก (Coles and Trudgill, 1985)

2.3) การสูญเสียในรูปของแก๊ส (volatilization) ไนโตรเจนอาจสูญเสียในรูปของแก๊สได้กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสูบเสียของไนโตรเจนในดินดังกล่าวนี้ จะเกิดขึ้นเมื่อดินอยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศไม่ดี เช่น ในสภาพที่มีน้ำขัง ในสภาพเช่นนี้ดินจะขาดออกซิเจน ซึ่งจะเกิดกระบวนการรีดักชันในดินมีผลทำให้ไนไทรต์และไนเตาตเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปแก๊สได้ กระบวนการรีดักชันของไนไทรต์และไนเทรตในดินนี้อาจเกิดขึ้นได้ทั้งกระบวนการทางชีวภาพ (biological process) และกระบวนการทางเคมี (chemical process) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) นอกจากนี้ดินที่มีสภาพเป็นด่างเมื่อมีการใส่ปุ๋ยบนผิวหน้าดินจะทำให้ปุ๋ยแอมโมเนียมสูญเสียในรูปแก๊ซแอมโมเนียได้ง่าย (ศุภมาศ และคณะ, 2559)

2.4) พืชและจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ การสูญเสียของไนโตรเจนดังกล่าว อาจเป็นการสูญเสียชั่วคราว จะกลับคืนสู่ดินเมื่อพืชและจุลินทรีย์นั้นตายและเน่าเปลื่อยลง แต่ถ้ามีการขนย้ายผลผลิตออกไปก็หมายถึงเป็นการสูญเสียไนโตรเจนจากดินอย่างแท้จริง

ปัญหาที่เกิดจากการขาดไนโตรเจนในดิน ส่งผลให้พืชแคระแกร็น โตช้าใบเหลือง โดยเฉพาะใบล่างๆ จะแห้งร่วงหล่นเร็ว ออกดอกออกผลช้า และไม่สมบูรณ์ ดินโดยทั่วๆ ไปมักจะมีไนโตรเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช

3) การตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ

การตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ เป็นกระบวนการที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียบางชนิดที่มีอยู่อย่างหลากหลายในดิน ไนโตรเจนอนินทรีย์ที่เป็นผลลัพธ์จากการตรึงนี้ คือ แอมโมเนีย และเมื่อได้รับโปรตอนจะเป็นไอออนแอมโมเนียม (NH_4^+) เอนไซม์หลักที่ทำหน้าที่นี้ คือ เอนไซม์ไนไทรจีเนส การตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพเป็นการรีดักชันก๊าซไดไนโตรเจนไปสู่รูปแอมโมเนีย แต่เนื่องจากก๊าซไดไนโตรเจนมีความเสถียรมากปฏิกิริยารีดักชันนี้จึงต้องใช้พลังงานค่อนข้างสูง (16 ATP) โดยมีไดอะแกรมของปฏิกิริยาดังนี้

$$N_2 + 8H + 8e^- + 16ATP \longrightarrow 2NH_3 + H_2 + 16ADP + 16Pi$$

เมื่อพิจารณาเฉพาะการเกิด $2NH_3$ จะใช้ 6 โปรตอนและ 6 อิเล็กตรอนเท่านั้นที่ให้แก่ก๊าซไดไนโตรเจน แต่ในปฏิกิริยาจะมีการรีดักชันหรือให้อิเล็กตรอน 2 ตัวแก่โปรตอน 2 ตัวเพื่อเกิด H_2 ด้วยเสมอรวมทั้งหมดแล้วปฏิกิริยารีดักชั่นก๊าซไดไนโตรเจน จำนวน 1 โมเลกุลใช้อิเล็กตรอน 8 ตัว และพลังงาน 16 ATP (ใช้ 2 ATP ต่ออิเล็กตรอน 1 ตัว) (ธงชัย, 2557) การตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพมีบทบาทสำคัญทางการเกษตร และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มไนโตรเจนให้กับดินได้ โดยปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากกระบวนการนี้จะขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในแต่ละระบบนิเวศ ซึ่งจะพบว่าในพื้นที่ที่ปลูกพืชตระกูลถั่วเศรษฐกิจมีปริมาณไนโตรเจนที่ถูกตรึงโดยกระบวนการตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ 875 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกตรึงโดยกระบวนการตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ ในระบบนิเวศต่างๆ

ระบบนิเวศ	พื้นที่ (ล้านไร่)	ปริมาณไนโตรเจน	
		กก./ ไร่/ปี	ล้านตัน/ปี
1. พื้นที่การเกษตรที่ปลูกพืชตระกูลถั่วเศรษฐกิจ	1,562.5	875	35
2. พื้นที่ปลูกข้าว	843	187.5	4
3. พื้นที่เกษตรที่ปลูกพืชอื่น	6,343.75	31.25	5
4. พื้นที่ทุ่งหญ้าและว่างเปล่าที่มีหญ้า	18,750	93.75	45
5. พื้นที่ป่าและป่าไม้	25,625	62.50	40
6. พื้นที่ที่ไม่ใช้ประโยชน์	30,625	12.50	10
7. พื้นที่ที่มีน้ำแข็งปกคลุม	9,375	0	0
รวมพื้นที่	**93,125**	**1,262.50**	**139**
8. ทะเลมหาสมุทร	225,625	6.25	36
รวมพื้นที่ทั้งหมด	**318,750**	**1,263.75**	**175**

ที่มา : ดัดแปลงจาก หนึ่ง, 2554

3.1) จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน

จุลินทรีย์ในดินหลายชนิดที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้เป็นธาตุไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์กับพืช โดยขบวนการตรึงไนโตรเจนในเซลล์พืช ส่วนหนึ่งของธาตุไนโตรเจนได้จากสารที่จุลินทรีย์สามารถดูดซับธาตุได้เอง อีกส่วนหนึ่งจะปลดปล่อยในรูปไนเทรต เพื่อให้พืชนำไปใช้ได้หรืออยู่ในดิน ปริมาณจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับความแตกต่างกันของดิน และสิ่งแวดล้อม แต่จะพบมากที่สุดในบริเวณรอบรากพืช โดยทั่วไป พบ *Azotobacter chroococcum* ในดินมีปริมาณ 10^4 ถึง 10^5 เซลล์ต่อกรัม (ธงชัย, 2550) รายงานของพนิดา และคณะ, (2556) พบปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระจากดินพื้นที่ป่าไม้ภาคใต้ในฤดูร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 2.82 ± 0.63 x 10^3 เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง ในฤดูฝนพบอยู่ในช่วง 0 - 5.97 ± 0.62 x 10^3 เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง ในขณะที่ปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระในพื้นที่เกษตรอินทรีย์ จังหวัดชุมพรในฤดูร้อน พบว่า อยู่ในช่วง 0 - 8.16 x 10^4 เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง ในฤดูฝนพบอยู่ในช่วง 1.35 x 10^3 - 6.85 x 10^4 เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง (พิกุลและพนิดา, 2557) โดยปริมาณและการกระจายตัวของแบคทีเรียแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระในดินจะเพิ่มหรือลดจำนวนตามเปอร์เซ็นต์ความชื้น และ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เปลี่ยนแปลง (ธงชัย, 2550) และจากรายงานของ Singleton and Tavares, (1986) พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ได้แก่ *Rhizobitirn japonicum* ในดินธรรมชาติ มีปริมาณอยู่ในช่วง 6 x 10^0 - 1 x 10^4 เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบ่งออกเป็นกลุ่มดังนี้

3.1.1) จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ส่วนใหญ่แบคทีเรียอาศัยอยู่ร่วมกับพืชชั้นสูงแบบพึ่งพาอย่างแท้จริง (true symbiosis) กรณีนี้พืชจะให้แหล่งอาหารและพลังงานแก่แบคทีเรีย ส่วนแบคทีเรียก็ส่งไนโตรเจนที่ตรึงได้แก่พืช จุลินทรีย์กลุ่มนี้ ได้แก่ *Rhizobium* sp. ที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืชตระกูลถั่ว (leguminous plant) *Frankia* sp. อาศัยอยู่ร่วมกับพืชที่ไม่ใช่ถั่ว (non - leguminous plant) *Anabaena azollae* ใน แหนแดง (Azolla) *A. paspali Paspalum* spp. *Azospirillum* sp. พืชตระกูลหญ้า *Gramineae pseudosymbiosis Klebsiella* sp. ข้าวและพืชตระกูลหญ้า (rice and Gramineae) *Nostoc* sp. พืชพวก cycad หรือ liverwort (ธงชัย, 2550)

3.1.2) จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ (nonsymbiotic nitrogen fixing microorganisms) การตรึงไนโตรเจนแบบไม่พึ่งพาโดยจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนได้ สามารถอาศัยอยู่อย่างอิสระในดิน และใช้สารอินทรีย์ในดินเป็นแหล่งอาหาร ไนโตรเจนที่ตรึงได้ส่วนใหญ่จะปลดปล่อยลงสู่ดิน และเป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่อจุลินทรีย์ตายและถูกย่อยสลาย จุลินทรีย์กลุ่มนี้ ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae; cyanobacteria) เช่น *Tolypothrix Calothrix Nostoc Anabaena Cylindrospermum* เป็นต้น และแบคทีเรีย เช่น *Clostridium* sp. *Azotobacter* sp. *Azomonas* sp. *Beijerinckia* sp. *Derxia* sp. และ *Azospirilum* sp. เป็นต้น ส่วนใหญ่พบในพืชตระกูลหญ้า เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวอ้อย และหญ้าอื่นๆ (ธงชัย, 2550)

3.1.3) แบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ตรึงไนโตรเจน (endophytic diazotrophic bacteria) คือ แบคทีเรียที่ใช้ชีวิตทั้งหมด หรือบางช่วงในเนื้อเยื่อพืช แล้วสามารถตรึงไนโตรเจนให้เป็นประโยชน์แก่พืชนั้นได้ โดยไม่ทำอันตรายหรือก่อให้เกิดโรคแก่พืชดังกล่าว นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งความสัมพันธ์ระหว่างแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนและพืชได้ดังนี้ (หนึ่ง, 2554)

- กลุ่ม associative หมายถึง แบคทีเรียที่ใช้ชีวิตส่วนมากอาศัยอยู่ที่พื้นผิวภายนอกของเซลล์พืชและบางครั้งอาศัยอยู่ที่บริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercelular space)

- กลุ่ม symbiotic หมายถึง แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่ใช้ชีวิตส่วนมากอยู่ภายในเซลล์ของพืช

แบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ตรึงไนโตรเจน ปัจจุบันมีการศึกษาในพืช โดยใช้วิธีทางชีววิทยาระดับโมเลกุล พบว่า มีความหลากหลายทางสปีชีส์ของแบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ในพืช และยังพบว่า แบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ด้วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต ยับยั้งจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืช ละลายฟอสเฟต และยังช่วยตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ (de Matos Nogueira *et al*., 2001) ตัวอย่าง แบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ที่ทำหน้าที่ในการให้ไนโตรเจนแก่พืช ได้แก่ *Serratia marcesens* อาศัยอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์พืช (Ladha *et al*., 1995) และ aerenchyma ของราก ใบ และลำต้นข้าว (Gyaneshwar *et al*., 2001) ซึ่งปัจจุบันนักวิจัยให้ความสนใจพุ่งเป้าไปที่กลุ่มแบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ กลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ จีนัส *Azetobacter Azoarcus Azospirillum* และ *Herbaspirillum* (ธงชัย, 2557) นอกจากนี้มีการศึกษาของนงลักษณ์ และคณะ (2550) คัดแยกเชื้อแบคทีเรียเอ็นโดไฟต์จากต้นอ้อย และทำการคัดเลือกจำนวน 3 ไอโซเลต คือ *Clavibacter agropyri Microbacterrium flavescens* และ *Bacillus megatherium* นำมาทดสอบประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของอ้อยพบว่า แบคทีเรียทั้ง 3 ไอโซเลต ช่วยให้ท่อนพันธุ์อ้อยมีเปอร์เซ็นต์การงอกถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่วิธีการควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การงอกเพียง 80 เปอร์เซ็นต์ และมีกิจกรรมของเอนไซม์ oxidative enzyme ในพืชสูง เมื่อนำชิ้นส่วนของอ้อยมาตรวจสอบเชื้อแบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด พบว่า เชื้อแบคทีเรียทั้ง 3 ไอโซเลต สามารถเจริญเติบโตได้ดีในต้นอ้อย ธนวิตต และคณะ (2557) พบว่า แบคทีเรียเอ็นโดไฟต์สายพันธุ์ CMU-NRU #1 ที่แยกจากอ้อยพันธุ์อู่ทอง 3 สามารถช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ น้ำหนักแห้ง และปริมาณไนโตรเจนในต้นอ้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ไม่มีการปลูกเชื้อแบคทีเรีย วรรัตน์และอรินทิพย์ (2556) ได้ทดสอบแบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ต่อการส่งเสริมการเจริญของข้าวโพดในกระถาง พบว่า รากและต้นของข้าวโพดมีการเจริญเติบโตดีโดยเฉพาะการปลูกเชื้อผสมระหว่าง *Microbispora* sp. GKU 827 ร่วมกับ *Enterobacter* sp. EN-16 และ *Pantoae* sp. EN-29 ช่วยส่งเสริมการเจริญของต้นข้าวโพดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับต้นข้าวโพดที่ปลูกด้วยเชื้อเดี่ยวและไม่มีการปลูกเชื้อ นอกจากนี้แบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ยังสามารถสร้างสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช สร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโต (phytostimulator) หรือฮอร์โมนพืช เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และ ไซโตไคนิน ซึ่งจากรายงานการวิจัยพบว่า แบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ *Herbaspirillum seropedicae* Z67 *Herbaspirillum* sp. B501 *S. marcescens* IRBG500 *H. seropedicae* และ *Burkholderia* sp. ช่วยในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้โดยช่วยให้พืชหลั่งฮอร์โมนพืชไปสู่พื้นผิวราก ทำให้เพิ่มการดูดซึมธาตุอาหารและผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น (James *et al*., 2002) และมีการพบว่า *Pantoea agglomerans* YS19 สามารถตรึงไนโตรเจนในอาหารที่ไม่มีแหล่งไนโตรเจน (N free medium) และผลิตฮอร์โมนออกซิน กรดแอบไซซิก จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน ซึ่งช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอาศัยได้ (Feng, 2006)

ตารางที่ 4.2 แสดงชนิดของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน

ชนิดของจุลินทรีย์	แหล่งที่มาและสภาวะแวดล้อม
Rhizobium sp.	- ตรึงไนโตรเจนโดยอยู่ร่วมกันกับปมรากของพืชตระกูลถั่ว เจริญในที่ที่มีออกซิเจนเล็กน้อย
Frankia sp.	- ตรึงไนโตรเจนโดยอยู่ร่วมกันกับรากพืชที่ไม่ใช่ตระกูลถั่ว เจริญในที่ที่มีออกซิเจนเล็กน้อย
Pseudomonas sp. *Azotobacter* sp. *Azomonas* sp. *Azotococcus* sp.	- พบในดิน แหล่งน้ำจืด และแหล่งน้ำเค็ม - พบในดินที่มีความเป็นด่าง
Derxia sp.	- พบในดินที่มีความเป็นกรด
Bacillus sp. *B. polymyxa* *B. megaterium* *B. macerans*	- พบเห็นได้ทั่วไป - ส่วนมากสามารถตรึงไนโตรเจนได้ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน - สามารถตรึงไนโตรเจนได้เล็กน้อย
Clostridium pasteurianum *C. butyricum* *Clostridium* sp.	- พบในดิน น้ำจืด น้ำเค็ม ตะกอน ลำไส้เล็กและอุจจาระของสัตว์ บางสายพันธุ์สามารถตรึงไนโตรเจนภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนเล็กน้อยหรือไม่มีออกซิเจนได้
Desulfotomaculum sp.	- พบที่ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ โดยเจริญภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน
Klebsiella pneumonia *Enterobacter aerogines* *Erwinia herbicola* *Citrobacter freundii* *C. intermedius* *Escherichia coli* *E. intermedia*	- พบที่ใบ บริเวณผิวของปมราก อุจจาระ และลำไส้ใหญ่ของคน
Spirillum lipoferum	- เจริญภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน แต่บริเวณที่มีการตรึงไนโตรเจนต้องการออกซิเจนในปริมาณน้อย

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ชนิดของจุลินทรีย์	แหล่งที่มาและสภาวะแวดล้อม
Desulfotomaculum vulgaris *D. desulfuricans* *D. gigas*	- พบในดินที่เปียกชื้น แหล่งน้ำจืด และน้ำเค็มที่มีปริมาณสารอินทรีย์มาก แต่มีบางสายพันธุ์ที่ไม่สามารถตรึงไนโตรเจนได้
Methylosinus trichosporium	- พบในดิน และน้ำ สามารถใช้มีเทนได้ มีการเจริญและตรึงไนโตรเจนในสภาวะที่มีออกซิเจน
Thiobacillus ferroxidans	- พบในน้ำที่มีความเป็นกรด และมีปริมาณอิออนสูง เจริญในสภาวะที่มีออกซิเจน แต่ตรึงไนโตรเจนในสภาวะที่มีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย
Rhodospirillum rubrum *Rhodopseudomonas capsulate* *R. spheroides*	- โดยปกติต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อยในการเจริญ แต่ถ้าอยู่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะต้องมีแสงด้วยจึงเจริญ
Chromatium sp. *Chlorobium limicola*	- พบในดินโคลน ดินที่มีความชื้น แหล่งน้ำจืดและน้ำเค็มที่มีซัลไฟด์ปริมาณมาก สามารถเจริญในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน
Mycobacterium flavum *Corybacterium autotrophicu,*	- พบในดินที่มีความเป็นกรด
Anabaena sp. *Nostoc* sp. *Cylindrosperma* sp. *Scytonema* sp. *Calothrix sp.* *Chlorogloeopsis* sp. *Spirulina* sp.	- พบในดิน น้ำ ต้องการออกซิเจนในการเจริญ สามารถสังเคราะห์แสงได้เอง

ที่มา : Sprent, 1979

4) จีนัสและสปีชีส์ของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนที่ใช้ในประเทศไทย

การนำจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรนั้น ปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันและแบบอิสระ ซึ่งจีนัสส่วนใหญ่ที่ใช้ในประเทศไทยได้แก่ *Rhizobium Azotobacter Beijerinckia Azospirillum* และ *Anabaena* (กรมวิชาการเกษตร, 2545; ธงชัย, 2550) โดยผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจนมีทั้งของภาครัฐ และเอกชน ได้แก่

4.1) ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจนที่ผลิตโดยภาครัฐ

4.1.1) ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจนของกรมพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดินได้ศึกษา แยกและคัดเลือกแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนทั้ง 2 กลุ่ม และได้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพเพื่อสนับสนุนให้เกษตรกร ได้แก่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

- จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุง พด.11 ประกอบด้วยแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ในจีนัส *Rhizobium* มี 3 ผลิตภัณฑ์ คือ พด.11 สำหรับโสนอัฟริกัน เป็นแบคทีเรีย *Azorhizobium* sp. พด.11 สำหรับปอเทือง เป็นแบคทีเรีย *Rhizobium* sp. และ พด.11 สำหรับถั่วพร้า เป็นแบคทีเรีย *Rhizobium* sp.

- ปุ๋ยชีวภาพพด. 12 เป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รวม 4 กลุ่ม โดยจะประกอบด้วยแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ 1 สายพันธุ์ คือ *A. tropicalis*

4.1.2) ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจนของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

- ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม จุลินทรีย์ที่ใช้คือ *Bradyrhizobium japonicum* สำหรับถั่วเหลือง *Rhizobium* spp. (cowpea type) สำหรับถั่วลิสง ถั่วเขียว ถั่วฝักยาว ถั่วพร้า

- ปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จุลินทรีย์ที่ใช้คือ *A. azollae*

- ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 เป็นปุ๋ยชีวภาพสำหรับข้าวโพด ข้าวฟ่าง ประกอบด้วยแบคทีเรีย 3 จีนัส ได้แก่ *Azotobacter Azospirillum* และ *Beijerinckia*

4.2) ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ผลิตโดยเอกชน (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2562)

4.2.1) ปุ๋ยอัลจินัว (ALGINURE) จุลินทรีย์ที่ใช้คือ *A. siamensis*

4.2.2) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp.

4.2.2 ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสฟอรัส และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส (biofertilizer for phosphorus solubilization and mobilization)

1) ความสำคัญของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของพืช

ฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุอาหารที่สำคัญและจำเป็นสำหรับการพัฒนาและการเจริญเติบโตของพืชอีกธาตุหนึ่ง โดยพบว่ามีประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของพืช โดยเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสในดินประมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์ (w/w) (Alori *et al*., 2017) พืชจะดูดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตไอออน ฟอสเฟตไอออนที่เซลล์พืชดูดได้ส่วนใหญ่ถูกนำไปสังเคราะห์สารอินทรีย์ต่างๆ ส่วนน้อยจะสะสมไว้ในแวคิวโอล (vacuole) ซึ่งทำหน้าที่เก็บสารต่างๆ ในเซลล์ สารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ สรุปได้ดังนี้ (ยงยุทธ, 2558ข)

1.1) สารที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ ได้แก่ (1) กรดนิวคลีอิก (nucleic acids) ในนิวเคลียสและออร์แกเนลล์ (organelle) บางชนิด กรดนิวคลีอิก ได้แก่ ดีเอ็นเอ บรรจุข้อมูลด้านพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต และอาร์เอ็นเอ (2) ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) ซึ่งอยู่ในโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์และเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ ซึ่งทำหน้าที่สำคัญภายในเซลล์ เช่น (1) เยื่อหุ้มเซลล์มีบทบาทด้านควบคุมการผ่านของธาตุอาหารตลอดจนสารต่างๆ เข้าในเซลล์หรือออกจากเซลล์ (2) เยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์ ทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานทางเคมีในกระบวนการสังเคราะห์แสง และ (3) เยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนพลังงานจากสารอินทรีย์ต่างๆ ให้มาอยู่ในรูป ATP (adenosine triphosphate) อันเป็นแหล่งพลังงานสำหรับกระบวนการต่างๆ ในเซลล์

1.2) สารที่ใช้ประกอบกับเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยาได้แก่ โคเอนไซม์ (coenzyme) หลายชนิด ซึ่งจำเป็นสำหรับการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ เช่น NADPH ซึ่งใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง

1.3) สารพลังงานสูงสำหรับ ATP เป็นสารที่มีพลังงานสูงซึ่งเมื่อถูกเอนไซม์ย่อยจะแตกตัวให้ ADP (adenosine diphosphate) กับฟอสเฟตไอออนแล้วปลดปล่อยพลังงานออกมาใช้ในปฏิกิริยาชีวเคมีภายในเซลล์ส่วน ADP กับฟอสเฟตไอออนก็ไปรับพลังงานและสร้างเป็น ATP ขึ้นมาใหม่

ดินโดยทั่วไปมีความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสค่อนข้างต่ำเนื่องจากส่วนใหญ่ถูกตรึงอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ยาก ฟอสฟอรัสในดินที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชอยู่ในรูปของไอออนฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน เรียกว่า orthophosphate รูปที่สำคัญคือ HPO_4^{-2} และ $H_2PO_4^{-}$ ซึ่งถูกควบคุมปริมาณจากปัจจัยทางกายภาพและเคมีของดิน โดยเฉพาะอิทธิพลของค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ในดินกรดไอออนฟอสเฟตส่วนใหญ่อยู่ในรูป $H_2PO_4^{-}$ ส่วนดินด่างไอออนฟอสเฟตส่วนใหญ่อยู่ในรูป HPO_4^{-2} โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการละลายของฟอสเฟต ในดินควรมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5 ถึง 7.0 (Sekhar and Aery, 2001) การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายได้ดีลงไปในดิน พืชจะดูดกินปุ๋ยเข้าไปสร้างเนื้อเยื่อได้เพียง 10 - 25 เปอร์เซ็นต์ของฟอสเฟตที่ละลายได้ในปุ๋ยเท่านั้น ฟอสเฟตที่ละลายได้ในส่วนที่ขาดไป 75 - 90 เปอร์เซ็นต์ นั้นถูกตรึงอยู่ในดินสภาพที่ไม่ละลายน้ำพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก ปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปในดินจะถูกตรึงมากน้อยขึ้นอยู่กับอำนาจในการตรึงของดินได้แก่ 1) ชนิดของสารประกอบและสภาพของดินนั้นๆ เช่น ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน 2) ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน 3) ปริมาณไอออนบวกและสารประกอบของเหล็ก อะลูมินั่ม แมงกานีส แคลเซียม แมกนีเซียม 4) ปริมาณของไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมินั่ม และ 5) ปริมาณของอนุภาคดินเหนียวต่างๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

แต่อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสในดินมีเพียง 0.1 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นที่พืชสามารถดูดใช้ได้ การใช้ปุ๋ยเคมีจึงเป็นการแก้ไขปัญหาการขาดฟอสฟอรัสในดินสำหรับการปลูกพืช แต่ส่วนใหญ่ของการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่เป็นประโยชน์กับพืช และนอกจากนี้การใช้ปุ๋ยเคมีที่มากเกินปกติอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การปนเปื้อนในแหล่งน้ำ และน้ำใต้ดินได้ การใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตอาจเป็นวิธีการที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ฟอสฟอรัสเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช และลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการสูญเสียฟอสฟอรัสจากดิน

2) ปัญหาการขาดฟอสฟอรัสในดิน

พืชเมื่อขาดฟอสฟอรัสจะมีต้นแคระแกร็น ใบมีสีเขียวคล้ำ ใบล่าง จะมีสีม่วงตามบริเวณขอบใบ รากของพืชชะงักการเจริญเติบโต พืชไม่ออกดอกและผล พืชที่ได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอจะมีระบบรากที่แข็งแรงแพร่กระจายอยู่ในดินอย่างกว้างขวาง สามารถดึงดูดน้ำและธาตุอาหารได้ดี การออกดอกออกผลจะเร็วขึ้น สาเหตุการขาดฟอสฟอรัสในดิน ได้แก่

2.1) ความเป็นกรดของดิน ปัญหาที่พบโดยทั่วไปสำหรับดินกรดเขตร้อน คือ การขาดธาตุฟอสฟอรัส (Blamey and Edwards, 1988) จากการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินในภาคใต้ของประเทศไทยโดย Nilnond *et al*. (1986) พบว่าดินค่อนข้างเป็นกรดจนถึงเป็นกรดจัด (pH 3.7 - 6.1) และขาดฟอสฟอรัสในระดับปานกลางจนถึงระดับรุนแรง การขาดฟอสฟอรัสในดินกรดเขตร้อนเกิดจากการตรึงฟอสฟอรัสในดิน (Fageria, 1991) อันเนื่องมาจากการดูดซับฟอสฟอรัสโดย hydrous oxide ของเหล็กและอะลูมินั่ม รวมทั้งดินเหนียวชนิด 1 : 1 (Haynes, 1984; Sanyal and De Datta, 1991) นอกจากนี้สาเหตุมาจากปรากฏการณการดูดซับ (adsorption) ประจุลบของฟอสเฟตไอออนจะถูกดูดยึดกับไอออนบวกบริเวณผิวของดินเหนียวด้วยแรงยึดเหนี่ยวไฟฟ้าสถิต (electrostatic bonding) คือ

ประจุลบของฟอสเฟตไอออนจะดูดยึดอยู่กับประจุบวกของแรดินเหนียว และปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนแอนไอออน (anion exchange reaction) เป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออนกับฟอสเฟตไอออนในสารละลายดิน เมื่อฟอสเฟตเข้าไปแทนที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับโครงสร้างของแรดินเหนียว ไดฟอสเฟตชนิดนี้ยากที่จะปลดปล่อยออกมามาทำให้เกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ (เพิ่มพูน, 2542) ดังนั้นจึงมักพบว่าถึงแม้ดินจะมีปริมาณฟอสฟอรัสมากแต่พืชก็ยังขาดฟอสฟอรัสเพราะส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งการที่จะทำให้ฟอสฟอรัสเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ทำได้โดยใช้วิธีทางชีวภาพ คือ การใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มการละลายละลายและศักยภาพในการดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสในดินเพื่อให้พืชนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น (Delvasto *et al*., 2008)

2.2) ติดไปกับส่วนของพืชที่เอาออกไปจากดิน (crop remove) ในทุกฤดูปลูกต้องเก็บเกี่ยวพืชผลไปใช้ ในเมล็ด ตอซัง หรือต้นและใบพืชมีฟอสฟอรัสติดออกไปด้วย เฉลี่ยแล้วที่ดินแปลงหนึ่งจะสูญเสียฟอสฟอรัสโดยการติดออกไปกับส่วนของพืชประมาณ 0.5 - 1.90 กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อไร่ต่อปี หรือประมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีในดิน (ชั้นไถพรวน) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพี, 2541)

2.3) การชะละลาย (leaching) สารประกอบฟอสเฟตส่วนใหญ่ละลายน้ำได้น้อยมาก และมีไอออนฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในดินปริมาณน้อยมาก (น้อยกว่า 0.1 ppm P) ซึ่งทำให้การชะละลายเอาฟอสฟอรัสลงไปสู่ดินล่างในชั่วระยะเวลาสั้นๆ อาจน้อยมากก็ตามแต่ถ้าเป็นระยะเวลานานนับปีย่อมมีการสูญเสียไปไม่น้อย (คณาจารย์ภาควิขาปฐพี, 2541) โดยฟอสฟอรัสในดินบนมักสูญเสียไปจากดินได้โดยง่าย การไหลบ่าเป็นปัจจัยหลักในการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสจากดินลงสู่แหล่งน้ำ โดยเฉพาะในกรณีที่ดินมีอินทรียวัตถุสูงหรือดินเป็นดินเนื้อหยาบ การชะละลายฟอสฟอรัสจะเกิดในอัตราที่สูงด้วย (Djodjic, Borling and Bergstrom, 2004) ปริมาณฟอสฟอรัสที่ผิวหน้าดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ชะละลายลงสู่แหล่งน้ำ (Qin *et al*., 2010; McDowell *et al*., 2001)

2.4) การกร่อนของดิน (soil erosion) ในดินที่ถูกน้ำพัดพาหรือถูกลมหอบออกไปจากพื้นที่เดิมนั้น มีฟอสฟอรัสติดออกไปด้วย ในปีหนึ่งอาจสูญเสียฟอสฟอรัสประมาณ 1 - 3 กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อไร่ต่อปี (หรือประมาณ 0.4 - 1.2 เปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินชั้นไถพรวน) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยฟอสฟอรัสในดินกรดเขตร้อนที่มีการชะล้างพังทลายสูง ได้แก่ ดินในอันดับ Oxisols Ultisols และ Alfisols มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินต่ำ แต่มีปริมาณอินทรียฟอสฟอรัสสูงถึงประมาณ 60 - 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด แต่การวัดปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัสของอินทรียฟอสฟอรัส (mineralization) ทำได้ยากเนื่องจาก H_3PO_4 ที่ปลดปล่อยออกมาจะถูกตรึงและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอนินทรียฟอสฟอรัสอย่างรวดเร็ว (Sanchez, 1976)

3) จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (phosphate solubilizing microorganisms; PSM)

จุลินทรีย์ดินหลายสายพันธุ์ ทั้งเชื้อรา แอคติโนมัยซีส แบคทีเรีย และสาหร่าย สามารถละลายฟอสฟอรัสที่ไม่เป็นประโยชน์กับพืช ให้เป็นประโยชน์กับพืชได้ (Alori *et al*., 2017) รวมทั้งช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟตให้เป็นประโยชน์ฯ ได้แก่ *Bacillus Pseudomonas Thiobacillus Aspergillus Penicillium* เป็นต้น (ตารางที่ 4.3) ซึ่งจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในดินแต่ละแหล่งมีปริมาณจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมและคุณภาพของดิน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรดเป็นด่าง การถ่ายเทอากาศ การระบายน้ำ ปริมาณอินทรียวัตถุ และชนิดพืชที่ปลูก มีรายงานว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของตัวอย่างดินพบแบคทีเรียละลายฟอสเฟตท้องถิ่นประมาณ 10^4 เซลล์ต่อกรัม โดยปริมาณจะลดลงตามลำดับในดินที่ปลูกผัก ปลูกถั่ว ปลูกหญ้า ธัญพืช และไม้ผล (Carrenho *et al*., 2007)

ซึ่งปริมาณที่พบใกล้เคียงกับรายงานของ Leaungvutiviroj *et al.* (2010) พบว่าดินบริเวณรอบราก หญ้าแฝกที่ระดับความลึก 0 - 30 เซนติเมตร มีปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราละลายฟอสเฟตระหว่าง 10^2 - 10^4 เซลล์ต่อกรัมดิน ในระดับความลึกที่ต่างกันจะมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่แตกต่างกัน ในดินบนจะมีปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มนี้สูงกว่าดินล่าง โดยในชุดดินร้อยเอ็ด พบว่า ดินบนที่ความลึก 0 - 5 เซนติเมตร มีเชื้อราและแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส 3.53×10^5 และ 5.36×10^5 เซลล์ต่อกรัม ตามลำดับ ดินล่างระดับความลึก 15 - 30 เซนติเมตร มีเชื้อราและแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัสได้ 6.75×10^4 และ 6.32×10^4 เซลล์ต่อกรัม ตามลำดับ (ธงชัย, 2550) และการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในบริเวณรากพืช รัฐ Tamilnadu ประเทศอินเดีย พบว่า แบคทีเรียละลายฟอสเฟตบริเวณรากถั่วลิสงที่ศึกษามีปริมาณสูงสุดจำนวน 1.94×10^6 เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง และราละลายฟอสเฟต พบสูงสุดจำนวน 3.9×10^2 เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาข้างต้น พบว่า แบคทีเรียละลายฟอสเฟตจะมีปริมาณมากกว่าเชื้อราละลายฟอสเฟตจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต โดยมีปริมาณในช่วง 10^4 - 10^6 เซลล์ต่อกรัม และ 10^2 - 10^4 เซลล์ต่อกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต

กลุ่มจุลินทรีย์	ชนิดจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต
แบคทีเรีย	*Alcaligenes* sp., *Aerobactor aerogenes, Achromobacter* sp., *Actinomadura oligospora, Agrobacterium* sp., *Azotobacter* sp., *Azospirillum brasilense, Bacillus* sp., *B. circulans, B.cereus*, *B. fusiformis, B. pumils, B. megaterium, B. mycoides, B. polymyxa, B. coagulans*, *B.chitinolyticus, B. subtilis, Bradyrhizobium* sp., *Brevibacterium* sp., *Burkholderia* sp., *Citrobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *P putida, P. striata, P. fluorescens, P. calcis, Flavobacterium* sp., *Nitrosomonas* sp., *Erwinia* sp., *Micrococcus* sp., *Escherichia intermedia*, *Enterobacter asburiae, S. phosphoticum, Nitrobacter* sp., *Thiobacillus ferroxidans, T. thioxidans, Rhizobium meliloti, Xanthomonas* sp.
รา	*Aspergillus awamori, A. niger, A. tereus, A. flavus, A. nidulans, A. foetidus, A. wentii. Fusarium oxysporum, Alternaria teneius, Achrothcium* sp., *Penicillium digitatum, P. lilacinium, P. balaji, P. funicolosum, Cephalosporium* sp., *Cladosprium* sp., *Candida* sp., *Curvularia lunata, Cunnighamella*, *Chaetomium globosum, Humicola inslens, H. lanuginosa, Helminthosporium* sp., , *Pythium* sp., *Paecilomyces fusisporousPhoma* sp., *Populospora mytilina, Myrothecium roridum, Morteirella* sp., *Micromonospora* sp., *Oideodendron* sp., *Rhizoctonia solani, Rhizopus* sp., *Mucor* sp., *Trichoderma viridae, Torula thermophila, Schwanniomyces occidentalis, Sclerotium rolfsii.*
แอคติโนมัยซีส	*Actinomyces, Streptomyces. Micromonospora,*
ไซยาโนแบคทีเรีย	*Anabena* sp., *Calothrix braunii*, *Nostoc* sp., *Scytonema* sp.
อาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	*Glomus fasciculatum*

ที่มา : Sharma *et al.,* 2013; Alori *et al*., 2017

4) จีนัสและสปีชีส์ของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่ใช้ในประเทศไทย

จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่ใช้ในปัจจุบัน มีทั้งในส่วนของภาครัฐ และภาคเอกชน ซึ่งได้จากการวิจัยและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ ดังนี้

4.1) ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตที่ผลิตโดยภาครัฐ

4.1.1) ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

- จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ประกอบด้วย แบคทีเรียละลายฟอสเฟต 1 สายพันธุ์ *Burkholderia* sp.

- ปุ๋ยชีวภาพพด. 12 เป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รวม 4 กลุ่ม โดยจะประกอบด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟต 1 สายพันธุ์ คือ *Burkholderia unamae*

4.1.2) ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

- ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ประกอบด้วยเชื้อราละลายฟอสเฟตสกุล *Penicillium* คือ *P. pinophilum*

- ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 ประกอบด้วย *Azotobacte* sp. *Azospirilum* sp. *Beijerinckia* sp.

4.2) ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ผลิตโดยเอกชน ได้แก่ *B. licheniformis B. unamae Lactobacillus plantarum* และ *B. megaterium* (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2562)

5) เชื้อราไมคอร์ไรซาที่ใช้ในประเทศไทย (mycorrhizal fungi)

เชื้อราไมคอร์ไรซาเป็นกลุ่มเชื้อราที่มีประโยชน์ในดินอาศัยร่วมกันกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยเชื้อราไมคอร์ไรซาที่นิยมใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ คือ เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ซึ่งจะมีประโยชน์มากมายต่อพืช เช่น เส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยทำหน้าที่ในการละลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Smith and Read, 1997) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมี โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสสำหรับการผลิตผลสดและเมล็ดของ okra ได้ 50 และ 33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (El-Shaikh, 2009) ช่วยให้พืชทนแล้งได้ เนื่องจากเส้นใยของราจะช่วยดูดน้ำให้แก่พืช สร้างความทนทานให้กับพืชและเพิ่มผลผลิตพืชในสภาพพื้นที่ดินมีปัญหาเช่น ดินกรด ดินเค็ม (Clark, 2002; Asghari, 2008 ; Evelin *et al*., 2009; Fernandez *et al.,* 2011) และพิษของโลหะหนัก ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน โดยเส้นใยของเชื้อราจะสร้างสารกลูมาลินช่วยทำให้เกิดการจับตัวกันของอนุภาคดินทำให้เกิดเม็ดดิน (Rillig, 2004) นอกจากนี้ยังช่วยลดความรุนแรงการเป็นโรคของพืชอันเนื่องมาจากเชื้อสาเหตุที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น ลดการเกิดโรคเน่าของมะเขือเทศที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora parasitica* (Vigo *et al*., 2000) และโรครากเน่าของกล้วยที่เกิดจากเชื้อรา *Cylindrocladium spathiphylli* (Declerck *et al*., 2002) ไมคอร์ไรซาแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ เอ็นโดไมคอร์ไรซา (endomycorrhizas) หรือเรียกว่า ไมคอร์ไรซารูปทรงกระบอก และรูปเส้นใยเป็นกระจุก (Vesicular - Arbuscular Mycorrhiza, VAM) เป็นเห็ดราที่อยู่ในไฟลัม Zygomycota มี 6 จีนัส ได้แก่ *Acaulospora Entrophospora Gigaspora Glomu Sclerocystis* และ *Scutellospora* เป็นเชื้อราที่อาศัยอยู่กับรากพืช (obligate symbiosis) ถ้าขาดพืชอาศัยจะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และไม่สามารถเพาะเลี้ยงเชื้อโดยปราศจากพืชอาศัยได้ โดยทั่วไปมักจะพบในพืชสวน พืชไร่ พืชผัก และไม้ดอกไม้ประดับ สำหรับไมคอร์ไรซาอีกชนิดหนึ่ง คือ เอ็คโตไมคอร์ไรซา (ectomycorrhizas) เป็นเห็ดราที่อาศัยอยู่นอกเซลล์ผิวของรากพืช (ectotrophic mycorrhizas) เป็นเห็ดราที่จำเพาะเจาะจงมักพบในไม้ยืนต้นและไม้ป่า เห็ดราเอคโตไมคอร์ไรซาจำแนกอยู่ในพวกเห็ดราชั้นสูงถึงราชั้นต่ำในไฟลัม *Basidiomycota Ascomycota* และ *Deuteromycota* โดยชนิดที่พบบ่อยในประเทศไทย ได้แก่ *Astraeus hygrometricus Boletus edulis B. Colossum Cenococcum geophilum Russula delica* และ *R. lepida* เป็นต้น

การศึกษาของเมธาวีการณ์ และ โสภณ (2554) ได้ดำเนินการการเก็บตัวอย่างดินรอบรากและรากอ้อย จากแปลงปลูกอ้อย ในจังหวัดนครราชสีมา อุดรธานี และขอนแก่น พบว่า ความหนาแน่นของการเข้าอยู่อาศัยในรากอ้อยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซา พบในช่วงระหว่าง 8.0 ถึง 71.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณสปอร์ พบตั้งแต่ 1.0 - 8.5 สปอร์ต่อดิน 1 กรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการ และความสม่ำเสมอ

ของการจัดการทางการเกษตร ได้แก่ ชนิดของปุ๋ยที่ใส่ สภาพการไถพรวนดิน เป็นต้น (Bending *et al*., 2004) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณสปอร์ที่พบไม่แปรผันตามความหนาแน่นของการเข้าอยู่อาศัย เช่น ตัวอย่างจากบ้านหนองหว้า ต.หนองหว้า อ.กุมภวาปี จ.อุดรธานี มีความหนาแน่นของการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราไมคอร์ไรซาปานกลาง (41.2 เปอร์เซ็นต์) แต่มีปริมาณสปอร์สูงสุด (8.5 สปอร์ต่อดิน 1 กรัม)

นาฏยา และคณะ (2555) รายงานจำนวนชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่เกษตกรรมและพื้นที่ป่าไม้ พบว่า พื้นที่เกษตรกรรมจะพบเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จำนวน 9 ไอโซเลต แต่ในพื้นที่ป่าธรรมชาติพบเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จำนวน 11 ไอโซเลต โดยจำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่เกษตรกรรมมีน้อยกว่าพื้นที่ป่าธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่จำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่เกษตรกรรม เท่ากับ 432 สปอร์ต่อดินแห้ง 100 กรัม ส่วนจำนวนสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพื้นที่ป่าธรรมชาติ เท่ากับ 1,192 สปอร์ต่อดินแห้ง 100 กรัม

ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในธรรมชาติ พบว่า มวลชีวมวลของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีสัดส่วนสูงมากถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของมวลชีวภาพจุลินทรีย์ดินทั้งหมด ดังนั้นความหนาแน่นของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีอยู่มากในดิน จึงทำให้มีอิทธิพลทั้งต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม (พักตร์เพ็ญ, 2556) โดยดินในธรรมชาตินั้นก็จะมีปริมาณสปอร์และการเข้าอยู่อาศัยของไมคอร์ไรซาที่แตกต่างกันไป

ฐาปนี และคณะ (2557) ได้เก็บตัวอย่างดินรอบราก และรากจากแปลงปลูกแก่นตะวันในจังหวัดขอนแก่น นครราชสีมา อุดรธานี เพชรบูรณ์ และสระบุรี พบว่า ความหนาแน่นของการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชของเชื้อราไมคอร์ไรซา พบในช่วงระหว่าง 6.0 - 52.8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณสปอร์พบตั้งแต่ 5.0 - 15.6 สปอร์ต่อดิน 1 กรัม พบว่า เชื้อราในสกุล *Glomus* spp. และ *Acaulospora* spp. มีการแพร่กระจายมากที่สุด

นภาพร และ จรัสลักษณ์ (2560) จากผลการสำรวจและเก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบรากพริกไทยในจังหวัดนครศรีธรรมราช และสุราษฎร์ธานี พบว่า ปริมาณสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่เก็บมาจากแปลงปลูกพริกไทยมีความแตกต่างกัน โดยพบปริมาณสปอร์สูงสุดในดินตัวอย่างที่เก็บจากอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในปริมาณ 1,242 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม พบรองลงมาในดินตัวอย่างอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช และอำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ในปริมาณ 563 และ 446 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ และสปอร์ที่พบต่ำสุดในปริมาณ 275 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ในดินตัวอย่างจากอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช

6) จีนัสและสปีชีส์ของเชื้อราไมคอไรซาที่ใช้ในประเทศไทย กรมวิชาการเกษตรได้ผลิตปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ซึ่งที 2 สกุล ได้แก่ *Glomus* spp. และ *Acaulospora* sp.

4.2.3 ปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียม (biofertilizer for potassium solubilization)

1) ความสำคัญของโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของพืช

โพแทสเซียม เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของสารอินทรีย์ในพืช มีบทบาทในเมทาบอลิซึมของพืชหลายด้าน ความเข้มข้นของธาตุนี้ในใบพืชที่จัดว่าเพียงพออยู่ระหว่าง 1.5 - 3.0 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพืช สำหรับพืชที่ได้รับโพแทสเซียมในระดับดังกล่าวจะให้ผลผลิตสูงทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ (ยงยุทธ, 2558ค) ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1.1) ช่วยในการขยายขนาดของเซลล์ โดยการขยายตัวของเซลล์เกิดจากอิทธิพลของออกซินหรือจิบเบอเรลลินนั้นกระบวนการในช่วงที่เซลล์ขยายขนาดโพแทสเซียมมีบทบาทดังนี้ (1) มีการลดความแข็งแรงของผนังเซลล์ลงชั่วคราวโดยเซลล์สูบโปรตอน (HY) ออกมาที่ผนังเซลล์เพื่อลดความเป็นกรดเป็นด่าง

บริเวณดังกล่าวอันเป็นสภาพที่เหมาะสำหรับการทำงานของเอนไซม์ที่สลายพันธะเคมีซึ่งเชื่อมระหว่างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสและ H^+ จะเข้าแทนที่แคลเซียมในโครงสร้างบางส่วนของผนังเซลล์ (2) เซลล์ดูดน้ำเข้าไปเพื่อให้เซลล์เต่งและยืดตัวในขั้นตอนนี้โพแทสเซียมไอออนเป็นหลักในการทำหน้าที่ลดศักย์ออสโมซิส (osmotic potential) ภายในเซลล์ทำให้น้ำเคลื่อนที่เข้าไปในเซลล์มากจึงช่วยในการขยายปริมาตรเซลล์จนได้ขนาดที่ต้องการ (3) เมื่อเซลล์มีขนาดที่ต้องการก็เพิ่มความแข็งแรงของผนังเซลล์ด้วยการสังเคราะห์เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสออกไปสะสมและให้แคลเซียมเข้าจับในตำแหน่งการเชื่อมยึดเหมือนเดิม (4) สังเคราะห์สารต่างๆในเซลล์ให้สมบูรณ์จึงทำให้แต่ละเซลล์ในเนื้อเยื่อเพิ่มขนาดและมีน้ำหนักมากขึ้น

1.2) ช่วยในการสังเคราะห์แสงโดยควบคุมให้ปากใบเปิดเมื่อมีแสง ปล่อยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แพร่เข้าไปในใบเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและเอนไซม์ซึ่งทำหน้าที่ในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตด้วยการเปิดปากใบในเวลากลางวันทำให้มีการคายน้ำทางปากใบจึงช่วยลดความร้อนในใบและต้น ขณะเดียวกันก็ส่งเสริมการลำเลียงธาตุอาหารทางไซเล็ม (ท่อลำเลียงน้ำ) ตามกระแสการคายน้ำของพืช

1.3) ส่งเสริมการลำเลียงสารอินทรีย์และกรดอะมิโนรวมทั้งธาตุอาหารต่างๆ ทางโฟลเอ็ม (ท่อลำเลียงอาหาร) เพื่อไปเลี้ยงอวัยวะที่กำลังพัฒนา เช่น ยอดอ่อน ดอก ผล รวมทั้งรากด้วยเหตุนี้การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมจึงช่วยในการเติบโตเมล็ดธัญพืช เช่น ข้าวโดยเพิ่มขนาดรวงและเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มในรวงโพแทสเซียมมีบทบาทที่เกี่ยวข้องกับการสร้างผลผลิตถึง 3 ขั้นตอนคือ การสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างคาร์โบไฮเดรตการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตในรูปซูโครสทางท่อลำเลียงไปเลี้ยงดอกและผลซึ่งเป็นปลายทางของการขนส่งในระยะเจริญพันธุ์ และการแปรสภาพของซูโครสที่ลำเลียงมาได้เพื่อการเติบโตของดอกและผล

1.4) ช่วยรักษาสมดุลของประจุในเซลล์ เนื่องจากโพแทสเซียมมีประจุบวกอยู่ในเซลล์ได้มากโดยไม่เป็นพิษต่อเซลล์และเคลื่อนย้ายในพืชได้ง่าย จึงทำหน้าที่สร้างสมดุลด้านประจุกับสารอินทรีย์

1.5) ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์โดยทำหน้าที่ดังนี้ (1) รักษาสภาพความเป็นกรดเป็นด่างในเซลล์ให้คงที่และพอเหมาะ (2) สภาพความเข้มข้นที่เหมาะสมของโพแทสเซียมในไซโทโซลช่วยในการปรับโครงรูปของเอนไซม์ให้พร้อมสำหรับการทำงาน (3) ช่วยทำให้ฤทธิ์ของเอนไซม์ที่มีบทบาทในกระบวนการเมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต การสังเคราะห์แสงเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งไอออนที่เยื่อหุ้มเซลล์ และเอนไซม์อื่นรวมกว่า 60 ชนิดโดยทำหน้าที่เป็นปัจจัยร่วมในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์

1.6) ช่วยให้พืชต้านทานต่อโรคพืช

2) ปัญหาการขาดโพแทสเซียมในดิน

ในดินที่ขาดโพแทสเซียมจะส่งผลต่อผลผลิตพืช เมื่อพืชขาดโพแทสเซียม ขอบใบจะมีสีซีดแล้วกลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งไปในที่สุด อาการเริ่มจากปลายใบสู่โคนใบ ระหว่างเส้นใบอาจจะมีสีน้ำตาลแห้ง โพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ในพืช เพราะฉะนั้น ลักษณะอาการขาดจะเกิดที่ใบแก่ก่อนใบอ่อน การขาดโพแทสเซียมส่งผลต่อพืชเช่น ทำให้เมล็ดธัญพืชลีบ น้ำหนักเบา พืชหัวจะมีแป้งน้อย ข้าวโพดฝักไม่เต็ม ผลไม้จะมีสีไม่สวย เนื้อฟ่าม พืชให้น้ำมันมีน้ำมันน้อย เป็นต้น ซึ่งการสูญเสียโพแทสเซียมจากดินเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ ได้แก่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

2.1) พืชดูดใช้ (crop remove) พืชดูดใช้โพแทสเซียมในปริมาณสูงใกล้เคียงกับไนโตรเจน หากในดินมีปริมาณโพแทสเซียมสูงพืชก็จะดูดใช้โพแทสเซียมในปริมาณมากซึ่งมากกว่าความต้องการใช้จริง

2.2) ถูกละลาย (leaching) การสูญเสียโพแทสเซียมโดยการชะละลายจะเห็นได้จากการวิเคราะห์น้ำที่ระบายลงสู่ดินชั้นล่าง โดยโพแทสเซียมที่อยู่ในดินทรายจะถูกชะละลายได้มาก

2.3) การกร่อนผิวดิน (erosion of surface soil) น้ำที่ไหลบ่าตามผิวดินเมื่อชะเอาอนุภาคของดินออกไปก็จะทำให้โพแทสเซียมที่อยู่ในดินสูญหายไปด้วย

2.4) การตรึงโพแทสเซียม (potassium fixation) ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใส่ในดินบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชยากขึ้น ซึ่งเรียกว่า การถูกตรึง การตรึงส่วนใหญ่เกิดโดยดินเหนียว

2.5) ถูกพืชดึงดูดเข้าไปมากเกินความต้องการ (luxury consumption) หากในดินมีระดับโพแทสเซียมสูง พืชจะดูดใช้ไปสะสมในปริมาณที่เกินความต้องการ โดยที่ไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตไปปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมมากเกินพอนี้ก็จะสูญหายไปด้วย

3) จุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม

เป็นจุลินทรีย์ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียม ซึ่งโพแทสเซียมในดินจะอยู่ในรูปที่จับกับซิลิเกต เช่น มัสโคไวท์ (muscovite) ออโทเคลส (orthoclase) ไบโอไทต์ (biotite) เฟลสปาร์ (feldspar) อิลไลท์ (Illite) ไมก้า (mica) เวอร์มิคูไลต์ (vermiculite) และสเม็คไทต์ (smectite) เป็นต้น โพแทสเซียมในรูปนี้จะสามารถละลายหรืออยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้โดยจุลินทรีย์ (Ullaman *et al.*, 1996) จุลินทรีย์ที่ละลายโพแทสเซียม ได้แก่ *B. edaphicus* สามารถเพิ่มการละลายโพแทสเซียมได้จาก 27.9 เปอร์เซ็นต์ เป็น 84.8 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารเลี้ยงเชื้อ (Sheng and He, 2006) *B. mucilaginosus* สามารถละลายโพแทสเซียมโดยใช้มัสโคไวท์เป็นแหล่งโพแทสเซียมได้ 4.29 มิลลิกรัมต่อลิตร (Sugumaran and Janarthanam, 2007) ซึ่งมีรายงานปริมาณจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมในดิน จากการศึกษาของ Chitra and Sharavanan, (2014) พบปริมาณจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมในดินที่ปลูกชาของประเทศอินเดียอยู่ในช่วง $1.07x10^4$ - $2.95x10^4$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง โดยพบความสัมพันธุ์ของจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมกับอินทรีย์คาร์บอนกับปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน สอดคล้องกับรายงานของ Bagyalakshmi *et al*., (2017) ศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมในพื้นที่ปลูกชาทางตอนใต้ของอินเดีย โดยพบปริมาณแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมมีปริมาณเท่ากับ 5.90×10^4 เซลล์ต่อกรัมดิน ปริมาณที่พบใกล้เคียงกับรายงานของ บุษราพร และคณะ, (2562) สำรวจปริมาณของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตรในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง จังหวัดชลบุรี พบปริมาณแบคทีเรียและราละลายโพแทสเซียมในช่วงเวลาต่างๆ ของการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง โดยนับปริมาณจุลินทรีย์ในช่วง 1 - 11 เดือน พบปริมาณแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 1.4×10^4 - 4.0×10^4 เซลล์ต่อกรัมดิน และราละลายโพแทสเซียมมีปริมาณอยู่ในช่วง 5.0×10^4 - 1.2×10^5 เซลล์ต่อกรัมดิน สำหรับกลไกการละลายโพแทสเซียม เกิดจากจุลินทรีย์มีการผลิตกรดอินทรีย์ในกลุ่มของอะซิเตต (acetate) ซิเตรต (citrate) และ ออกซาเลต (oxalate) (Hazen *et al.*, 1991; Barker *et al.*, 1998) นอกจากนี้มีแบคทีเรียบางชนิดสร้าง ซิเดอโรฟอร์ (siderophores) ออร์กานิคลิแกน (organic ligands) ในการละลายโพแทสเซียมได้ (Paul and Clark, 1989; Roger, 2004; Welch *et al.*, 1999) สำหรับการใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชชนิดต่างๆ จากการศึกษาการใช้ *B. edaphicus* ในพริกและฝ้ายมีผลให้ผลผลิตของพืชทั้งสอง การใช้ *Bacillus* sp. ช่วยให้เพิ่มผลผลิตและปริมาณโพแทสเซียมในข้าวฟ่างและข้าว ยังเพิ่มการดูดใช้โพแทสเซียมในมันสำปะหลังและมันเทศ (Clarson, 2004) นอกจากนี้ยังมีการใช้จุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมร่วมกับจุลินทรีย์ที่เป็นปุ๋ยชีวภาพชนิดอื่น จากการรายงานของ Chandra *et al*. (2005) พบว่า การใช้จุลินทรีย์

ละลายโพแทสเซียมร่วมกับ *Rhizobium Azospirillum Azotobacter Acetobacter* และแบคทีเรียละลายฟอสเฟต มีผลให้เพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังและมันเทศ 15 - 20 เปอร์เซ็นต์ การใช้จุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม *B. mucilaginosus* ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต *B. megaterium* และจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ *A. chroococcum* ช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดและช่วยปรับปรุงสมบัติของดิน เช่น เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุและไนโตรเจน

4) จีนัสและสปีชีส์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ในประเทศไทย

จุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม ที่มีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียมในประเทศไทยมีไม่มากนัก แต่อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมผลิตกรดอินทรีย์ออกมาเพื่อละลายแร่ธาตุที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ ซึ่งลักษณะการเกิดกิจกรรมเหมือนกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต ดังนั้นส่วนใหญ่จึงเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มเดียวกัน (Mursyida *et al.*, 2015) สำหรับผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียมที่ผลิตโดยภาครัฐ เป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียมของกรมพัฒนาที่ดิน คือ ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 เป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รวม 4 กลุ่ม โดยจะประกอบด้วยแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม 1 สายพันธุ์ คือ *B. subtilis*

4.2.4 ปุ๋ยชีวภาพละลายซิลิเกต (biofertilizer silicate solubilisation)

1) ความสำคัญของซิลิคอนต่อการเจริญเติบโตของพืช

ซิลิคอน (Si) ไม่ได้จัดเป็นธาตุอาหารพืช แต่พืชทุกชนิดมีซิลิคอนเป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อเป็นจำนวนมาก ซิลิคอนจัดเป็นธาตุเสริมประโยชน์ (beneficial element) สำหรับพืชหลายชนิด โดยเฉพาะพืชตระกูลหญ้า (Havlin *et al.*, 2005) ซิลิคอนในดินกว่ามากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรูปของซิลิกา (SiO_2) ซึ่งพืชไม่สามารถดูดใช้ สำหรับรูปที่พืชสามารถดูดใช้ ได้แก่ รูปกรดมอนอซิลิซิก (monosilicic acid) มีสูตรทางเคมี คือ H_4SiO_4 หรือ $Si(OH)_4$ พบอยู่ในดินน้อยมากเพียง 3.5 - 4.0 มิลลิกรัมซิลิคอนต่อลิตร (ปิยะ, 2556) รากข้าวดูดธาตุซิลิคอนเข้าไปในรูปกรดโมโนซิลิซิก ($H_4SIO_4^0$) แล้วลำเลียงทางไซเล็มไปสู่ส่วนเหนือดินและสะสมในผนังเซลล์ของใบเป็นชั้นบางๆ ซิลิคอนที่สะสมในผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อชั้นผิว (epidermis) อยู่ในรูปซิลิกาอสัณฐาน (amorphous silica, $SiO_2.nH_2O$) จัดเรียงเป็นชั้นในผนังเซลล์โดยเชื่อมโยงกับเซลลูโลสและเพ็กทินใบข้าวจึงมีสิ่งปกป้องสองชั้น คือ ผิวใบปกคลุมด้วยคิวติเคิล (cuticle) ถัดลงไปเป็นชั้นซิลิกา เป็นการปกป้องทางกายภาพที่ดี สำหรับกรดโมโนซิลิซิกอีกส่วนหนึ่งอยู่ในเซลล์และทำหน้าที่ส่งเสริมกระบวนการด้านสรีระ ซิลิคอนมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของข้าว (ยงยุทธ, 2558ง) ดังนี้

1.1) ซิลิคอนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าวเนื่องจากกรดโมโนซิลิซิกที่รากดูดไปสะสมในผนังเซลล์ของแผ่นใบจึงช่วยลดการคายน้ำผ่านคิวติเคิล (cuticular transpiration) การใส่ปุ๋ยซิลิคอนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตข้าว 2 ส่วนคือ (1) ประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตส่วนเหนือดิน (น้ำหนักแห้งที่ได้ต่อหน่วยของน้ำที่ข้าวดูดใช้) สูงขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ และ (2) ประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตข้าวเปลือก (น้ำหนักเมล็ดที่ได้ต่อหน่วยของน้ำที่ข้าวดูดใช้) สูงขึ้น 45 เปอร์เซ็นต์

1.2) ซิลิคอนช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แสงเนื่องจากซิลิคอนช่วยให้แผ่นใบแข็งจึงตั้งไม่บังกันเองใบข้าวทั้งกอจึงรับแสงได้มากขึ้นนอกจากนี้ซิลิคอนยังช่วยให้ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index) สูงขึ้นผลทั้งสองประการทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสูงขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตเมล็ดข้าวจึงสูงขึ้น นอกจากนั้นการที่ซิลิคอนทำให้ใบตั้ง ไม่บังแสงซึ่งกันและกัน และส่งเสริมการสังเคราะห์แสง ใบข้าวจึงมีอายุยาวขึ้น และวายช้า

1.3) ซิลิคอนช่วยให้ลำต้นแข็งแรง ข้าวจึงล้มน้อยลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราสูง

1.4) ซิลิคอนช่วยเพิ่มความต้านทานต่อโรคข้าวที่เกิดจากเชื้อราหลายโรคเช่นโรค blast (*Magnaporthe grisea*) กลไกที่ซิลิคอนช่วยให้ข้าวต้านทานต่อโรค blast มี 2 ประการคือ (1) การสะสมซิลิกาในผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวกลายเป็นชั้นที่แข็งแรงจึงกีดกันไม่ให้เส้นใยแทงทะลุเข้าไปในเซลล์ และ (2) ซิลิคอนส่งเสริมการใช้ประโยชน์แอมโมเนียมที่รากดูดได้และส่งมาให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่อันเป็นโครงสร้างของเซลล์ให้เหลือเป็นสารประกอบไนโตรเจนโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะมิโนและอะไมด์น้อยที่สุดเชื้อราจึงขาดสารอาหารสำหรับการสร้างใยราการเข้าทำลายข้าวช้าลงความแข็งแรงของใบข้าวจากการสะสมซิลิกายังช่วยลดการทำลายของแมลงได้บางส่วน การใช้ปุ๋ยซิลิคอนอย่างเดียวช่วยบรรเทาความรุนแรงของโรค brown spot ในข้าวได้ระดับหนึ่งแต่ได้ผลดีกว่าใช้ยาฆ่าเชื้อราถ้าใช้ปุ๋ยซิลิคอนร่วมกับยาฆ่าเชื้อราจะควบคุมโรคนี้ได้ดีกว่าวิธีอื่น

1.5) ซิลิคอนช่วยเพิ่มอำนาจการออกซิเดชัน (oxidation power) ของรากข้าวจึงออกซิไดส์เฟอรัสไอออนให้กลายเป็นเฟอริกไอออนแล้วได้เฟอริกออกไซด์ซึ่งตกตะกอนที่ผิวรากกลไกนี้จะลดการดูดเฟอรัสไอออนแต่ป้องกันความเป็นพิษจากเฟอรัสซึ่งมีมากเกินไปในสารละลายของดินนาที่เป็นกรดจัด

1.6) ในบางกรณีที่รากต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพรีดักชันของดินจากการขังน้ำ รากจึงต้องควบคุมการใช้ออกซิเจนภายในรากให้มีประสิทธิภาพ ซิลิคอนมีบทบาทส่งเสริมการสร้างแถบแคสแพเรียน (casparian band) ในเอ็กโซเดอร์มิสและเอ็นโดเดอร์มิสและสะสมลิกนินในสเคลอเร็งคิมา ทั้งนี้เพื่อลดการแพร่ของออกซิเจนออกมาสู่ไรโซสเฟียร์เป็นกลไกหนึ่งที่ช่วยให้รากข้าวปรับตัวให้เข้ากับสภาพรีดักชันของดินหรือสภาพแวดล้อมบางประการที่ไม่เหมาะสม

นอกจากนี้ประโยชน์ของซิลิคอนต่ออ้อย คือ ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อโรคและ แมลง ชักนำให้ดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมได้ดีขึ้น ลดการดูดใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสหากมีธาตุนั้นมากเกินไปในสารละลายดิน ลดความเป็นพิษของธาตุบางชนิด เช่น เหล็ก แคดเมียม สารหนู เป็นต้น (Guntzer *et al*., 2012) อย่างไรก็ตามหากอ้อยได้รับซิลิคอนไม่เพียงพอจะพบจุดวงกลมสีขาวหรือกระบริเวณใบ และมีความรุนแรงมากขึ้นในใบแก่ ส่งผลให้อ้อยที่ไว้ ตอ แตกกอได้ยากขึ้น (McCray *et al*., 2013; Rice *et al*., 2010)

2) ปัญหาการขาดซิลิกอนในดิน

ซิลิคอนเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการสร้างโปรตีน ธาตุซิลิคอนไม่ได้จัดให้เป็นธาตุอาหารของพืช แต่ถ้าพืชขาดธาตุซิลิกอนจะมีผลกระทบทำให้พืชเกิดอาการใบมีสีเหลืองหรือน้ำตาล และตายการงอกช้า ใบตก เหี่ยวแห้ง (การสังเคราะห์แสงไม่ดี) การออกดอกติดผลยาก ได้ผลผลิตต่ำ (นิคม, 2543)

3) จุลินทรีย์ละลายซิลิเกต

จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถละลายซิลิเกตซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบอยู่บนเปลือกโลกมากที่สุดประมาณร้อยละ 96 โดยน้ำหนัก เพื่อให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ กลไกสำคัญของจุลินทรีย์คือ การผลิตกรดอินทรีย์ ได้แก่ oxalate citrate succinate pyruvate และ 2 - ketoglutamate (Welch and Ulman, 1992) การขับสารโพลิแซ็กคาไรด์ และการผลิตสารกลูโคเนต (gluconate) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ และเกิดปฏิกิริยา chelation gluconate (Vandevivere *et al*., 1994) และการสร้างสารเสริมการเจริญเติบโตให้กับพืช โดยจุลินทรีย์ละลายซิลิเกตที่มีการนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยชีวภาพ เช่น *B. exlorrguen* ละลายแร่ซิลิเกต เช่น pegmatolie และ kietyolite ได้ และ *B. circulants* สามารถละลายแร่ pegmatolite ให้โพแทสเซียมออกมาในรูป K_2O ได้ 27 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียมในรูป

Al_2O_3 ได้ 23 เปอร์เซ็นต์ และซิลิกอนในรูป Si_2O_3 ได้ 13 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการละลายแร่ไมก้า ให้โพแทสเซียมออกมาในรูป K_2O ได้ 51.3 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียมในรูป Al_2O_3 WFH 57.8 เปอร์เซ็นต์ และซิลิกอนในรูป Si_2O_3 ได้ 50.3 เปอร์เซ็นต์ จากประสิทธิภาพดังกล่าวทำให้ประเทศจีนได้พัฒนาเชื้อในรูปหัวเชื้อปุ๋ยชีวภาพซิลิเกต ซึ่งยังสามารถผลิตสารกระตุ้นการเจริญเติบโตให้กับพืชได้อีกด้วย เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน สามารถป้องกันและควบคุมโรคให้กับพืช เช่น โรคใบไหม้ในข้าวโพดและข้าว โรคเหี่ยวเหลืองของข้าวสาลี ราสนิมและลำต้นเน่าของข้าวสาลี สำหรับแบคทีเรียละลายซิลิเกตพบกระจายอยู่ทั่วไปในดิน น้ำ และตะกอนน้ำ แต่มีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแบคทีเรียทั้งหมด ซึ่งในตะกอนบ่อน้ำปริมาณสูงสุดที่พบคือ 4.1×10^5 เซลล์ต่อกรัม และในแปลงอ้อยพบปริมาณแบคทีเรียละลายซิลิเกต 3.1×10^5 เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง ปริมาณแบคทีเรียละลายซิลิเกตผันแปรตามชนิดของแร่ที่มีซิลิเกตเป็นองค์ประกอบ โดยพบปริมาณแบคทีเรียละลายซิลิเกตมากปริมาณแหล่งแร่ที่มีมัสโคไวท์เป็นองค์ประกอบ และพบปริมาณน้อยในบริเวณที่มีแร่มีควอตซ์และอิลไลต์ (Vasanthi *et al*.,2018) และจากการรายงานของ ศิณีนาถ (2548) ศึกษาการปริมาณและกิจกรรมของซิลิเกตแบคทีเรียสายพันธุ์พื้นเมืองในดิน แปลงปลูกสตรอเบอรี่ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าดินมีปริมาณแบคทีเรียละลายซิลิเกต 10^7 เซลล์ต่อกรัม

4) จีนัสและสปีชีส์ของจุลินทรีย์ละลายซิลิเกตที่ใช้ในประเทศไทย

จุลินทรีย์ละลายซิลิเกตที่วิจัยและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ในส่วนของราชการ และภาคเอกชนที่ผ่านการขึ้นทะเบียนกับกรมวิชาการเกษตรปัจจุบันไม่มีข้อมูล แต่มีงานวิจัยที่ใช้จุลินทรีย์ละลายซิลิเกตในการผลิตสารที่ไปช่วยกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโต เช่น จิบเบอเลลิน และฮอร์โมนพืชอื่นๆ และสามารถป้องกันและควบคุมโรคพืชได้ เช่น *B. exlorguen* และพบว่า *B. circulans* สามารถละลายโพแทสเซียม และซิลิเกตได้ จึงมีการนำจุลินทรีย์ดังกล่าวมาพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพ จากการรายงานของ ศิณีนาถ (2548) ศึกษาการปริมาณและกิจกรรมของซิลิเกตแบคทีเรียสายพันธุ์พื้นเมืองในดิน แปลงปลูกสตรอเบอรี่ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าแบคทีเรียละลายซิลิเกตที่พบมีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้ในอาหารเหลวที่ใส่แร่เฟลด์สปาร์ และจากรายงานของ Sheng *et al*,. (2008) พบ *B. globisporus* สามารถละลายโพแทสเซียมและซิลิเกตจากแร่ซิลิเกตได้จากกรดอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ผลิตออกมา จึงมีความเป็นไปได้ว่าจุลินทรีย์ที่ละลายโพแทสเซียมสามารถละลายซิลิเกตได้

4.2.5 ปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (biofertilizer plant growth promoting rhizobacteria)

1) ความสำคัญของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ พีจีพีอาร์ เป็นแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตอย่างอิสระอาศัยอยู่ในดินบริเวณรอบรากพืช ที่ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่มเดียวกัน หรือต่างกลุ่มกัน เช่น ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถตรึงไนโตรเจน ช่วยละลายฟอสเฟต ผลิตฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญของรากพืช ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารพืช รวมทั้งสามารถยับยั้งเชื้อโรคพืช ซึ่งความสามารถเหล่านี้มีความสำคัญทางการเกษตรอย่างมากโดยจะช่วยในการปรับปรุงดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช และช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์ (Perez-Montano, 2014) ซึ่งความสำคัญของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วย

1.1) การสร้าง และการละลายธาตุอาหาร หรือเป็นปุ๋ยชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ที่มีบทบาทดังกล่าว ประกอบด้วย แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน เช่น แบคทีเรียจีนัส *Beijerinckia* และไซยาโนแบคทีเรียจีนัส *Nostoc* จุลินทรีย์ที่เพิ่มฟอสฟอรัส เป็นแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ เช่น *Arthrobacter Bacillus Beijerinckia Burkholderia Enterrobacter*

เป็นต้น (Bhattacharyya and Jha, 2012) จุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม สามารถเปลี่ยนโพแทสเซียมในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ เช่น *Acidothiobacillus ferrooxidans B. edaphicus B. mucilaginosus Paenibacillus* sp. *Burkholderia* และ *Pseudomonas* (Liu *et al.,* 2012) จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้าง siderophore เพื่อสกัดธาตุเหล็กให้กับพืช ซึ่งจะช่วยในการเพิ่มความต้านทานโรคพืช เช่น *Aeromonas Azadirachta Azotobacter Bacillus Burkholderia Pseudomonas Rhizobium Serratia* และ *Streptomyces* (Sujatha and Ammani, 2013) การศึกษาของ Deepa *et al*. (2010) ศึกษาประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตโดยเชื้อราที่แยกได้จากดินบริเวณรากข้าวพบว่าเชื้อรา 12 ไอโซเลต มีประสิทธิภาพในการละลายแคลเซียมฟอสเฟตในอาหารเลี้ยงเชื้อสูงสุดที่ 9 วัน หลังจากการบ่มเชื้อมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ระหว่าง 393.9 - 4701.8 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ Kucey (1987) ทดสอบสายพันธุ์ราที่แยกได้จากดินในการละลายแคลเซียมฟอสเฟตในอาหารแข็ง และหินฟอสเฟตในอาหารเหลว เป็นไปในทำนองเดียวกันกับ Gaur *et al*. (1973) รายงานว่าหินฟอสเฟตจะถูกละลายออกมาโดยราภายในเวลา 7 วัน และรายงานของ Kucey (1983) พบว่าส่วนใหญ่ราที่ละลายฟอสเฟตจะแยกได้จากพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์เป็นส่วนใหญ่โดยมากจะพบเป็นพวก *Penicillium* และ *Aspergillus* นอกจากนี้ยังมีรายงานการทดสอบปลูกข้าวสาลีในสภาพโรงเรือนทดลองในดินที่มีปูนแคลเซียมซึ่งมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า เมื่อมีการปลูกเชื้อรา *P. bilaji* ลงในดินทำให้ข้าวสาลีมีผลผลิตเพิ่มขึ้น 16 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสที่พืชดูดใช้ทั้งหมด 14 เปอร์เซ็นต์ การใส่เชื้อร่วมกับการใส่หินฟอสเฟตทำให้ฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น 11 เปอร์เซ็นต์ (Asea *et al*., 1988) สำหรับการทดลองในภาคสนามกับพืชบางชนิดได้ผลดังนี้คือ เมื่อใส่เชื้อแบคทีเรีย *B. firmus* กับหินฟอสเฟตทำให้น้ำหนักต้นข้าวเพิ่มขึ้น การใส่เชื้อรา *P. bilagi* ร่วมกับหินฟอสเฟตทำให้น้ำหนักต้นข้าวสาลีเพิ่ม 10 - 27 เปอร์เซ็นต์ และสะสมฟอสฟอรัสในพืชมากขึ้น 15 - 34 เปอร์เซ็นต์ การใส่เชื้อ *P. striata* และ *Aspergillus awamori* ช่วยเพิ่มนำหนักต้นข้าวสาลี (ยงยุทธและคณะ, 2551)

1.2) ผลิตสารที่ส่งเสริมและกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช (phytostimulator, playtohormone) สารกลุ่มนี้ที่แบคทีเรียสร้างได้แก่ ออกซิน จิบเบอเรลลิน และ ไซโตไคนิน ตัวอย่างจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ เช่น *Pseudomonas Bradyrhizobium* และ *Agrobacterium* เป็นต้น (kang *et al.,* 2010; Shilev, 2013) นอกจากนี้จะมีแบคทีเรียจีนัส *Azospirillum* ที่อาศัยกับพืชไร่ที่มีความสำคัญ เช่น ธัญพืช อ้อย หญ้าอาหารสัตว์ และในพืชอื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น กาแฟ ไม้ผล และกล้วยไม้ (Reis *et al*., 2011; ธงชัย, 2557) ปัจจุบันพบ 19 สปีชีส์ (Rodrigues *et. al*., 2015) ซึ่ง *Azospirillum* เป็นปุ๋ยชีวภาพที่สำคัญ โดยเฉพาะบทบาทหลักการตรึงไนโตรเจนสำหรับการส่งเสริมการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตพืช ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบร่วมอาศัยกับข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวสาลี (Sivasakthivelan and Saranraj, 2013) นอกจากนี้ยังสามารถผลิตฮอร์โมนพืช เช่น ออกซิน ไซโตไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทีลีน และซีเอทิน สารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดอื่น เช่น abscisis acid nitric oxide putrescine spermine spermidine cadaverine และ polyamine เป็นต้น สามารถละลายฟอสเฟตในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ สร้างสารไซเดอโรฟอร์ เช่น HCN และ salicylic acid ผลิต ACC deainase สามารถควบคุมโรคพืช และปกป้องพืชต่อสภาพดินเค็ม และสารพิษตกค้างในดินได้ (Cassan and Diaz-Zorita, 2016) จากประสิทธิภาพของ *Azospirillum* ดังกล่าวทำให้มีนักวิจัยสนใจที่จะคัดแยกเชื้อจากดินและพืชต่างๆ เพื่อคัดเลือกชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง นำไปใช้ประโยชน์ทางเกษตรเพื่อ ส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชเศรษฐกิจหลายชนิด ทั้งต่างประเทศและในประเทศ

1.3) เป็นผู้ควบคุมศัตรูพืช (biopesticide) โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะสร้างสารปฏิชีวนะ เอนไซม์ เพื่อให้พืชมีความต้านทานต่อโรคและแมลง รวมทั้งจุลินทรีย์บางกลุ่มสามารถผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ช่วยทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ ตัวอย่างจุลินทรีย์กลุ่มนี้ เช่น *Bacillus* และ *Pseudomonas*

2) ชนิดของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชพบว่ามีปริมาณมากบริเวณรอบรากพืช โดยจากการศึกษาจุลินทรีย์สร้างสารเสริมการเจริญเติบโตของพืชบริเวณรากข้าวในพื้นที่ดินเค็ม เมืองแดกู ประเทศเกาหลี พบว่ามีอยู่ในช่วง 1.5×10^4 ถึง 8.5×10^6 เซลล์ต่อกรัมดิน (Nadeema *et al*., 2012) อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ในกลุ่มปุ๋ยชีวภาพส่วนใหญ่สามารถผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ (ธนากร, 2557) ดังนั้นปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มนี้ในดินมีเท่ากับจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน ละลายฟอสเฟต ละลายโพแทสเซียม และละลายซิลอเกตดังที่กล่าวมาข้างต้น การจัดเป็นกลุ่มแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามบริเวณที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ ได้แก่ (Viveros *et al.,* 2010; Gupta *et al*., 2015)

2.1) กลุ่มแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืช (extracellular plant growt promoting rhizobacteria, ePGPR) เป็นกลุ่มแบคทีเรีย พีจีพีอาร์ที่อาศัยอยู่บริเวณผิวรากพืช (rhizoplane) อาศัยอยู่รอบรากพืช (rhizosphere) หรือช่องว่างระหว่างเซลล์ของผิวรากพืช (root cortex) ได้แก่ *Arthrobacter Azotobacter Azospirilum Bacillus Burkholderia Caulobacter Chromobacter Erwinia Pseudomonas* และ *Serratia* เป็นต้น (Ahemad and Kibret, 2014)

2.2 กลุ่มแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่อาศัยอยู่ในเซลล์รากพืช (intracellular plant growth promoting rhizobacteria, iPGPR) ได้แก่ *Allorhizobium Bradyrhizobium Mesorhizobium Frankia* และ *Rhizobium* (Bhattacharyya and Jha, 2012)

3) จีนัสและสปีชีส์ของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในประเทศไทย

3.1) ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตโดยภาครัฐ

3.1.1) ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

- ปุ๋ยชีวภาพพด.12 จุลินทรีย์ที่ใช้อยู่ในจีนัส *Azotobacter* คือ *A. chroococcum*

3.1.2) ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชของกรมวิชาการเกษตร

- ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 สำหรับข้าวโพด ข้าวฟ่าง จุลินทรีย์ที่ใช้ คือ *A. brasilense A. vinelandii* และ *B. mobilis* (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

- ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 2 สำหรับข้าว จุลินทรีย์ที่ใช้คือ *A. brasilense* และ *B. vietnamiensis* (สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรที่ 4., 2563)

- ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 3 สำหรับอ้อย มันสำปะหลัง จุลินทรีย์ที่ใช้คือ *A. brasilense* และ *Gluconacetobacter diazotrophicus*. *s* (สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรที่ 4., 2563)

3.2) ผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชผลิตโดยเอกชน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์พีจีพีอาร์ เป็นแบคทีเรีย *Azotobacter* spp. ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของภาคเอกชนที่ขึ้นทะเบียน (รายละเอียดในบทที่ 7)

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2556. **เทคโนโลยีชีวภาพทางดิน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ปุ๋ยชีวภาพและผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2545. **ปุ๋ยชีวภาพ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2557**. การตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

___. 2550**. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. พิมพ์ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

___. 2546**. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. พิมพ์ครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธนวิตต ตียาพันธ์, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม และ รัตญา ยานะพันธุ์. 2557. การประเมินการตรึงไนโตรเจนโดยเอนโดไฟท์ติคแบคทีเรียในอ้อยด้วยวิธีสมดุลไนโตรเจน. **วารสารนเรศวรพะเยา** 7: 151 - 159.

ธนากร แสงสง่า. 2557. พีจีพีอาร์: บทบาทในการส่งเสริมและป้องกันพืชภายใต้สภาวะเครียด. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 22: 553 - 570.

ฐาปนี กาญจนพฤฒิพงศ์, สนั่น จอกลอย และ โสภณ บุญลือ. 2557. ชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและผลต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของแก่นตะวัน(*Helianthus tuberosus* L.) ในดินไม่อบฆ่าเชื้อภายใต้การทดลองในกระถาง, น. 402 – 409. ใน **การประชุมวิชาการ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 4**. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นงลักษณ์ แหวนวิเศษ, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล, ชลิดา เล็กสมบูรณ์ และ เรวัต เลิศฤทัยโยธิน. 2550. อิทธิพลของเชื้อแบคทีเรียเอนโดไฟท์ต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมเอนไซม์บางชนิดในอ้อย, น. 80 - 89. ใน **การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 4.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

นภาพร คงตุก และ จรัสลักษณ์ เพชรวัง. 2560. การคัดแยกเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากสวนพริกไทยในจังหวัดนครศรีธรรมราชและสุราษฎร์ธานี. **แก่นเกษตร** 1: 481 – 486.

นิคม จึงอยู่สุข. 2543. ซิลิคอน (Si) ธาตุอาหารเสริมสำหรับการบริหารจัดการระบบการเพิ่มผลผลิตเกษตรกรรมแบบยั่งยืน, น. 21 - 27. ใน **การประชุมเสนอผลงาน กธ. และฝึกอบรมประจำปีงบประมาณ 2542**. กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.

นาฏยา แพทย์พิทักษ์, ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก และ พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2555. การสำรวจประชากรเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาบริเวณเขตรากไผ่ในพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ป่าธรรมชาติ, น. 2302 - 2310. ใน **การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

บุษราพร. ไชยพันธ์. 2562. การสำรวจปริมาณของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร ในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังจังหวัดชลบุรี. **วารสารดินและปุ๋ย** 41: 24 - 33.

ปิยะ ดวงพัตรา. 2556. สารปรับปรุงดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พนิดา ปรีเปรมโมทย์, พิกุล เกตุชาญวิทย์ และ ดวงใจ วัยเจริญ. 2556. การสำรวจความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่ป่าไม้ภาคใต้ของประเทศไทย. **แก่นเกษตร** 41 ฉบับพิเศษ. 2: 103 - 112.

พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. **ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนที่ 7 ก. วันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2551.**

พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2556. บทบาทของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อพืช ดิน และสิ่งแวดล้อม. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 2: 91 - 101.

พิกุล เกตุชาญวิทย์ และ พนิดา ปรีเปรมโมทย์. 2557. การสำรวจและศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่เกษตรอินทรีย์ภาคใต้ของประเทศไทย. **รายงายในวิจัยฉบับสมบูรณ์.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เพิ่มพูน กีรติกสิกร. 2542. กลไกและลักษณะการตรึงโบรอนในดิน. **ดินและปุ๋ย.** 21: 173 - 183.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. **เคมีดิน.** คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

เมธาวีการณ์ พรหมลา และ โสภณ บุญลือ. 2554. ชนิดและผลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของอ้อย, น. 16 - 22. ใน **การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2554**. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558ก. ไนโตรเจนของข้าว, น. 241 - 260. ใน ยงยุทธ โอสถสภา, บรรณาธิการ. **ดิน ธาตุอาหาร และปุ๋ยข้าว**. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

____. 2558ข. ฟอสฟอรัสของข้าว, น. 261 - 275. ใน ยงยุทธ โอสถสภา, บรรณาธิการ. **ดิน ธาตุอาหาร และปุ๋ยข้าว**. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

____. 2558ค. โพแสเซียมของข้าว, น. 275 – 92. ใน ยงยุทธ โอสถสภา, บรรณาธิการ. **ดิน ธาตุอาหาร และปุ๋ยข้าว**. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

____. 2558ง. จุลธาตุของข้าว (ส่วนที่ 2), น. 345 – 374. ใน ยงยุทธ โอสถสภา, บรรณาธิการ. **ดิน ธาตุอาหาร และปุ๋ยข้าว**. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

___, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรรัตน์ เครือสุวรรณ์ และ อรินทิพย์ ธรรมชัยพิเนต. 2556. สมบัติการส่งเสริมการเจริญของพืชจากแอคติโนมัยซีสและแบคทีเรียเอนไดไฟต์ที่แยกจากอ้อยและการส่งเสริมการเจริญของข้าวโพด, น. 423 - 423. ใน **การประชุมวิชาการพันธุศาสตร์แห่งชาติ ครั้งที่ 18**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิณีนาถ กานตารัมภ์. 2548. **ปริมาณและกิจกรรมของซิลิเกตแบคทีเรียสายพันธุ์พื้นเมืองในดินและการตอบสนองของสตรอเบอรี่ต่อการใส่หัวเชื้อซิลิเกตแบคทีเรียที่มีการผลิตเป็นการค้า ณ อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, ชัยสิทธิ์ ทองจู และ แสงดาว เขาแก้ว. 2559. **มลพิษทางดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2562. **ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่ผ่านการรับรองจากกรมวิชาการเกษตรในท้องตลาด**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ**.**

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรที่ 4. 2563. **การผลิตและการใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์**. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/oard5/?p=631, 2 กรกฎาคม 2563.

หนึ่ง เตียอำรุง. 2554. **แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน.** สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อรุณ ชาญชัยเชาว์วิวัฒน์, สุวินัย เกิดทับทิม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. 2559. การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในระบบเกษตรกรรมแบบยั่งยืน. **ว.หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อเพื่อการเรียนรู้.** 7: 2. 398 - 413.

Ahemad, M. and M. Kibret. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. **J. King Saud Univ. Sci.** 26: 1 - 20.

Alori, E.T., B.R. Glick and O.O. Babalola. 2017. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Front. Microbiol.** 8: 1 - 8.

Asea, P.E.A., R.M.N. Kucey and J.W.B. Stewart. 1988. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture and soil. **Soil Biol. Biochem**. 20: 459 - 464.

Asghari, H.R. 2008. Vesicular-arbuscular (VA) mycorrhizae improve salinity tolerance in preinoculation subterranean clover (*Trifolium subterraneum*) seedlings. **Int. J. Plant Prod**. 2: 243 - 256.

Bagyalakshmi, B., P. Ponmurugan and A. Balamurugan. 2017. Potassium solubilization, plant growth promoting substances by potassium solubilizing bacteria (KSB) from southern Indian tea plantation soil. **Biocat. Agric. Biotechnol.** 12: 116 - 124.

Barker, S.J., B. Stummer, L. Gao, I. Dispain, P.J. O'Connor and S.E. Smith. 1998. A mutant in *Lycopersicon esculentum* Mill, with highly reduced VA mycorrhizal colonization: isolation and preliminary characterisation. **Plant J.** 15: 791 - 797.

Bending G.D., M.K. Turner, F. Rayns, M.C. Marx and M. Wood. 2004. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. **Soil Biol. Biochem**. 36: 1785 - 1792.

Bhattacharyya, P.N. and D.K. Jha. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World J. Microbiol. Biotechnol.** 28: 1327 - 1350.

Blamey F.P.C. and D.G. Edwards. 1988. Effects of aluminum, OH : Al and P : Al molar ratios and ionic strength on soybean root elongation in solution culture. **Soil Sci.** 136, 197 - 207.

Carrenho, R., S.F. Botelho Trufem, V.L. Ramos Bononi and E.S. Silva. 2007. The effect of different soil properties on arbuscular mycorrhizal colonization of peanuts, sorghum and maize. **Acta. Bot. Bras**. 21(3): 723 – 730.

Cassan, F. and M. Diaz-Zorita. 2016. *Azospirillum* sp. in current agriculture: from the laboratory to the field. **Soil Biol. Biochem.** 103: 117 - 130.

Chandra, K., S. Greep, P. Ravindranath and R.S.H. Sivathsa. 2005. **Liquid Biofertilizer**. Regional center for Organic farming Hebbal. Bangalore, India.

Chitra, K. and P.S. Sharavanan. 2014. Studies on potassium solubilizing bacteria from southern Indian tea soils. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**. 3: 1045 - 1052.

Clark, C.C. 2002. **Geogrophic Information Systems and Environmental Modeling**. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Clarson, D. 2004. **Potash Fertilizer for Ecofriendly Agriculture**. Agro-clinic and research center, Kottayam.

Coles, N. and S. Trudgill. 1985. The movement of nitrate fertilizer from the soil surface to drainage water by preferential flow in weakly structured soil. **Agric.Ecosyst. Environ**. 13: 241 - 259.

de Matos Nogueira, E., F. Vinagre, H.P. Masuda, C. Vargas, V.L.M. de Pádua, F.R. da Silva, R.V. dos Santos, J.I. Baldani, P.C.G. Ferreira and A.S. Hemerley. 2001. Expression of sugarcane genes induced by inoculation with *Gluconacetobacter diazotrophicus and Herbaspirillum rubrisubalbicans*. **Genet**. **Mol. Biol.** 24: 199 - 206.

Declerck, S., J.M Risede and B. Delvaux. 2002. Greenhouse response of micro-propopagated bananas inoculated with in vitro monoxenically produced arbuscular mycorrhizal fungi. **Scientia Horti culturae** 93: 301 - 309.

Deepa C., S. Dastager and A. Pandey. 2010. Plant growth - promoting activity in newly isolated *Bacillus thioparus* (NII-0902) from Western forest, India. **World J. Microbiol Biotechnol**. 26(12): 2277 - 2283.

Delvasto, P., A. Valverde, A. Ballester, J.A. Munoz, F. Gonzalez, M.L. Blazquez, J.M. Igual and C. Garcia-Balboa. 2008. Diversity and activity of phosphate bioleaching bacteria from a high - phosphorus iron ore. **Hydrometallurgy** 92: 124 - 129.
different soil properties on arbuscular mycorrhizal colonization of peanuts, sorghum

Djodjic, F., K. Borling and L. Bergstrom. 2004. Phosphorus leaching in relation to soil type and soil phosphorus content. **J. Environ. Qual.** 33: 678 - 684.

El-Shaikh, M. 2009. Enhancing fresh and seed yield of okra and reducing chemical phosphorus fertilizer via using VA - mycorrhizal inoculants. **World J. agri. Sci.** 5: 810 - 818.

Evelin, H., R. Kapoor and B. Giri. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. **Ann Bot**. 104: 1263 - 1281.

Fageria, N.K. 1991. Response of cowpea to phosphorus on an Oxisol with special reference to dry matter production and mineral ion contents. **Trop. Agric.** 68: 384 - 388.

Feng, Y., D. Shen and W. Song. 2006. Rice endophyte *Pantoea agglomerans* YS 19 promotes host plant growth and affects allocations of host photosynthates. **J. Appl. Microbiol**. 100: 938 - 945.

Fernandez, V., M. Khayet, P. Montero-Prado, J.A. Heredia-Guerrero, G. Liakoloulos, G. Karabourniotis, V. Del Río, E. Domínguez, I. Tacchini, C. Nerín, J. Val and A. Heredia. 2011. New insights into the properties of pubescent surfaces: peach fruit as model. **Plant Physiol**. 156: 2098 - 2108.

Fuentes - Ramirez, L. and J. Caballero - Mellado. 2005. Bacterial biofertilizers, pp. 143 - 172. In Z.A. Siddiqui, ed. **PGPR: Biocontrol and Biofertilization.** Springer, Dordrecht.

Gaur, A.C., M. Madan and K.P. Ostwal. 1973. Solubilization of phosphatic compounds by native microflora rock phosphates. **Indian. J. Exp. Biol**. 11:427-429

Guntzer, F., C. Keller and J.D. Meunier. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review**. Agron. Sustain. Develop**. 32: 201 - 213.

Gupta, G., S. S. Parihar, N.K. Ahirwar, S.K. Snehi and V. Singh. 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. **J. Microb. Biochem. Technol.** 7: 96 - 102.

Gyaneshwar, P., E.K. James, N. Mathan, P.M. Reddy, B. Reinhold-Hurek and J.K. Ladha. 2001. Endophytic colonization of rice by a diazotrophic strain of *Serratia marcescens*. **J. Bacteriol.** 183: 2634 – 2645.

Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers: an Introduction to Nutrient Management**. Prentice-Hall, Inc., NJ.

Haynes, R.J. 1984. Lime and phosphate in the plant-soil system. **Adv Agron**. 37: 249 - 315.

Hazen, T.C., L. Jimenez and G.L. Victoria. 1991. Comparison of bacteria from deep subsurface sediment and adjacent groundwater. **Microbiol. Ecol.** 22: 293 - 304.

James, E. K., P. Gyaneshwar, N. Manthan, W.L. Barraquio, P.M. Reddy, P.P.M. Ianetta, F.L. Olivares and J.K. Ladha. 2002. Infection and colonization of rice seedlings by the plant growth-promoting bacterium *Herbaspirillum seropedicae* Z67. **Mol. Plant Microbe Interact**. 15: 894 - 906.

Kang, B.G., W.T. Kim, H.S. Yun and S.C. Chang. 2010. Use of plant growth-promoting rhizobacteria to control stress responses of plant roots. **Plant Biotech. Reports**. 4: 179 - 183.

Kucey, R.M.N. 1983. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. **Can. J. Soil Sci.** 63: 671 - 678.

___. 1987. Increased phosphorus uptake by wheat and field beans inoculated with a arbuscular mycorrhizal fungi. **J. Appl. Environ. Microbiol.** 53: 2699 - 2703.

Kumar, K., A.K. Pant, S.K. Prasad and K. Prasad. 2013. Bio-fertilizer for organic agriculture. **Pop. Kheti**. 1: 91 - 96.

Ladha, J. K. and P. M. Reddy. 1995. Extension of nitrogen fixation to rice necessity and possibilities. **Geo. J.** 35: 363 - 372.

Leaungvutiviroj, C., S. Piriyaprin, P. Limtong and K. Sasaki. 2010. Relationships between soil microorganisms and nutrient contents of *Vetiveria zizanioides* (L) Nash and *Vetiveria nemoralis* (A.) Camus in some problem soils from Thailand. **Appl. Soil Ecol**. 46: 95 - 102.

Liermann, L.J., B.E. Kalinowski, S.L. Brantley and J.G. Ferry. 2000. Role of bacterial siderophores in dissolution of horn blende. **Geochim. Cosmochim. Acta**. 64: 587 - 602.

Liu, D., B. Lian and H. Dong. 2012 Isolation of *Paenibacillus* sp. and assessment of its potential for enhancing mineral weathering. **Geomicrobiol. J.** 29: 413 - 421.

McCray, J.M., R.W, Rice, L.V. Ezenwa, T.A. Lang and L. Beucum. 2013. **Sugarcane Plant Nutrient Diagnosis**. Agronomy Department, Florida.

McDowell, R., S. Sinaj, A. Sharpley and E. Frossard. 2001. The use of isotopic exchange kinetics to assess phosphorus availability in overland flow and subsurface drainage waters. **Soil Sci**. 166: 365 – 373.

Mursyida, E., N. R. Mubarik and A. Tjahjoleksono. 2015. Selection and identification of phosphate - potassium solubilizing bacteria from the area around the limestone mining in cirebon quarry. **Res. J. Microbiol**. 10: 270 - 279.

Nadeema, S.M., B. Shaharoona, M. Arshad and D.E. Crowley. 2012. Population density and functional diversity of plant growth promoting rhizobacteria associated with avocado trees in saline soils. **Appl. Soil Eco.** 62: 147 - 154.

Nilnond, C., N. Panapitukkul, J. Nualsri, W. Pantanahiran, R.L. Aitken and C.J. Asher. 1986. Soil fertility assessment in southern Thailand, pp. 887 - 888. In **Transactions XIII Congress of the International Society of Soil Science**. Madison, Wiscons.

Paul, F.A. and F.E. Clark. 1989. **Soil Microbiology and Biochemistry**. Academic Press, New York.

Perez-Montano, F., C. Alías-Villegas, R.A. Bellogín, P. delCerro, M.R. Espuny, I. Jimenez-Guerrero, F.J. Lopez-Baena, F. J.Ollero and T. Cubo. 2014. Plan growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: from microorganism capacities to crop production. **Microbiol. Res.** 169: 325 - 336.

Qin, H., Z. Quan, X. Liu, M. Li, Y. Zong, J. Wu and W. Wei. 2010. Phosphorus status and risk of phosphate leaching loss from vegetable soils of different planting years in suburbs of Changsha, China**. Agr. Sci. China** 9: 1641 - 1649.

Reis, V.M., K.R.S. Teixeira and R.O. Pedraza. 2011. Chapter 6 what Is expected from the genus *Azospirillum* as a plant growth - promoting bacteria, pp. 123-138. In D.K. Maheshwari, ed. **Bacteria in Agrobiology: Plant Growth Responses**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Rice, R.W., R.A. Gilbert and J.M. McCray. 2010. **Nutritional Requirements for Florida Sugarcane**. Agronomy Department, Florida.

Rillig, M.C. 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Can J Soil**. 84: 355 - 363.

Rodrigues, A.C., A. Bonifacio, FF. de Araujo, M.A.L. Junior and M.V.B. Figueiredo. 2015. *Azospirillum* sp. as a challenge for agriculture, pp 29 - 51. In D.K. Maheshwari, ed. **Bacterial Metabolites in Sustainable Agroecosystem**. Springer.

Rogers, K. 2004. **Mangrove and Saltmarsh Surface Elevation Dynamics in Relation to Environmental Variables in Southeastern Australia**. University of Wollongong, Wollongong.

Sanchez, P.A. 1976. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. John Wiley and Sons, New York.

Santi, C., D. Bogusz and C. Franche. 2013**.** Biological nitrogen fixation in non-legume plants. **Ann. of Bot**. 111: 743 - 767.

Sanyal, S.K. and S.K. De Datta. 1991. Chemistry of phosphorus transformations in soil**. Adv. Soil Sci.** 16: 1 - 120.

Scragg, A. H. 2005. **Environmental Biotechnology** 2nd ed. Oxford University Press, New York.

Sekhar, D.M.R. and N.C. Aery. 2001. Phosphate rock with farmyard manure as P fertilizer in neutral and weakly alkaline soils. **Curr. Sci.** 80: 1113 - 1115.

Sharma, S.B., R.Z. Sayyed, M.H. Trivedi and T.A. Gobi. 2013. **Phosphate Solubilizing Microbes: Sustainable Approach for Managing Phosphorus Deficiency in Agricultural Soils.** Springer Plus.

Sheng, X.F. and L.Y. He. 2006. Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. **Can. J. Microbiol.** 52: 66 – 72.

___, F. Zhao, L.Y. He, G. Qiu and L. Chen. 2008. Isolation and characterization of silicate mineral – solubilising *Bacillus globisporus* Q12 from the surfaces of weathered feldspar. **Can. J. Microbiol.** 54:1064 – 1068.

Shilev, S. 2013. Soil rhizobacteria regulating the uptake of nutrients and undesirable elements by plants, pp. 147 - 50. In N.K. Arora, ed. **Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances**. Springer, India

Singleton, P.W. and J.W. Tavares. 1986. Inoculation response of legumes in relation to the number and effectiveness of indigenous *Rhizobium* populations. **Appl. Environ. Microbiol**. 5: 1013 - 1018.

Sivasakthivelan, P. and P. Saranraj. 2013. *Azospirillum* and its formulations: a review. **Int. J. Microbiol. Res**. 4: 275 - 287.

Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. **Mycorrhizal Symbiosis.** 2nd ed. Academic Press, London.

SSSA. 2008**. Glossary of Soil Science Terms**. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.

Sugumaran, P. and B. Janarthanam. 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. **World J. Agri. Sci.** 3: 350 - 355.

Sujatha, N. and K. Ammani. 2013. Siderophore production by the isolates of fluorescent *Pseudomonads.* **Int. J. Cur. Res. Rev**. 5: 1 - 7.

Ullaman, W.J., D.L Kirchman and W.A. Welch. 1996. Laboratory evidence by microbially mediated silicate mineral dissolution in nature. **Chem. Geo.** 132: 11 - 17.

Vandevivere, P., S.A. Welch, W.J. Ullman and D.J. Kirchman. 1994. Enhanced dissolution of silicate minerals by bacteria at near neutral pH. **Microb. Ecol**. 27: 241 - 251.

Vasanthi, N., L.M. Saleena and S.A. Raj. 2018. Silica solubilization potential of certain bacterial species in the presence of different silicate minerals. **Silicon** 10: 267 - 275.

Vigo, C., J.R. Norman and J.E Hooker. 2000. Biocontrol of the pathogen *Phytophthara parasitica* by arbuscular mycorrhizal fungi is a consequence of effects on infection loci. **Plant pathol.** 49: 509 - 514.

Viveros, O.M., M.A. Jorquera, D.E. Crowley, G. Gajardo and M.L. Mora. 2010. Mechanism and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. **J. Soil Sci. Plant Nutri.** 10: 293 - 319.

Welch, R.M., J.J. Hart, W.A. Norvell, L.A. Sullivan and L.V. Kochian. 1999. Effects of nutrient solution zinc activity uptake, translocation, and root export of cadmium and zinc by separated sections of intact durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum) seedling roots. **Plant Soil.** 208: 243 - 250.

Welch, S. and W. Ullman 1992. The effect of organic acids on plagioclase dissolution rates and stoichiometry. **Geochim. Cosmochim. Acta** 57: 2725 - 2736.

บทที่ 5

ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในดิน

การเจริญและเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในดินนั้น ปัจจัยด้านอาหารและสิ่งแวดล้อมถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลกับการเจริญของจุลินทรีย์ในดินทั้ง ชนิด ปริมาณ การกระจายของจุลินทรีย์ และกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ที่อาศัยในดินจะต้องปรับตัว และสามารถแข่งขันให้กับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อยู่ในดิน เพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ในดินได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญหรือดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ได้แก่ ความชื้น อากาศ อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง อินทรียวัตถุ และสารอนินทรีย์ในดิน (Brady and Weil, 2002; Alexander, 1977)

5.1 ความชื้นในดิน

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในดินรวมทั้งจุลินทรีย์ (Walker *et al*., 2003) ซึ่งน้ำเป็นองค์ประกอบหลักของโปรโตพลาสซึม เป็นตัวทำละลายเพื่อนำสารต่างๆ ที่เป็นประโยชน์เข้าสู่เซลล์ และนำเอาสารประกอบเคมีบางอย่างที่เซลล์ไม่ต้องการออกจากเซลล์ น้ำยังเป็นสิ่งสำคัญในการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง hydrolytic enzyme และน้ำในดินยังเป็นปัจจัยที่ควบคุมกลไกการแลกเปลี่ยนก๊าซในดิน โดยเฉพาะการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนระหว่างเซลล์ของแบคทีเรียกับอากาศในดิน โดยน้ำจะอยู่ในช่องว่างของดินซึ่งมีความสัมพันธ์กับอากาศในดิน ถ้าดินที่มีความชื้นสูงปริมาณออกซิเจนในดินก็จะลดลงซึ่งจะมีผลต่อจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน ทำให้จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศเจริญขึ้น (Jha *et al*., 1992) อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ในดินแต่ละชนิดมีระดับความชื้นของดินที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตที่ต่างกันไป สำหรับแบคทีเรียต้องการความชื้นมากกว่าแอคติโนมัยซีสและเชื้อรา โดยแอคติโนมัยซีสและเชื้อราสามารถทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีกว่าแบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนจะเจริญได้ดีที่ความชื้น 50 - 75 เปอร์เซ็นต์ ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (water holding capacity; WHC) แอคติโนมัยซีสจะเจริญได้น้อยหรือไม่เจริญที่ความชื้น 85 - 100 เปอร์เซ็นต์ ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน เชื้อราเจริญได้ดีที่ความชื้น 27 เปอร์เซ็นต์ ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน เป็นต้น (Borowik and Wyszkowska, 2016)

5.2 การระบายอากาศของดิน

การระบายอากาศเป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นต่อการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน เนื่องจากการระบายอากาศส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนและค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (redox potential) ของดิน (Glinski and Stepniewski, 1985) ซึ่งมีผลต่อชนิดของตัวรับอิเล็กตรอนที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ในกระบวนการสร้างพลังงาน โดยก๊าซที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ คือ ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ (MacDonald and Kimmerer, 1993) โดยเชื้อราส่วนใหญ่เจริญได้ดีในดินที่มีการระบายอากาศดี ทั้งนี้เพราะเชื้อราเป็นพวกกลุ่มที่ต้องการอากาศ (strictly aerob) มีส่วนน้อยเท่านั้นที่เป็นกลุ่มที่ไม่ต้องการอากาศ (anaerobe) เชื้อราจึงพบเป็นจำนวนมากบริเวณผิวดินที่มีความลึกไม่มากนัก ดินที่มีน้ำท่วมฉับพลัน เชื้อราจะถูกยับยั้งการเจริญ และจะสามารถเจริญเป็นปกติเมื่อน้ำแห้งไปจากดิน ในการจำแนกจุลินทรีย์ตามความต้องการอากาศนั้น สามารถแบ่งจุลินทรีย์ออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ (Moore, 1999)

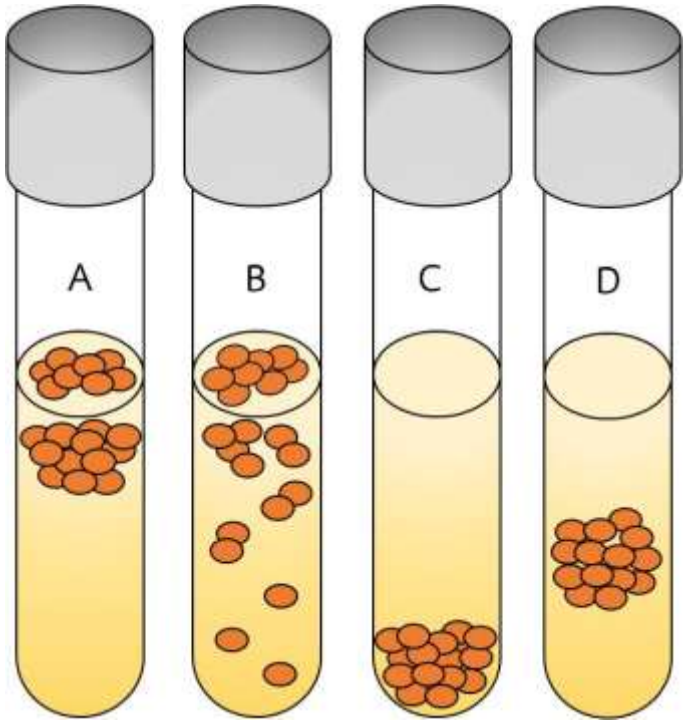
5.2.1 จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (aerobic microorganisms หรือ aerobes) มีความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้สร้างพลังงาน เนื่องจากไม่สามารถสร้างพลังงานโดยกระบวนการหมัก (fermentation) ได้

จึงถือว่าเป็นพวกที่ต้องการออกซิเจนอย่างแท้จริง (obligate aerobes) ได้แก่ *Bacillus Pseudomonas* เป็นต้น ซึ่งในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะเลี้ยงในอาหารที่มีการเขย่า หรือเลี้ยงในภาชนะที่มีพื้นที่ผิวมากให้สัมผัสกับอากาศ หรืออาจอัดอากาศลงไปในอาหาร

5.2.2 จุลินทรีย์ที่เจริญในที่มีออกซิเจนหรือไม่มีก็ได้ (facultative microorganisms) กลุ่มนี้สามารถสร้างพลังงานได้จากกระบวนการหายใจหรือกระบวนการหมัก และไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในการสังเคราะห์ต่างๆ เช่น *Escherichia Proteus* และ *Enterobacter* เป็นต้น

5.2.3 จุลินทรีย์ที่เจริญในที่มีออกซิเจนน้อย (microaerophilic microorganisms) กลุ่มนี้มีความต้องการออกซิเจนน้อยกว่า 0.2 บรรยากาศ อาจเนื่องจากออกซิเจนเป็นพิษต่อจุลินทรีย์เหล่านั้น เช่น *Lactobacillus และ Neisseria* เป็นต้น

5.2.4 จุลินทรีย์ที่เจริญในที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic microorganisms) เพราะออกซิเจนรวมกับน้ำเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งมีความเป็นพิษ และจุลินทรีย์พวกนี้ไม่มีเอนไซม์คาตาเลส ได้แก่ *Clostridium Methanobacterium Bacteroides* และ *Fusobacterium* เป็นต้น



ภาพที่ 5.1 ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรีย (A: aerobic microorganisms: B: facultative microorganisms; C: anaerobic microorganisms; D: microaerophilic microorganisms)
ที่มา : Moore, 1999

5.3 อุณหภูมิดิน

อุณหภูมิส่งผลถึงการเจริญของจุลินทรีย์และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน โดยจะเกี่ยวข้องกับอัตราการทำงานของเอนไซม์และปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ โดยทั่วไปสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงจะกระตุ้นกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เมื่ออุณหภูมิสูงก็จะทำให้กิจกรรมจุลินทรีย์สูง ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนจึงทำให้กิจกรรมจุลินทรีย์สูงทำให้เร่งการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดินอย่างรวดเร็วกว่าในประเทศในเขตหนาว (Chen *et al*., 2015) แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิสูงเกินไปก็จะมีผลยับยั้งการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์มีความต้องการอุณหภูมิเพื่อการเจริญที่แตกต่างกัน แบคทีเรียสามารถเติบโตได้ในช่วงกว้าง (วิลาวัณย์, 2539) ส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25 - 40 องศาเซลเซียส แต่มีบางกลุ่มสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ และมีบางกลุ่มเจริญได้ดี (ถึงแม้จะช้า) ที่อุณหภูมิ 0 - 15 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่จุลินทรีย์เจริญได้จะอยู่ระหว่างอุณหภูมิสูงสุด (maximum temperature) และอุณหภูมิต่ำสุด (minimum temperature) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญ เรียกว่า อุณหภูมิเหมาะสม (optimum temperature) เช่น *P. fluorescens* เจริญที่อุณหภูมิสูงสุด 40 องศาเซลเซียส ต่ำสุด 4 องศาเซียลเซียส และอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 25 - 30 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 5.1) อุณหภูมิทั้งสามชนิดนี้เรียกว่าอุณหภูมิคาร์ดินัล (cardinal temperature) (ปรีชา และ นงลักษณ์, 2541)

ตารางที่ 5.1 ช่วงอุณหภูมิในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

แบคทีเรีย	อุณหภูมิในการเจริญ ($^{\circ}$C)		
	ต่ำสุด	เหมาะสม	สูงสุด
P. fluorescens	4	25 - 30	40
Staphylococcus aureus	6.5	30 - 37	46
Thiobacillus thiooxidans	10	28 - 30	37
Micrococcus luteus	10	30	45
L. plantarum	15	30 - 35	45
Corynebacterium diphtherine	15	37	40
Streptococcus thermophilus	20	40 - 45	50
Thermoactinomyces vulgaris	27 - 30	60	65 - 70
Neisseria gonorrhoeae	30	35 - 36	38.5
Thermus aquaticus	40	70 - 72	79

ที่มา : ปรีชา และ นงลักษณ์, 2541

การจำแนกจุลินทรีย์ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญสามารถแบ่งจุลินทรีย์ออกเป็น 3 กลุ่ม (บัญญัติ, 2525) ดังนี้

5.3.1 ไซโครไฟล์ (psychrophile) เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ที่ 0 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 15 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า พวกนี้จัดเป็นไซโครไฟล์ที่แท้จริง (obligate psychrophile) อุณหภูมิสูงสุดที่เจริญคือ 30 องศาเซลเซียส แต่บางพวกมีช่วงอุณหภูมิเหมาะสมระหว่าง 25 - 30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดในการเจริญ คือ 35 องศาเซลเซียส จึงจัดเป็นแฟคัลเตตีฟ

ไซโครไฟล์ (facultative psychrophile) หรือ ไซโครโทรฟ (psychrotroph) ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่พบแบคทีเรียกลุ่มนี้ในดิน ส่วนที่พบนั้นมักจะเป็นพวกมีโซไฟล์ที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำ (cold - tolerant mesophiles) ตัวอย่าง ไซโครฟิลิกแบคทีเรีย (psychrophilic bacteria) เช่น *Pseudomonas Achromobacter Flavobacterium* และ *Micrococcus* เป็นต้น

5.3.2 มีโซไฟล์ (mesophile) เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ที่อุณหภูมิปานกลางระหว่าง 25 - 40 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิต่ำสุดที่จะเจริญได้ที่ 5 - 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเหมาะสมที่ 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดที่เจริญได้คือ 43 องศาเซลเซียส แบคทีเรียในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มนี้ ตัวอย่างมีโซฟิลิกแบคทีเรีย (mesophilic bacteria) เช่น *Neisseria Salmonella* และ *Vibrio* เป็นต้น

5.3.3 เทอร์โมไฟล์ (thermophile) เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ที่อุณหภูมิสูงระหว่าง 45 - 60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเหมาะสมอยู่ระหว่าง 50 - 55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่เจริญได้อยู่ระหว่าง 60 - 85 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะพบจำนวนน้อยในดิน ตัวอย่างเทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย (thermophilic bacteria) ได้แก่ *Bacilus Clostridium Thermoactinomyces Methanobacterium* เทอร์โมไฟล์บางพวกเจริญได้ในช่วงของมีโซไฟล์ จึงเรียกว่า แฟคัลเตตีฟเทอร์โมไฟล์ (facultative thermophile) หรือยูริเทอร์โมไฟล์ (eurithermophile) บางพวกเจริญที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส เรียกว่า เทอร์โมไฟล์แท้จริงหรือสติโนเทอร์โมไฟล์ (stenothermophile)

ตารางที่ 5.2 Thermophilic bacteria และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ

สกุล/กลุ่ม	อุณหภูมิ (°C)
Phototrophic bacteria	
- *Cyanobacteria*	55 - 70
- *Purple bacteria*	55 - 60
- *Green bacteria*	70 - 73
Grarm-positive bacteria	
- *Bacillus*	50 - 70
- *Clostridium*	50 - 75
- *Lactic acid bacteria*	50 - 65
- *Actinomycetes*	55 - 75
Other Eubacteria	
- *Thiobacillus*	50 - 60
- *Spirochete*	54
- *Desulfotomaculum*	37 - 55
- *Gramm-negative aerobes*	50 - 75
- *Gramm-negative anaerobes*	50 - 75
Archaebacteria	
- *Methanogens*	55 - 95
- *Sulfur - dependent*	55 - 110
- *Thermoplasma*	37 - 55

ที่มา : Brock, 1986

5.4 ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

โดยทั่วไปแบคทีเรียจะเจริญได้ดีในดินที่มีความเป็นกรดเป็นด่างที่เป็นกลางคือ 6.0 - 7.5 ในดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงจะพบแอคติโนมัยซีสมากกว่าแบคทีเรีย เชื้อราจะเจริญได้ดีในดินที่มีสภาพความเป็นกรดมากกว่าสภาพด่าง โดยความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมคือ 5 แต่อาจเจริญได้ที่ความเป็นกรดเป็นด่างมากกว่า 7 จึงจัดเป็นพวกชอบกรดไม่แท้จริง (facultative acidophile) นอกจากจุลินทรีย์นี้บางกลุ่ม ได้แก่ *Thiobacillus Sulfolobus* และ *Thermoplasma* เจริญได้ทีความเป็นกรดเป็นด่างต่ำมากๆ คือ ความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 2 เรียกว่า กลุ่มที่ชอบกรดอย่างแท้จริง (obligate acidophile) ส่วนจุลินทรีย์บางกลุ่มชอบสภาพแวดล้อมที่มีความเป็นกรดเป็นด่างมากกว่า 7 จึงจัดเป็นกลุ่มชอบด่าง (alkaliphile) เช่น เชื้อ *Vibrio cholerae* สามารถเจริญที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 8 ได้ (Rogers *et al*., 2019)

5.5 อินทรียวัตถุ และสารอนินทรีย์ในดิน

ดินที่ใช้ในการทำการเกษตร โดยทั่วไปมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีปริมาณธาตุอาหารต่ำ โดยเฉพาะอินทรียวัตถุซึ่งจุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน นอกจากนี้อินทรียวัตถุและอนินทรีย์สาร เป็นสารอาหารที่สำคัญที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญและดำเนินกิจกรรมของเซลล์ (Persson *et al*., 1980) เพราะสารดังกล่าวเป็นทั้งแหล่งไนโตรเจน แหล่งคาร์บอน แหล่งของพลังงาน เป็นปัจจัยเสริมการเจริญ รวมทั้งเป็นตัวให้และตัวรับอิเลคตรอน จึงเป็นปัจจัยที่ควบคุมปริมาณและชนิดต่างๆ ของแบคทีเรียให้เกิดความหลากหลาย แต่เมื่อปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำจะมีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ (Dornbush *et al*., 2007) โดยจุลินทรีย์จะปรับตัวให้สอดคล้องกับภาวะขาดแคลนอาหารในดิน จุลินทรีย์บางกลุ่มก็จะอยู่ในสภาพพักตัวหรือมีการปรับลดอัตราเมทาบอลิซึมของเซลล์ให้อยู่ในระดับต่ำ เพื่อให้สมดุลอยู่กับปริมาณอาหารที่เหลือน้อยและย่อยสลายยาก รูปแบบการดำรงชีพอยู่ในภาวะขาดแคลนอาหารแบบนี้เรียกว่า oligotrophy ซึ่งเป็นรูปแบบของการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ดินที่แตกต่างไปจากการอยู่ในดินบริเวณใกล้รากพืช ซึ่งจุลินทรีย์จะได้รับสารอาหารที่ถูกปล่อยจากรากพืชตลอดเวลา กิจกรรมและปริมาณจุลินทรีย์ในบริเวณรากจึงสูงอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ในดินที่มีปริมาณธาตุอาหารและอินทรียวัตถุสูงจะพบแบคทีเรียและเชื้อราในดินมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากแบคทีเรียและเชื้อราเจริญได้เร็วกว่า โดยการแบ่งกลุ่มแบคทีเรียโดยอาศัยความต้องการสารอาหารที่เป็นแหล่งของพลังงาน (energy source) หรือแหล่งคาร์บอน (carbon source) เพื่อการเจริญและดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ ได้ 2 ประเภท ได้แก่ (วีรานุช, 554)

5.5.1 Heterotrophic microorganisms เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ต้องการสารอาหารอินทรีย์เคมีเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน เช่น โปรตีน อนุพันธ์ของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น โดยจุลินทรีย์ที่ได้พลังงานมาจากการออกซิเดชันของสารอินทรีย์ทั้งแบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส เชื้อรา และโปรโตซัว ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในดินและเป็นจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดกระบวนการสำคัญในดิน เช่น การย่อยสลายอินทรียวัตถุ การสร้างสารฮิวมิก (humification) กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (denitrification) การตรึงไนโตรเจน และการเกิดก๊าซมีเทน (methanogenesis) เป็นต้น ดังนั้นปริมาณหรือความเป็นประโยชน์ของสารอินทรีย์ในดินจึงเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์เหล่านั้น (Dornbush *et al*., 2007) เชื้อราต้องการแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนเป็นอินทรีย์สาร จึงไม่มีความสามารถในการสังเคราะห์อาหารเพื่อเสริมสร้างการเจริญให้แก่ตัวเองได้ การดำเนินชีวิตของเชื้อราจึงต้องเป็นแบบ saprophyte หรือ parasite ดังนั้น สิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในดินจึงมีอิทธิพลต่อชนิดของเชื้อราและการเจริญของเชื้อราเหล่านั้น สภาวะแวดล้อมภายนอกเหล่านั้น

ได้แก่ ปริมาณของอินทรียวัตถุ ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยอนินทรีย์ที่เติมลงในดิน เป็นต้น โดยอินทรียวัตถุที่เพิ่มให้กับดิน เช่น เศษพืช ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก จะทำให้ปริมาณของเชื้อราแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นได้อย่างมาก ทั้งยังทำให้เชื้อราบางชนิดเจริญได้ดี เช่น *Aspergillus Trichoderma Penicillim Mucor* และ *Fusarium* (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

5.5.2 Autotrophic bacteria เป็นกลุ่มแบคทีเรียได้รับพลังงานจากการออกซิเดชั่นของสารประกอบอนินทรีย์ (inorganic compounds) หรือจากแสงอาทิตย์ และต้องการสารประกอบอนินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งของคาร์บอน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น แม้ว่าจะมีปริมาณในดินไม่มากเหมือนกับกลุ่ม heterotroph แต่จุลินทรีย์กลุ่มนี้ก็พบในสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยทั่วไปของดินและทำให้เกิดกระบวนการสำคัญที่มีผลกระทบต่อการแปรสภาพแร่ธาตุต่างๆ หลายชนิด เช่น กระบวนการไนทริฟิเคชัน (nitrification) การออกซิไดส์เหล็ก (iron oxidation) การออกซิไดส์กำมะถัน (sulfur Oxidation) และการออกซิไดส์ไฮโดรเจน (hydrogen oxidation) พลังงานที่ได้จากการออกซิเดชันของสารอนินทรีย์ จุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการเจริญไม่มากเหมือนกับที่ได้จากสารอินทรีย์รวมทั้งปริมาณของสารอนินทรีย์ในดินที่จะใช้เป็นแหล่งของพลังงานก็มีไม่มาก การเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มนี้จึงไม่สูงมากและไม่เปลี่ยนแปลงรวดเร็วเหมือนกับพวกที่ใช้สารอินทรีย์แต่ก็เป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นเรื่อยๆ และค่อนข้างสม่ำเสมอโดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะที่ดินมีสภาพการระบายอากาศที่ดี โดยสามารถแบ่งกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้เป็น 2 ประเภท คือ photoautotrophic bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานโดยตรง (Fenchel *et al*., 2012) ซึ่งได้แก่ กลุ่มแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (photosynthetic bacteria) และอีกประเภท คือ chemoautotrophic bacteria หมายถึง แบคทีเรียกลุ่มที่สามารถใช้พลังงานจากกระบวนการออกซิเดชั่น หรือการแปรรูปสารประกอบอนินทรีย์ของธาตุบางชนิด

5.6 ระบบนิเวศดินของไทยที่เอื้อและเป็นอุปสรรคต่อการใช้ปุ๋ยชีวภาพ

5.6.1 ระบบนิเวศดินของไทยที่เอื้อต่อการใช้ปุ๋ยชีวภาพ

นิเวศดิน ประกอบไปด้วย สิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต ซึ่งจะพึ่งพาอาศัยเกื้อกูล แก่งแย่งซึ่งกันและกัน สัตว์ในดินมีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมมาก เพราะการที่สัตว์ในดินจะดำรงชีวิตอยู่ได้ต้องมีสภาพแวดล้อมในดินเหมาะสม ได้แก่ อาหาร ความชื้น อุณหภูมิ อากาศ ลักษณะและสมบัติของดิน ถ้าสภาพแวดล้อมเหล่านี้เหมาะสม การเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของสัตว์ในดินซึ่งรวมทั้งจุลินทรีย์ดินก็จะเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว (นงคราญ, 2549) จากปัจจัยดังกล่าวที่ส่งผลต่อจุลินทรีย์ดินนั้น เมื่อพิจารณาการใช้ปุ๋ยชีวภาพซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่ใส่ลงไปในดินเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ในนิเวศดินของประเทศไทยที่เอื้อต่อการใช้ให้เกิดประโยชน์ตามสมบัติของปุ๋ยชีวภาพ มีดังนี้

1) สมบัติของดิน

สมบัติของดินทั้งลักษณะทางกายภาพและชีวภาพมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Critter *et al*., 2002; Popelarova *et al*., 2008) โดยดินเนื้อละเอียดหรือดินเหนียวจะมีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่าดินเนื้อหยาบ เนื่องจากจะสามารถรักษาความชื้นในดินได้ดีกว่า (Heritage *et al*., 2003) สำหรับดินในภาคกลางของไทยมีเนื้อดินเป็นพวกดินเหนียวหรือดินทรายแป้งละเอียด จึงเอื้อต่อการใช้จุลินทรีย์รวมทั้งปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้ถ้าพิจารณาถึงปริมาณธาตุอาหารในดินโดยเฉพาะไนโตรเจน (ประเมินจากปริมาณอินทรียวัตถุในดิน) จะมีปริมาณต่ำ โดยทั่วไปจะเป็นข้อจำกัดในการเจริญเติบโตของพืช แต่กลับเป็นปัจจัยที่มีผลทำปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจนเกิดกิจกรรมได้ดี (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

2) สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศทั้งอุณหภูมิ และความชื้นมีผลต่อการดำรงอยู่ของจุลินทรีย์ดิน ทั้งชนิด ปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ดังนั้นสภาพภูมิอากาศจึงมีส่วนกำหนดชนิดของปุ๋ยชีวภาพที่ใช้ในพื้นที่การเกษตร Jennifer and Amelie (2018) ได้มีการศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพในพื้นที่ปลูกข้าวโพด โดยพบว่าตัวแปรหนึ่งที่มีส่วนกำหนดชนิดปุ๋ยชีวภาพคือสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์ผลิตสารเสริมการเจริญเติบโต จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต จุลินทรีย์ผลิตสารซิเดอโรฟอร์ จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำงานได้ดีในเขตสภาพภูมิอากาศอบอุ่นจนถึงร้อนชื้น ดังนั้นประเทศไทยจึงมีสภาพภูมิอากาศที่เอื้อต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ

3) การทำเขตกรรม

พื้นที่การเกษตรในประเทศไทยที่มีระบบการทำเขตกรรมแตกต่างกัน จะส่งผลต่อการใช้ปุ๋ยชีวภาพที่แตกต่างกัน เนื่องจากชนิด และปริมาณของจุลินทรีย์ ทั้งปริมาณมวลชีวภาพคาร์บอน และมวลชีวภาพไนโตรเจนของจุลินทรีย์ เช่น การปลูกพืชหมุนเวียน การปลูกพืชปุ๋ยสด และการใช้อินทรียวัตถุเพื่อปรับปรุงดิน การไถพรวนดิน ระบบการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน เป็นต้น (Campbell *et al.,* 1991) ซึ่งหน่วยงานภาครัฐได้มีโครงการส่งเสริมให้เกษตรกรปรับปรุงบำรุงดินโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ก็จะช่วยในการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน และเป็นการส่งเสริมระบบนิเวศดินให้เอื้อต่อการใช้ปุ๋ยชีวภาพอีกทางหนึ่ง เช่น การส่งเสริมการทำเกษตรอินทรีย์ เกษตรผสมผสาน เกษตรทฤษฎีใหม่ ก็จะช่วยทำให้สมบัติดินเหมาะแก่การอยู่อาศัย และการเจริญของจุลินทรีย์ดิน เนื่องจากเพิ่มการอุ้มน้ำ การระบายน้ำและอากาศ แร่ธาตุอาหารในดินที่เป็นประโยชน์ และปริมาณสารเคมีที่ตกค้างในดินมีไม่มากพอที่จะทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในดิน

5.6.2 ระบบนิเวศดินของไทยเป็นอุปสรรคต่อการใช้ปุ๋ยชีวภาพ

1) สมบัติของดิน

ดินเนื้อหยาบจะมีมวลชีวภาพของจุลินทรีย์น้อยกว่าดินเนื้อละเอียด ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการรักษาความชื้นในดิน และความแห้งแล้ง ดังนั้นการใช้ปุ๋ยชีวภาพในดินที่มีเนื้อดินทรายก็จะเป็นข้อจำกัดในการเจริญของจุลินทรีย์ในดินมากกว่าดินเนื้อละเอียด ซึ่งดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีเนื้อดินเป็นดินทรายหรือดินร่วนทราย มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้ปุ๋ยชีวภาพ อย่างไรก็ตามการปรับปรุงบำรุงดินด้วยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ก็จะช่วยลดอุปสรรคดังกล่าว นอกจากนี้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินก็มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพส่วนใหญ่จะจัดอยู่ในกลุ่ม heterotrophic microorganisms ที่ต้องการสารอาหารอินทรีย์เคมีเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุในดินของประเทศไทยจัดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ จึงเป็นอีกอย่างหนึ่งที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้ปุ๋ยชีวภาพ

2) ดินปัญหา

การใช้ปุ๋ยชีวภาพในพื้นที่ดินปัญหา เช่น ดินเปรี้ยวจัด ดินกรด ดินเค็ม และดินทราย เป็นต้น รวมทั้งพื้นที่การเกษตรที่มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและมีการปนเปื้อนสารพิษตกค้างในดิน ยกตัวอย่างเช่น ดินเค็มจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในดิน เนื่องจากความเค็มจะส่งผลต่อแรงดันออสโมติกซึ่งมีอิทธิพลต่อการสร้างสปอร์ การงอกของสปอร์ การเจริญ การพัฒนาของเส้นใย และการตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรียก็จะต่ำลง (อัจฉราวดี และคณะ, 2559) ดังนั้นการใช้ปุ๋ยชีวภาพจำเป็นต้องคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ทนต่อสภาพความเค็มของดิน ซึ่งจัดเป็นกลุ่ม halophyte (Caravaca *et al*., 2005) นอกจากนี้ดินเปรี้ยวจัด ดินกรด และพื้นที่ดินพรุในประเทศไทย ซึ่งจากปัญหาความเป็นกรดของดิน

จะส่งผลกระทบทำให้กิจกรรมจุลินทรีย์ลดลงเมื่อดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 6 โดยเฉพาะแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ เช่น ไรโซเบียม แต่อย่างไรก็ตาม มีการใช้เชื้อราไมคอร์ไรซาในพื้นที่ดินกรดซึ่งสามารถทนความเป็นกรดได้ดีกว่าแบคทีเรีย (Sulliwan and Lewis, 2017)

3) ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในท้องถิ่น

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ก่อให้เกิดระบบนิเวศที่มีความแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ ส่งผลให้เกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์มีกระดูกสันหลังและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์ (วิไลลักษณ์ และ สุรชัย 2560) ดังนั้นการใช้ปุ๋ยชีวภาพลงไปในดินที่มีความหลากหลายของจุลินทรีย์สูงอาจจะมีผลต่อการแข่งขัน และจะต้องมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถเจริญแข่งขันและเกิดกิจกรรมในพื้นที่นั้นๆ ได้ ซึ่งการคัดเลือกจุลินทรีย์ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพอาจจะต้องคำนึงถึงปัจจัยนี้ด้วย (Mazid and Khan, 2014)

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2551. **คู่มือการจัดการอินทรียวัตถุเพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพื่ออุดมสมบูรณ์ของดิน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2558. **สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ปุ๋ยชีวภาพและผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

นงคราญ กาญจนประเสริฐ. 2549. **ทรัพยากรดิน.** สำนักพิมพ์แม็ค, กรุงเทพฯ.

บัญญัติ สุขศรีงาม. 2525. **จุลชีววิทยาทั่วไป.** พิมพ์ครั้งที่2. โอเอสพรินติ้งเฮาส์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

ปรีชา สุวรรณพินิจ และ นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ. 2541. **จุลชีววิทยาทั่วไป.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล. 2539. แหล่งจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนสู่อาหาร, นน. 4 - 7. ใน **จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญด้านอาหาร**. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

วิไลลักษณ์ สวนมะลิ และ สุรชัย มูลมวล. 2560. การศึกษาปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมันสิทในดินปลูกกล้วยไข่ ตำบลสระแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 4: 71 - 77.

วีรานุช หลาง. 2554. **จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อัจฉราวดี เครือภักดี, ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย และ นฤมล แก้วจำปา. 2559. ความหลากหลายของไส้เดือนดินในระบบนิเวศนาข้าวในพื้นที่ดินเค็มระดับต่าง ๆ ต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์.** 3: 41 - 47.

Borowik , A. and J. Wyszkowska. 2016. Soil moisture as a factor affecting the microbiological and biochemical activity of soil. **Plant Soil Environ**. 62: 250 - 255.

Alexander, M. 1977. **Introduction to Soil Microbiology.** 2nd ed. Wiley Eastern Limnited, New Delhi.

Brady, N. C. and R. R. Weil. 2002. **The nature and property of soils 13th ed.** Upper Saddle River, New Jersey.

Brock, T.D. 1986. Introduction: an overview of thermophiles, pp. 1 - 16. In T.D. Brock, ed. **Thermophiles General, Molecular and Applied Microbiology**. John Wiley and Sons, New York.

Campbelll, C.A., V.O. Biederbeckl, R.P. Zentnerl and G.P. Lafond. 1991. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin black chernozem. **Can. J. Soil Sci**. 71: 363 - 376.

Caravaca, F., M.M. Alguacil, P. Torres and A. Roldán. 2005. Plant type mediates rhizospheric microbial activities and soil aggregation in a semiarid Mediterranean salt marsh. **Geoderma** 124: 375 - 382.

Chen, J., Y. Luo, J. Xia, L. Jiang, X. Zhou, M. Lu, J. Liang, Z. Shi, S. Shelton and J. Cao. 2015. Stronger warming effects on microbial abundances in colder regions. **Sci. Rep.** 5: 1 - 10.

Critter, S., S. Freitas and C. Airoldi. 2002. Comparison between microorganism counting and a calorimetric method applied to tropical soils. **Thermochim. Acta**. 394: 133 - 144.

Dornbush, M. E. 2007. Grasses, litter, and their interaction affect microbial biomass and soil enzyme activity. **Soil Biol. Biochem.** 39: 2241 - 2249.

Fenchel, T., G.M. King and T.H. Blackburn. 2012. **Bacterial Metabolism**. Bacterial Biogeochemistry. 3rd. Academic press, London.

Glinski, J. and W. Stepniewski. 1985. **Soil Aeration and Its Role for Plants**. CRC, Boca Raton.

Heritage, J., E. Evans and R. Killington. 2003. **Microbiology in Action.** Cambridge University Press, Cambridge.

Jennifer, E.S. and C.M.G. Amelie. 2018. What is the agronomic potential of biofertilizers for maize a meta-analysis. **FEMS. Microbiol. Ecol**. 94: 1 - 9.

Jha, D.K., G.D. Sharma and R.R. Mishra. 1992. Soil microbial population numbers and enzyme activities in relation to altitude and forest degradation. **Soil Biol. Biochem**. 24: 761 - 767.

MacDonald, R.C. and T.W. Kimmerer. 1993. Metabolism of transpired ethanol by eastern cottonwood (*Populus deltoides*). **Plant Physiol**. 102: 173 - 179.

Mazid, M. and T. Ahmed Khan. 2014. Future of bio-fertilizers in Indian agriculture: an overview. **Int. J. Agric.Food Res**. 3: 10 - 23.

Moore, G.S. 1999. **Foodborne Illness. Living with the Earth Electronic Resource: Concepts in Environmental Health Science**. Lewis Publishers Boca Raton, FL.

Persson, T., E. Baath, M. Clarholm, H. Lundkvist, B. Soderstrom and B. Sohlenius. 1980. Trophic structure, biomass dynamics and carbon metabolism of soil organisms in a Scots pine forest. **Ecol. Bull.** 32: 419 - 459.

Popelarova, E., K. Vorisek and S. Strnadova. 2008. Relations between activities and counts of soil microorganisms. **Plant Soil Environ**. 54: 163 - 170.

Rogers, K. and R.J. Kadner. 2019**. Bacteria.** Available source. https://www.britannica.com/ science/ bacteria/Physical-requirements, June 29 2020.

Sulliwan, T.S. and R.W. Lewis. 2017. **Soil Acidity Impacts Beneficial Soil Microorganism**. WSU, Washington.

Walker, T.S., H.P Bais., E. Grotewold and J.M. Vivanco. 2003. Root exudation and rhizosphere biology. **Plant Physiol**. 132: 44 - 51.

บทที่ 6

กิจกรรมและกลไกของจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ

กิจกรรมและกลไกของจุลินทรีย์ดิน เป็นกระบวนการต่างๆ ทางชีวเคมีที่จุลินทรีย์มีบทบาทเกี่ยวข้องในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การย่อยสลายอินทรียวัตถุ ซึ่งเป็นกระบวนการแปรรูปธาตุอาหารให้เป็นประโยชน์ต่อพืช การสร้างฮอร์โมนพืช และการช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร เป็นต้น การที่จุลินทรีย์เหล่านี้เกิดกิจกรรมต่างๆ ได้ต้องมีอาหารเพื่อก่อให้เกิดพลังงาน ซึ่งส่วนใหญ่จะได้มาจากอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในดิน (นันทกร, 2536)

6.1 กิจกรรมของไรโซแบคทีเรีย (rhizobacteria)

6.1.1 ชนิดของไรโซแบคทีเรีย

ไรโซแบคทีเรีย คือ กลุ่มของเชื้อแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืชภายในเซลล์ เรียกว่า แบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ (endophytic bacteria) กลุ่มที่อาศัยอยู่บริเวณผิวภายนอกพืช หรือ เรียกว่า แบคทีเรียอีพิไฟต์ (epiphytic bacteria) และกลุ่มที่อาศัยร่วมกับพืชบริเวณรอบราก หรือ ไรโซสเฟียร์แบคทีเรีย (rhizosphere bacteria) (Kloepper *et al*.,1991) โดยไรโซสเฟียร์เป็นดินบริเวณที่อยู่ติดกับรากพืชและเป็นส่วนของดินที่ยังยึดติดกับรากพืชหลังจากเขย่ารากเพื่อกำจัดดินส่วนเกินให้หลุดออกไป (Alexander, 1977) ซึ่งดินบริเวณนี้เป็นเขตรากพืชที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมในระยะห่างอย่างน้อย 1 หรือ 2 มิลลิเมตร นับจากผิวราก เขตรากพืชนี้มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน เนื่องจากสารขับจากรากพืชนั้นมีลักษณะเป็นสารคัดเลือกเพื่อควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยอาจจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิด หรือสร้างสารกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิด ซึ่งเรียกว่า ไรโซสเฟียร์เอฟเฟค (rhizosphere effect) ทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์ในดินกับรากพืช (Mitling, 1993; ศุภมาศ, 2529) ซึ่งจุลินทรีย์บริเวณไรโซสเฟียร์จะมีมากกว่าบริเวณที่ไม่มีรากพืช สำหรับชนิดของไรโซแบคทีเรีย มีดังนี้

1) แบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ เป็นแบคทีเรียที่ใช้ชีวิตทั้งหมดหรือบางช่วงอยู่ในเนื้อเยื่อพืชแล้วให้ประโยชน์แก่พืชอาศัยโดยไม่ทำอันตรายหรือก่อให้เกิดโรคแก่พืช แบคทีเรียที่อาศัยอยู่ภายในเนื้อเยื่อของพืชที่มีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกับพืชและได้รับประโยชน์ในแง่มีการแข่งขัน แย่งแหล่งคาร์บอนหรืออาหารน้อย และพืชอาศัยช่วยป้องกันสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ให้แก่แบคทีเรีย (Reinhold-Hurek and Hurek, 1998) จุลินทรีย์เอนโดไฟต์ ประกอบด้วย แบคทีเรีย เชื้อรา และ แอคติโนไมซิสต์ จากการศึกษาแบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ในพืชโดยใช้วิธีทางชีววิทยาระดับโมเลกุล พบว่ามีความหลากหลายทางสปีชีส์ของแบคทีเรียเอนโดไฟต์ในพืช และยังพบว่าแบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต ยับยั้งจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืช ละลายฟอสเฟต และยังช่วยหาไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ให้กับพืช (assimilable nitrogen) (de Matos Nogueira *et al*., 2001) ตัวอย่างแบคทีเรียเอ็นโดไฟต์ที่ทำหน้าที่ในการให้ไนโตรเจนแก่พืช ได้แก่ *Serratia marcesens* อาศัยอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (Jame *et al*., 2000; Ladha *et al*., 1995) และ aerenchyma ของราก ใบ และลำต้นข้าว (Gyaneshwar *et al*., 2001) นอกจากนี้ยังพบว่ามีแบคทีเรียเอ็นโดไฟต์บางกลุ่มช่วยในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้โดยช่วยให้พืชหลั่งฮอร์โมนไปสู่พื้นผิวราก ทำให้เพิ่มการดูดซึมธาตุอาหาร โดยมีรายงานว่า *Herbaspirillum seropedicae* Z67 (James *et al*., 2002) *Herbaspirillum* sp. B501 (Zakria *et al*., 2007) *S. marcescens* IRBG500 (Gyaneshwar *et al*., 2001) *H. seropedicae* และ

Burkholderia spp. (Baldani *et al*., 2001) ส่งผลให้น้ำหนักของผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นมากกว่าตำรับควบคุม และมีการพบ *Pantoea agglomerans* YS19 สามารถตรึงไนโตรเจนในอาหาร N free medium และผลิตฮอร์โมนพืช (ออกซิน กรดแอบไซซิก จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน) ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอาศัยได้ (Feng, 2006) นอกจากนี้ ยังมีการใช้แบคทีเรียเอ็นโดไฟต์เพื่อยับยั้งจุลินทรีย์สาเหตุโรคในข้าวและพืชอื่นๆ (Mukhopadhyay *et al*., 1996; Padgham *et al*., 2005

2) แบคทีเรียอีพิไฟต์ เป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ที่ผิวนอกของส่วนต่างๆ ของพืชและมีบทบาทในการสงเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Lindow and Brandl, 2003; Nongkhlaw and Joshi, 2014) จากผลการศึกษาของ โชคชัยและคณะ (2559) การคัดแยกแบคทีเรียอีพิไฟต์ พบว่า แบคทีเรียจำนวน 62 สายพันธุ หรือ 66.67 เปอรเซนตคือ แบคทีเรียในไฟลัม *Proteobacteria* ซึ่งประกอบไปด่วยสกุล *Acidovorax Acinetobacter Aquabacter Azospirillum Bosea Burkholderia Dyella Enterobacter Novosphingobium Pantoea Pseudoduganella Pseudomonas Rhizobium Sphingobium Sphingomonas Starkeya* และ *Xanthobacter* แบคทีเรียจำนวน 26 สายพันธุ หรือ 27.95เปอร์เซ็นต์ ถูกจัดอยู่ในไฟลัม *Actinobacteria* และจัดอยู่ในสกุลตางๆ ไดแก *Brevibacterium Microbacterium Micrococcus Mycobacterium* และ *Williamsia* แบคทีเรียจำนวน 3 สายพันธุ ถูกจัดอยู่ในไฟลัม *Firmicutes* และอยู่ในสกุล *Bacillus* และแบคทีเรียจำนวน 2 สายพันธุ ถูกจัดอยู่ในไฟลัม *Bacteroidetes* และอยู่ในสกุล *Chryseobacterium* และ *Flavobacterium* สำหรับการศึกษาการใช้แบคทีเรีย *M. yannici* G72 ที่ คัดแยกมาจากรากของ *Arabidopsis thaliana* ชวยใหต่นพืชดังกลาวมีขนาดใหญขึ้นและมีกานชอดอกที่ยาวขึ้น (Schwachtje *et al*., 2012) แบคทีเรีย *Sphingomonas* sp. S21 ซึ่งคัดแยกไดจากต่นข่าวทำให่ต่นกลาข้าวมีความสูงและน้ำหนักแห่งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุมควบคุม (Adhikari *et al.,* 2001) เป็นต้น

3) ไรโซสเฟียร์แบคทีเรีย เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่พบในบริเวณอาณาเขตรากพืช ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียกลุ่มส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เป็นแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์สามารถสร้างสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชได้ แบคทีเรียกลุ่มนี้มีการนำมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรมาเป็นเวลานานแล้ว เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช กระตุ้นการเจริญของพืชโดยการผลิตฮอร์โมนพืช ช่วยควบคุมและยับยั้ง กิจกรรมของเชื้อก่อโรคพืช และปรับปรุงโครงสร้างดิน ซึ่งบริเวณไรโซสเฟียร์รากพืชจะมีการปล่อยสารเมแทบอไลต์ที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมออกจากรากของพืชไปสู่ดิน สารเมแทบอไลต์เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล คาร์โบไฮเดรต วิตามิน โปรตีน และกรดอินทรีย์ สารต่าง ๆ ที่หลั่งออกมาจากรากพืชนั้นจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งอาหารในการเจริญเติบโต เช่น สารที่หลั่งออกมาจากรากข้าวโพดทำให้ *P. fluorescence* ที่อยู่บริเวณไรโซสเฟียร์ของรากข้าวโพดมีการสังเคราะห์ฮอร์โมน ออกซินในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น (Gloria and Mendonca - Hagler, 2006)

6.1.2 กิจกรรมและบทบาทสำคัญของไรโซแบคทีเรีย

ไรโซแบคทีเรียจะมีกลไกในการสงเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางตรงและทางอ่อม กลไกทางตรงมีหลายรูปแบบ เชน การเพิ่มการละลายของสารประกอบฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินเพื่อให้พืชสามารถดูดซับและนำไปใชได การผลิตสารซิเดอโรฟอรที่เข่าจับกับธาตุเหล็กเพื่อชวยใหพืชสามารถไดรับแรธาตุนี้เพิ่มขึ้น และการผลิตอินโดล - 3 - อะซีติกแอซิด ซึ่งเปนฮอรโมนในกลุมออกซินที่มีความสำคัญในแงของการกระตุ่นการขยายขนาดของเซลล การเจริญเติบโต และการพัฒนาของพืช มีรายงานวาการใสแบคทีเรียเหลานี้ให่กับต่นพืชทำให่การเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้น เชน การใช่แบคทีเรีย *Herbaspirillum*

และ *Burkholderia* ที่เพิ่มการละลายฟอสฟอรัสได้ทำให้ต้นข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้น 14 - 26 เปอรเซ็น (Estrada *et al*., 2012) หรือการใช้แบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ เช่น *Bacillus Pseudomonas Serratia Klebsiella Paenibacillus* และ *Microbacterium* ที่สามารถสังเคราะห์ฮอรโมนออกซิน เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของข้าว เป็นต้น (Ji *et al*., 2014) ในทางตรงกันข้ามแบคทีเรียสามารถสงเสริมการเจริญเติบโตของต้นพืช ในทางอ้อมได้โดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในพืชทั้งจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรียและฟังไจ (Glick, 2012) ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับแบคทีเรียเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรมเป็นอย่างมาก สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ของไรโซแบคทีเรียกับไรโซสเฟียร์หรือบริเวณรอบรากพืชนั้น รากพืชจะมีการสังเคราะห์ สะสม และหลั่งสารประกอบต่างๆ ที่มีคุณสมบัติในการดึงดูดจุลินทรีย์จำนวนมาก ทำให้เกิดความหลากหลายของชนิดจุลินทรีย์ และเกิดโครงสร้างสังคมจุลินทรีย์ สารประกอบเหล่านี้ เรียกว่า root exudates (ตารางที่ 6.1) (Dakora and Phillips, 2002) ซึ่งมีความสำคัญต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดิน โดยอนุพันธุ์อินทรีย์ขนาดเล็กที่ได้จากพืชเหล่านี้จุลินทรีย์จะใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน และโมเลกุลของสารบางชนิดพืชจะนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 6.1 สารประกอบ root exudates จากพืชชนิดต่าง

ประเภทสารประกอบ	ชนิดของ root exudates
กรดอะมิโน	a - alanine, b - alanine, asparagines, aspartate, 129ysteine, glutamate, glycine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, serine, threonine, proline, valine, tryptophan, ornithine, histidine, arginine, homoserine, phenylalanine, c- aminobutyric acid, a - aminoadipic acid
กรดอินทรีย์	citric acid, oxalic acid, malic acid, fumaric acid, succinic acid, acetic acid, butyric acid, valeric acid, glycolic acid, piscidic acid, formic acid, aconitic acid, lactic acid, pyruvic acid, glutaric acid, malonic acid, tetronic acid, aldonic acid, erythronic acid
น้ำตาล	glucose, fructose, galactose, ribose, xylose, rhamnose, arabinose, desoxyribose, oligosaccharides, raffinose, maltose
วิตามิน	biotin, thiamin, pantothenate, riboflavin, niacin
เพียวรีน/ นิวคลีโดไทด์	adenine, guanine, cytidine, uridine
เอนไซม์	acid/alkaline-phosphatase, invertase, amylase, protease
อนินทรีย์ไอออน และ ก๊าซ	HCO_3^- , OH^-, H^+ CO_2, H_2

ที่มา : ดัดแปลงจาก Dakora and Phillips, 2002

6.2 ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน

6.2.1 จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน

1) การตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (Symbiotic nitrogen fixation)

การตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันเป็นการตรึงก๊าซไนโตรเจนของจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกับพืชในลักษณะที่ต่างฝ่ายต่างก็ได้รับประโยชน์จากการอาศัยอยู่ร่วมกัน เช่น การดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันระหว่างไรโซเบียมกับพืชตระกูลถั่ว หรือการมีชีวิตอยู่ร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์อื่นบางชนิดกับพืชอย่างอื่นที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว ซึ่งแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์จะให้สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนแก่พืช ส่วนพืชจะเป็นผู้ให้แหล่งของคาร์บอน และแหล่งของพลังงานแก่จุลินทรีย์ การตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันนั้นมีความสำคัญและที่มีการศึกษากันมากที่สุด คือ การตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรียจีนัส *Rhizobium* ซึ่งมีชีวิตอยู่ร่วมกันกับพืชตระกูลถั่วในส่วนของรากถั่ว โดยแบคทีเรียจะเข้าสู่รากของถั่วแล้วทำให้เกิดปมที่ราก (root nodule) ดังนั้น จึงเรียกสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดต่างกันและอยู่ร่วมกันแบบนี้เป็น 2 อย่าง คือ พืชตระกูลถั่ว ซึ่งมีขนาดใหญ่เรียกว่า macrosymbiont และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหรือแบคทีเรีย เรียกว่า microsymbiont (Hirsch *et al*, 1992)

1.1) Macrosymbiont คือ พืชอื่นหรือพืชตระกูลถั่วที่มีบทบาทสำคัญในการอยู่ร่วมกับจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนได้ สำหรับพืชตระกูลถั่วเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ (dicotyledonous plant) ที่จัดอยู่ใน family *Leguminosae* ประกอบด้วย ถั่วชนิดต่างๆ มากกว่าหมื่นสปีชีส์ แต่มีประมาณ 200 สปีชีส์เท่านั้นที่คนเรานิยมปลูกกันและถั่วที่นิยมปลูกกันเหล่านี้ส่วนใหญ่จัดอยู่ใน subfamily *Papilinoidae* ซึ่งได้แก่ ถั่วในจีนัส *Phaseolus Crotalaria Melilotus Madicago Dalea Lotus Trifolium Lathyrus Pisum Vigna* และ *Vicia* ส่วนพวกที่จัดไว้ใน Subfaily *Caesalpinoidae* และ *Mimosoidae* มีจำนวนไม่มากที่นิยมนำมาปลูกกัน

1.2) Microsymbiont คือ แบคทีเรียที่เจริญอยู่ในปมรากพืชตระกูลถั่ว ซึ่งได้มีการแยกเชื้อบริสุทธิ์จากปมราก แล้วให้ชื่อแบคทีเรียชนิดนี้ว่า *B. radicicola* ต่อมาได้ใช้ชื่อใหม่เป็น *R. leguminosarum* ซึ่งชื่อสกุล *Rhizobium* นี้ได้ใช้ติดต่อกันมาจนถึงปัจจุบันเชื้อ *Rhizobium* เป็นแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นท่อน เมื่อเจริญอยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อในห้องปฏิบัติการ แต่ถ้าเจริญอยู่ภายในปมรากถั่วจะมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปได้หลายรูปร่าง ซึ่งเรียกว่า pleomorphic forms หรือ bacteroids เช่น อาจมีรูปร่างเป็นท่อนตรงไม่แตกแขนง (rods) รูปร่างเป็น club - shaped pear - shaped X - shaped Y - shaped T - shaped Star - shaped และ coccoids ติดสีย้อมแบบแกรมลบ เซลล์ไม่สร้างเอนโดสปอร์ มีขนาดความกว้าง 0.5 - 0.9 ไมครอน และความยาวเซลล์ 1.2 - 3.0 ไมครอน

2) การเกิดปมรากและการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียม

ไรโซเบียมที่มีอยู่เดิมในดินหรือจากการใส่เชื้อลงไปในดิน จะตอบสนองต่อสารอินทรีย์หลายชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ และอะโซฟลาโวนอยด์ที่ถูกขับออกมาจากรากถั่ว ซึ่งจะกระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์หลายชนิด ในส่วนของไรโซเบียมที่อยู่แนบชิดกับรากพืชสารดังกล่าวจะกระตุ้นกลุ่มยีนที่ควบคุมกระบวนการเกิดปมของไรโซเบียมให้ผลิตเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารพวกลิโปโพลีแซ็กคาไรด์ ซึ่งจำเป็นสำหรับการกระตุ้นการเกิดและพัฒนาปมรากของพืช รากถั่วตอบสนองต่อสารพวกลิโปโพลีแซ็กคาไรด์ โดยเพิ่มจำนวนขนราก ม้วนหรืองอปลายขนราก จากนั้นไรโซเบียมก็แทรกตัวเข้าไปในรากพืช โดยสร้างท่อผ่านเซลล์เป็นเส้นทางสำหรับการแทรกเข้าไปในเซลล์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวและคอร์เทกซ์ ท่อผ่านเซลล์จะแตกแขนงคล้ายเส้นใยของราและแทรกเข้าไปในเซลล์ของคอร์เทกซ์ โดยเซลล์ในคอร์เทกซ์จะแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็วและมีขนาดของเซลล์โตขึ้นจนกลายเป็นปมรากที่สมบูรณ์ จากนั้นเซลล์ไรโซเบียม

จะถูกปลดปล่อยออกจากท่อผ่านเซลล์เข้าไปอยู่ในไซโตพลาซึมโดยมีเยื่อห่อหุ้มโดยรอบ ซึ่งไรโซเบียมจะแบ่งเซลล์จำนวนมากในเซลล์ของปมราก แล้วค่อยๆ เปลี่ยนสภาพจากเซลล์ปกติไปเป็นเซลล์พิเศษเรียกว่า แบคทีรอยด์ และเกิดเป็นปมขึ้นเนื่องจากเซลล์ของรากพืชจะสูญเสียกิจกรรมของเนื้อเยื่อเจริญคอร์เท็กซ์ที่อยู่ใกล้ๆ จะเปลี่ยนเป็นเนื้อเยื่อเจริญ ซึ่งแบคทีรอยด์จะอยู่เป็นกลุ่มๆ ตั้งแต่ 1 - 8 เซลล์ ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของปม และจะมีเอนไซม์ไนโทรจีเนสที่จะทำให้เกิดกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนอยู่ในเซลล์ด้วย สำหรับปมรากถั่วที่เกิดขึ้นนั้นจะสังเกตเห็นปมด้วยตาเปล่าในสภาพไร่นาภายใน 21 - 28 วัน (ธงชัย, 2546) ปมของรากถั่วแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน ลักษณะของปมที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีขนาดใหญ่ มีสีแดง และมักเป็นปมที่อยู่บนรากแก้วและส่วนบนของรากแขนง โดยปมที่มีสีแดงเกิดจากเล็คฮีโมโกลบินซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมปริมาณออกซิเจนไม่ให้มีผลกระทบต่อการทำงานของเอ็นไซม์ไนโทรจีเนส และจะช่วยห่อหุ้มแบคทีรอยด์ไว้ภายในปมเพื่อป้องกันอันตรายต่างๆ และสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นในการตรวจสอบเซลล์ที่มีชีวิตของไรโซเบียมนอกจากจะใช้วิธีการนับปริมาณเซลล์ไรโซเบียมในอาหารเลี้ยงเชื้อแล้ว ก็จะใช้วิธีการทดสอบการเกิดปมรากกับถั่วชนิดที่เหมาะสมอีกด้วย

3) กิจกรรมและกลไกการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน

การตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ เป็นกระบวนการรีดักชันของก๊าซไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย และมีเอนไซม์ไนโทรจีเนสในการเร่งปฏิกิริยา โดยกระบวนการตรึงไนโตรเจนเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานมาก ซึ่งในการเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนเพียง 1 โมเลกุลไปเป็นแอมโมเนียต้องใช้พลังงานอย่างน้อยที่สุดจาก ADP 16 โมเลกุล แต่โดยทั่วไปมักใช้ ATP ประมาณ 20 - 30 โมเลกุล ดังนั้นปัจจัยใดที่มีผลต่อการสังเคราะห์ ATP จึงมีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนด้วย นอกจากนี้ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนยังมีปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง รวมทั้งเหล็กและโมลิบดีนัม ซึ่งเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของเอนไซม์ไนโทรจีเนส ดังนั้นถั่วจึงต้องได้รับสองธาตุนี้อย่างเพียงพอ จึงจะมีการตรึงไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ การตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิทั่วไป สำหรับการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะสามารถตรึงไนโตรเจนได้มากกว่าจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่แบบอิสระในดิน (Glick, 2012) เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่แบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันโดยเฉพาะไรโซเบียมที่มีการสร้างปมรากถั่วนั้น ปมรากจะมีโครงสร้างภายในที่สามารถส่งผ่านคาร์โบไฮเดรตที่ถั่วสังเคราะห์แสงได้ และไรโซเบียมสามารถใช้สารอินทรีย์นั้นอย่างเพียงพอ รวมทั้งปมมีระบบการส่งไนโตรเจนที่ตรึงได้ส่วนหนึ่งไปยังส่วนบนของพืชโดยส่งผ่านเนื้อเยื่อลำเลียงของพืชซึ่งมีอยู่รอบๆ ปม นอกจากนี้ปมยังทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันอันตราย และสิ่งแวดล้อมที่จะมีผลกระทบต่อกิจกรรมการตรึงไนโตรเจน และควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อกิจกรรมดังกล่าวด้วยกระบวนการตรึงไนโตรเจนจะดำเนินไปได้โดยระบบเอนไซม์ไนโทรจีเนส ซึ่งระบบโครงสร้างของเอนไซม์มีโลหะเป็นองค์ประกอบ (Dean and Jacobson, 1992) ได้แก่ (1) ไดไนโทรจีเนส รีดักเตส (dinitrogenase reductase) ซึ่งมีเหล็กเป็นองค์ประกอบ (2) ไดไนโทรจีเนส (dinitrogenase) ซึ่งมีโลหะเป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) ซึ่งไนโทรจีเนส รีดักเตสจะรับอิเล็กตรอน จึงทำให้มีความสามารถในการรีดิวซ์สูง ส่วนไดไนโทรจีเนสจะใช้อิเล็กตรอนเหล่านี้ในการรีดิวซ์ก๊าซไนโตรเจนให้กลายเป็นแอมโมเนีย โดยระบบการตรึงไนโตรเจนมีความแตกต่างกันแบ่งออกเป็น 3 แบบ ขึ้นอยู่กับชนิดโลหะที่เป็น โคแฟกเตอร์ ได้แก่ โมลิบดีนัมไนโทรจีเนส (Mo - nitrogenase) วานาเดียมไนโทรจีเนส (V - nitrogenase) และ เหล็กไนโทรจีเนส (Fe - nitrogenase) และยังมีความแตกต่างกันของแบคทีเรียแต่ละจีนัสอีกด้วย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโคแฟกเตอร์ที่เป็นโมลิบดีนัมไนโทรจีเนส สำหรับยีนส์ซึ่งแสดงออกในกระบวนการตรึงไนโตรเจน คือ *nif* genes

เป็นยีนส์ที่พบได้ทั้งในจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่แบบอิสระในดิน และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่แบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยโครงสร้างของยีนส์ ประกอบด้วย ส่วนที่กระตุ้นการทำงานของเหล็กโปรตีน (Fe protein) การสังเคราะห์โคแฟกเตอร์ที่เป็นเหล็กและโมลิบดีนั่ม *nif* genes ปกติจะพบจำนวนคู่เบสใน cluster ประมาณ 20 - 24 kb ซึ่งมีทั้งหมด 7 operons ถอดรหัสได้โปรตีนที่แตกต่างกัน 20 ชนิด (Glick, 2012) ในระบบ โมลิบดีนัมในโตรจีเนสมีโปรตีน 2 ชนิดที่ถูกเปลี่ยนรหัสโดย *nifDK* และ *nifH* genes องค์ประกอบของ *nifDK* คือ heterotetrameric ($\alpha_2\beta_2$) โปรตีนซึ่งถูกสร้างจากสอง $\alpha\beta$ dimers ซึ่งมีโครงสร้างเป็น twofold symmetry *nifDK* ประกอบด้วย โคแฟกเตอร์ที่เป็นเหล็กและโมลิบดีนั่มอยู่ภายใน active site ของแต่ละ α-subunit (*nifD*) (Rubio and Ludden, 2008) สำหรับการทำงานของ *nif* genes ในพวกไรโซเบียมขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ต่ำของออกซิเจน ซึ่งจะถูกควบคุมโดยยีนส์อีกชุดหนึ่งที่เรียกว่า *fix* - genes จากการศึกษาของ Marroqui *et al*. (2001) ได้ศึกษาการใช้ไรโซเบียมที่มีการตัดยีนส์สำหรับสังเคราะห์ glycogen synthase พบว่า จำนวนปม และน้ำหนักแห้งของพืชเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้ไวลด์ไทป์ (wild type)

4) ปัจจัยที่มีผลต่อการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน

4.1) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน การตรึงไนโตรเจนร่วมกันระหว่างไรโซเบียมกับพืชตระกูลถั่วเกิดขึ้นระหว่างความเป็นกรดเป็นด่าง 5 - 8 ถ้าดินเป็นกรดจะมีผลต่อการมีชีวิตอยู่อย่างอิสระของไรโซเบียมในดินหรือในน้ำ และการเข้าสู่ตำแหน่งการเกิดปมของพืชโดยไรโซเบียม สำหรับแบคทีเรียที่อาศัยแบบอิสระ เจริญได้ดีในช่วงความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 6 เล็กน้อย หรือช่วงกลางถึงด่าง ยกเว้น *Azotobacter* และ *Beijerinkii* ซึ่งถ้าความเป็นกรดเป็นด่างของดินสูงหรือต่ำกว่านี้อาจจะพบอะโซโตแบคเตอร์ได้แต่มีกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนต่ำ (ธงชัย, 2546)

4.2) ความชื้น ความชื้นในดินนับว่ามีความสำคัญมากสำหรับการตรึงไนโตรเจน ถ้าในดินมีความชื้นน้อยหรือมากเกินไปจะทำให้การตรึงไนโตรเจนเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพหรือหยุดชะงัก โดยความชื้นดิน 70 เปอร์เซ็นต์ จะมีกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนสูง แต่ถ้าความชื้นสูงเกินไป เช่น 100 เปอร์เซ็นต์ หรือต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ กิจกรรมจะลดลง

4.3) อุณหภูมิ อุณหภูมิของดินมีอิทธิพลต่อการเข้าสู่ตำแหน่งการเกิดปมและการเจริญของปม โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะทำให้ไรโซเบียมเข้าสู่ตำแหน่งและทำให้เกิดปมในอัตราที่สูงที่สุด อยู่ระหว่าง 20 - 30 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีผลต่อเอนไซม์ไนโทรจีเนส ซึ่งเอนไซม์ไนโทรจีเนส จากปมรากถั่วส่วนใหญ่จะมีกิจกรรมสูงสุดอยู่ระหว่าง 20 - 30 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลงหรือหยุดชะงัก สำหรับอะโซโตแบคเตอร์บางสายพันธุ์จะเกิดกิจกรรมได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 20 - 40 องศาเซลเซียส และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส

4.4) ปริมาณธาตุอาหาร ธาตุอาหารในดินยังมีบทบาทสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อการสร้างปมและการตรึงไนโตรเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจน โดยดินที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนต่ำ ถั่วจะสร้างปมกับเชื้อไรโซเบียมได้ดีมาก และสามารถตรึงธาตุไนโตรเจนจากอากาศได้เพียงพอต่อความต้องการของพืช ในขณะที่ดินซึ่งมีปริมาณธาตุไนโตรเจนสูงจะทำให้ถั่วสร้างปมกับไรโซเบียมได้ช้าหรือไม่สร้างปมเลย รวมทั้งจะยับยั้งการสร้างเอนไซม์ไนโทรจีเนสด้วย แต่ถ้าดินขาดธาตุอาหารเหล่านี้ ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โมลิบดีนัม เหล็ก โบรอน ก็จะทำให้ปมถั่วมีขนาดเล็กลง และส่งผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียมอีกด้วย

4.5) ออกซิเจน ระดับของออกซิเจนจะมีผลต่อการตรึงไนโตรเจน ซึ่งประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนจะหยุดชะงักได้เมื่อออกซิเจนเพิ่มขึ้น โดยจะไปยับยั้งการตรึงไนโตรเจน ซึ่งออกซิเจนจะไปแย่งในการเกาะกับ terminal hydrogen acceptor

6.2.2 จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบแบบอิสระ

1) กิจกรรมและกลไกการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ

จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบแบบอิสระ ประกอบด้วย ไซยาโนแบคทีเรีย หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Nostoc Anabaena* และ *Calothrix* เป็นต้น รวมทั้งแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน เช่น *Azotobacter Beijerinckia* และ *Derxia* กลุ่มที่เจริญในที่มีออกซิเจนหรือไม่มีก็ได้ เช่น *Bacillus* และ *Klebsiella* สำหรับกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนมีทั้งที่สังเคราะห์แสงได้ เช่น *Rhodospirillum* และ *Chromatium* และที่สังเคราะห์แสงไม่ได้ เช่น *Clostridium* และ *Methanococcus* เป็นต้น สำหรับการตรึงไนโตรเจนในจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะเกิดภายในเซลล์ โดยการตรึงไนโตรเจนจะลดลงเมื่อในดินมีแหล่งไนโตรเจนอนินทรีย์ ได้แก่ แอมโมเนียม และไนเตรต (Cejudo and Paneque, 1986)สำหรับอะโซโตแบคเตอร์จะมีเอนไซม์เสริมกำลังการตรึงไนโตรเจน คือ เฟอร์ริดอกซิน ไฮโดรจีเนส (ferredoxin hydrogenase) และเอนไซม์ไนโทรจีเนส เนื่องจากการตรึงไนโตรเจนไวต่อออกซิเจนและต้องการพลังงานในรูป ATP จำนวนมาก มีการพัฒนากลไกพิเศษเพื่อป้องกันอันตรายจากออกซิเจนโดยเร่งให้มีความเข้มข้นของการเผาผลาญเพื่อลดความเข้มข้นของออกซิเจนภายในเซลล์ รวมทั้งมีโปรตีนพิเศษที่เรียกว่า เซตนา (shethna) ซึ่งป้องกันเอนไซม์ไนโทรจีเนส จากออกซิเจน (Shank *et al.,* 2005; Maier and Moshiri, 2000) ไนโทรจีเนสเป็นเอนไซม์สำคัญที่สุดของการตรึงไนโตรเจน ซึ่งอะโซโตแบคเตอร์ มีไนโทรจีเนสหลายแบบ โดยพื้นฐานทั่วไป คือ โมลิบดีนัมไนโทรจีเนส และมีไนโทรจีเนสทางเลือกอื่น ได้แก่ วานาเดียมไนโทรจีเนส ซึ่งไวต่อปฏิกิริยามากกว่าโมลิบดีนัมไนโทรจีเนสที่อุณหภูมิต่ำ โดยสามารถตรึงไนโตรเจนได้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และมีกิจกรรมสูงกว่าโมลิบดีนัมไนโทรจีเนสถึง 10 เท่า (Ruttiman *et al*, 2003) นอกจากนี้กลไกในการทำให้เกิดกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนได้ โดยการทำให้เกิดสภาพไม่มีออกซิเจนของจุลินทรีย์ มีดังนี้_(Giller and Wilson, 1991; Tate, 2000; กัญญา, 2544; Malhotra, 2011; Flemming and Haselkorn, 1973)

1.1) ไซยาโนแบคทีเรียมีเซลล์พิเศษ คือ เฮเทอโรซีสต์ (heterocyst) ซึ่งมีผนังเซลล์หนาประกอบกับไม่มีระบบแสง II (photosystems II) ซึ่งปลดปล่อยออกซิเจน เฮเทอโรซีสต์จึงเป็นเซลล์ที่เหมาะกับการตรึงไนโตรเจน

1.2) ไซยาโนแบคทีเรียที่ไม่มีเฮเทอโรซีสต์จะตรึงไนโตรเจนได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่ใช้ออกซิเจน เช่น ในน้ำ แบคทีเรียบางพวกอยู่ในดินที่ไม่ใช้ออกซิเจน เช่น *Clostridium*

1.3) แบคทีเรียที่ดำรงชีพในสภาพที่มีออกซิเจนจะสร้างสภาพในเซลล์ส่วนที่มีเอนไซม์ไนโทรจีเนส ให้มีออกซิเจนต่ำ มีอัตราการหายใจที่ใช้ออกซิเจนรวดเร็ว สังเคราะห์แสงและปลดปล่อยออกซิเจนในเวลากลางวันจึงตรึงไนโตรเจนเฉพาะกลางคืน

1.4) โคโลนีของจุลินทรีย์มีสารเมือกหุ้มป้องกันการแพร่ของออกซิเจน

1.5) เล็คฮีโมโกลบิน ทำหน้าที่จับออกซิเจนไว้

1.6) ใช้เอนไซม์ดักจับซูเปอร์ออกไซด์ และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ไม่ให้เป็นพิษ เช่น แอสคอร์เบต และเพอร์ออกซิเดส

2) ปัจจัยที่มีผลต่อการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ

ปัจจัยที่จะทำให้การตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้ (ธงชัย, 2546)

2.1) สารประกอบไนโตรเจนในดิน ได้แก่ แอมโมเนียม ไนเตรด และยูเรีย ดินที่มีสารประกอบดังกล่าวอยู่เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์จะไม่ตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศ แต่จะใช้สารเหล่านั้นแทน แต่ถ้ามีสารดังกล่าวในปริมาณน้อยจะกระตุ้นให้จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนได้ดีขึ้น

2.2) ธาตุโมลิบดีนัม เหล็ก และแคลเซียม มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ โดยปกติแล้วจุลินทรีย์ต้องการธาตุดังกล่าวในปริมาณที่น้อยมากในการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเมตาบอลิซึม รวมทั้งในการตรึงไนโตรเจนจุลินทรีย์ก็ต้องการโมลิบดีนัมด้วย แต่การตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์บางชนิดจะใช้วาเนเดียมแทนโมลิบดีนัม แบคทีเรียหลายชนิดต้องการเหล็กในปริมาณที่เหมาะสมในการตรึงไนโตรเจน แบคทีเรียเหล่านั้น ได้แก่ *Azotobacter Clostridium Aerobacter* และ *Achromobactcr* รวมทั้งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายชนิด นอกจากนี้ *Azotobacter* และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินยังต้องการแคลเซียมในการเจริญเพื่อตรึงแก๊สไนโตรเจนด้วยเช่นกัน

2.3) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Azotobacter* จะเจริญได้น้อยมาก และไม่ตรึงก๊าซไนโตรเจนเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 6.0 แต่แบคทีเรีย *Beijerinckia* จะยังคงเจริญและเกิดกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนได้ดีเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 3.0 - 9.0

2.4) สารอินทรีย์ จะต้องมีสารอินทรีย์ชนิดและปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการเจริญของแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ เช่น *Azotobacter* ต้องการสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน เช่น แป้ง หรือน้ำตาล

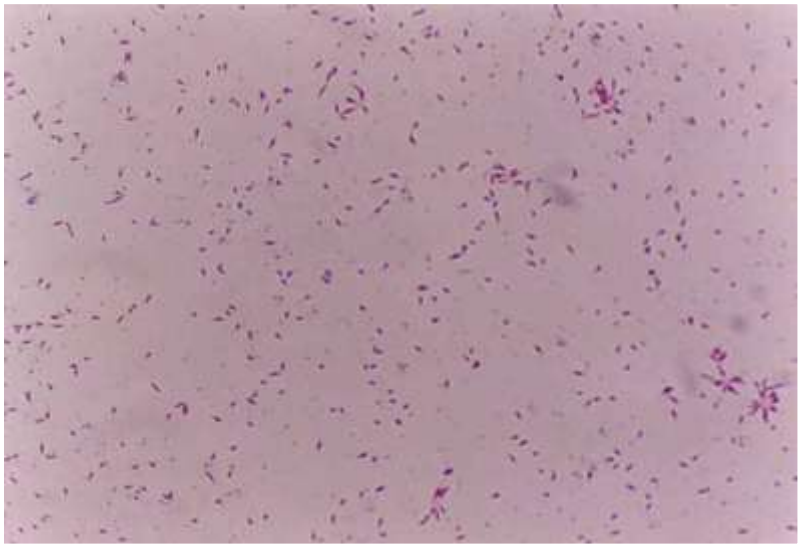
2.5) ความชื้นและการระบายอากาศในดิน *Azotobacter* ตรึงไนโตรเจนได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนเพื่อใช้ในการดำรงชีพ ดังนั้นดินจะต้องมีปริมาณน้ำไม่มากและมีการระบายอากาศที่ดี ส่วน *Clostuidium* ต้องการสภาวะที่ดินมีน้ำขังแฉะ เพราะจะเจริญได้ดี และตรึงก๊าซไนโตรเจนได้เมื่อดินนั้นขาดออกซิเจน เป็นต้น

6.2.3 ตัวอย่างจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน

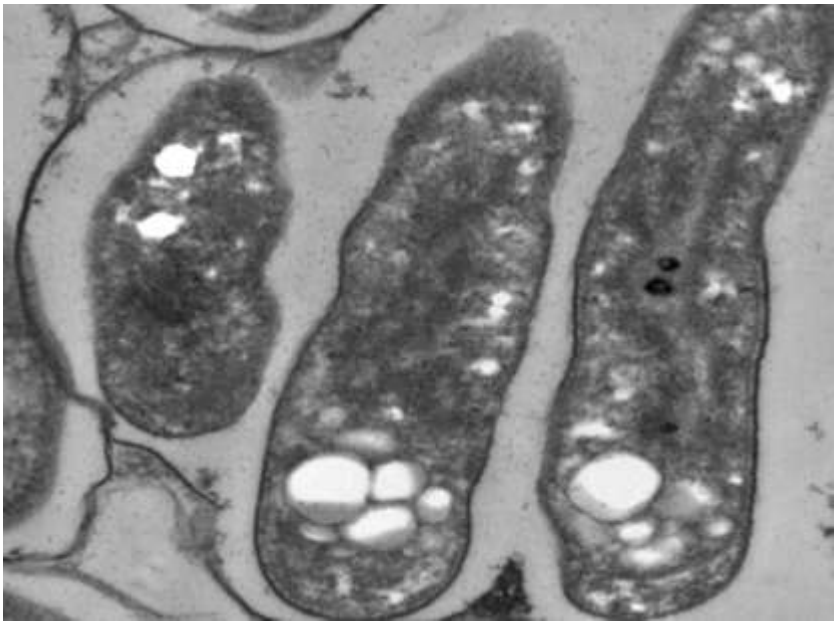
1) ไรโซเบียม

1.1) การจำแนกไรโซเบียม ไรโซเบียมเป็นแบคทีเรียที่อยู่ในอันดับ (order) *Eubacteriale*s วงศ์ (family) *Rhizobiaceae* สกุล (genus) *Rhizobium* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ มีรูปร่างเป็นแท่ง (ภาพที่ 6.1; ภาพที่ 6.2) ต้องการออกซิเจนในการเจริญ ไรโซเบียมจะอยู่ร่วมกับรากพืชตระกูลถั่วแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยต่างฝ่ายต่างก็ได้รับประโยชน์ในการอยู่ร่วมกันเนื่องจากพืชตระกูลถั่วเป็นแหล่งพลังงาน และแหล่งคาร์บอนให้แก่ไรโซเบียม โดยพบเจริญอยู่ร่วมกับพืชตระกูลถั่ว หลายชนิด เช่น *Rhizobium Azorhizobium Bradyrhizobium Mesorhizobium* และ *Sinorhizobium* แบคทีเรียกลุ่มนี้มีลักษณะโคโลนีบนอาหาร yeast extract mannitol agar (YEMA) เป็นมันวาว นูน และขอบเรียบ โคโลนีโปร่งแสงหรือทึบแสง ดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยกับพืชที่มีผลเป็นฝักและแบคทีเรียเจริญเพิ่มจำนวนในรากพืชหรือส่วนของลำต้นจนกระทั่งเกิดปม ซึ่งสังเกตเห็นได้ชัดเจน ความสามารถในการตรึงก๊าซไนโตรเจนของกลุ่มไรโซเบียมขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ชนิดของพืช และสภาวะแวดล้อม (Hardarson *et al.,* 1987; สมศักดิ์, 2541) ปัจจุบันแบคทีเรียกลุ่มไรโซเบียมมีการค้นพบเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การนำไรโซเบียมไปใช้กับพืชในการเกษตรส่วนใหญ่คาดหวังให้เชื้อสามารถอยู่รอดและแข่งขันกับเชื้อที่ปรากฏอยู่ในธรรมชาติได้ รวมทั้งเจริญอยู่ร่วมกับพืชได้ทันที ดังนั้นจึงนิยมผสมไรโซเบียมกับเมล็ดพืชก่อนนำไปหว่านในแปลงเพาะปลูก นอกจากนี้อาจผสมสารช่วยยึดติดเชื้อกับเมล็ดพืช เช่น ยางไม้จากต้นอะคาเซีย (*Acacia senegal*) เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) และน้ำตาล เป็นต้น โดยนำสารช่วยยึดติดพ่นให้

ทั่วเมล็ดพืชและคลุกกับวัสดุตัวพาที่มีไรโซเบียมอยู่ จะทำให้แต่ละเมล็ดมีเชื้อเกาะอยู่ประมาณ 1,000 เซลล์ นำเมล็ดทั้งหมดไปตากแห้งบนกระสอบป่านหรือพื้นซีเมนต์ในที่ร่มและไม่ควรนำไปตากแดดเพราะอาจทำลายเชื้อได้ จากนั้นจึงนำเมล็ดไปเพาะปลูก ด้วยวิธีดังกล่าวไรโซเบียมจะสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ (อรุณ และคณะ, 2559 อ้างถึง Tamil Nadu Agricultural University, 2011) อย่างไรก็ตามการจำแนกไรโซเบียมไม่เหมือนกับการจำแนกจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากไรโซเบียมเป็นแบคทีเรียที่มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับพืชตระกูลถั่ว โดยพืชตระกูลถั่วแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับไรโซเบียมแต่ละชนิดไม่เหมือนกันจึงทำให้มีการจำแนกตามลักษณะกลุ่มพืชที่สามารถเกิดปมได้กับไรโซเบียมเหมือนกัน (cross inoculation) โดยไม่คำนึงถึงว่าปมที่เกิดจะมีประสิทธิภาพหรือไม่ ซึ่งการจำแนกโดยวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้มานานจนถึงปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 6.2 (Date, 1970)



ภาพที่ 6.1 ลักษณะของไรโซเบียมภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า



ภาพที่ 6.2 ลักษณะของไรโซเบียมภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

ตารางที่ 6.2 เชื้อไรโซเบียมชนิดต่างๆ

ชนิดไรโซเบียม	ชนิดของถั่วที่เข้าอยู่อาศัย
1. *R. japonicunn*	ถั่วเหลือง
2. *R. leguminosarum*	ถั่วลันเตา ถั่วปากอ้า เลนส์ และ Lathyras
3. *R. phaseoli*	ถั่วแดงหลวง ถั่วปิ่นโต ถั่วแขก (ฝัก)
4. *R. meliloti*	ถั่วอัลฟัลฟา Melilotus Trigonella
5. *R. trifolii*	ถั่วโคลเวอร์ (ถั่วพืชอาหารสัตว์เมืองหนาว)
6. *R. lupini*	Lupinis Ornithopus
7. Cowpea miscellaneous group	ถั่วเขียว ถั่วลิสง ถั่วแปบ ถั่วฝักยาว

ที่มา : Date, 1970

ในระยะเวลาต่อมาได้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับสรีรวิทยาและพันธุกรรมของไรโซเบียม พบว่า ไรโซเบียมที่อยู่ในพืชกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันเป็นอย่างมากจึงได้มีการจำแนกไรโซเบียมออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มที่เจริญเติบโตเร็ว (fast grower) และกลุ่มที่เจริญเติบโตช้า (slow grower) ดังแสดงในตารางที่ 6.3 (สมศักดิ์, 2541) นอกจากนี้ยังได้ค้นพบไรโซเบียมอื่นๆ อีก ได้แก่ *Azorhizobium* เป็นไรโซเบียมที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้โดยจะเกิดปมที่ลำต้นและรากของโสน ซึ่งไม่สามารถจะจัดเป็น ไรโซเบียมในกลุ่มที่จัดไว้แล้วได้จึงกำหนดให้เป็น *A. caulinodans* เป็นเชื้อไรโซเบียมที่แยกเชื้อบริสุทธิ์ออกมาจากปมบริเวณต้นโสน *Sesbania rostrata* (Dreyfus *et al*., 1988) รวมทั้งยังมี *Photorhizobium* ซึ่งเป็นไรโซเบียมที่สังเคราะห์แสงได้ ได้แก่ *P. thompsonum* เป็นไรโซเบียมที่แยกได้จากปมของต้นโสนคางคก ซึ่งไรโซเบียมชนิดนี้จะมีคลอโรฟิลล์ชนิด bacteriochlorophyll (Kannenberg *et al*., 1995)

ตารางที่ 6.3 การจำแนกไรโซเบียม

ชนิดไรโซเบียม	ชนิดถั่วที่ไรโซเบียมเข้าอยู่อาศัย
พวกที่เจริญเติบโตเร็ว	
- *R. melilot*	*Medicago sativa* L. (อัลฟัลฟา หรือลูเซิร์น)
	Trigonella foenumgraceum
	Melilotus alba Desl.
- *R. leguminosarum*	
biovar. *trifoli*	Clover group (ถ้วโคลเวอร์)
biovar. *Phaseoli*	*Phaseolus vulgaris* L. (ถั่วแดงหลวง หรือถั่วปิ่นโต หรือถั่วแขก (ฝัก)
	Phaseolus multifolis
biovar. *viceae*	*Vigna sinensis* (L.) Savi ex Hassk (ถั่วฝักยาว)
	Vicia faba L. (ถั่วปากอ้า หรือถั่วเลนส์)
	Lathyrus odoratus L.
- *R. loti*	*Lupinus, Lotus, Anthylis, Ornithopus*
- *R. fredii*	*Glycine max* (L.) Merr. (ถั่วเหลือง)
พวกที่เจริญเติบโตช้า	
- *Bradyrhizobium japonicum*	*Glycine max* (L.) Merr. (ถั่วเหลือง)
- *Bradyrhizobium* sp. (Vigna)	*Vigna radiate* (L.) Wilezek (ถั่วเขียว)
	Arachis hypogaea L. (ถั่วลิสง)
	Vigna sinensis (L.) Savi ex Hassk (ถั่วฝักยาว)
- *Bradyrhizobium* sp. (Lupinus)	*Lupinus* spp.
	Lotus pedunculatus

ที่มา : ดัดแปลงจากสมศักดิ์, 2541

1.2) สมบัติทางสรีระวิทยาของไรโซเบียม (physiology of Rhizobium) (ธงชัย, 2546)

1.2.1) ตัวรับอิเลคตรอน (electron acceptor) เชื้อไรโซเบียมทุกสายพันธุ์ต้องการออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอนในกระบวนการหายใจ (respiration) ของเซลล์ เพื่อให้เซลล์ได้รับพลังงานมาใช้ในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ

1.2.2) แหล่งพลังงาน (energy sources) เชื้อไรโซเบียมใช้คาร์โบไฮเดรตได้หลายชนิดเป็นแหล่งพลังงาน แต่ที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ กลูโคส ซูโครส มอลโตส และแมนนิทอล หรือน้ำตาล และแอลกอฮอล์ อื่นๆ

1.2.3) แหล่งไนโตรเจน (nitrogen sources) เชื้อไรโซเบียมที่เจริญอยู่ภายในปมรากของพืชตระกูลถั่วได้รับไนโตรเจนจากอากาศโดยตรง แต่ในกรณีที่นำเชื้อนี้มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียไม่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศได้ จึงจำเป็นต้องเติมแหล่งไนโตรเจนลงไปด้วย โดยทั่วไปมักใช้ยีสต์เอ็กซ์แทรกซ์ หรืออาจใช้สารอินทรีย์ไนโตรเจนบางชนิดก็ได้

1.2.4) การผลิตกรดหรือด่าง (production of acid or alkali) เชื้อไรโซเบียมบางชนิดสามารถผลิตกรดออกมาสู่สภาพแวดล้อมที่เจริญอยู่ได้จำนวนมากจนอาจทำให้ระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงมาก จนมีผลในการยับยั้งการเจริญของไรโซเบียมเอง แต่มีไรโซเบียมบางชนิดผลิตสารที่ออกฤทธิ์เป็นด่างลงสู่สภาพแวดล้อม และยังมีบางชนิดที่ไม่ผลิตสารที่ออกฤทธิ์ที่เป็นกรดหรือด่าง แต่จะผลิตสารที่มีสมบัติเป็นเมือกเหนียว (gum) ในระหว่างที่มีการเจริญ

1.2.5) การเจริญ (growth) เชื้อไรโซเบียมบางชนิดจะมีการเจริญช้าหรือเร็วแตกต่างกัน ทั้งในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติและการนำมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อในห้องปฏิบัติการ ชนิดที่เจริญอย่างช้าๆ เรียกว่า slow glowers และชนิดที่เจริญอย่างรวดเร็วเรียกว่า fast glowers

1.3) การใช้ไรโซเบียมผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชตระกูลถั่ว ไรโซเบียมแต่ละชนิดจะมีความเฉพาะเจาะจงในการใช้กับถั่วชนิดต่างๆ แตกต่างกัน เช่น ไรโซเบียมถั่วเหลืองจะนำไปใช้กับถั่วเขียวไม่ได้ ซึ่งผู้ใช้เชื้อไรโซเบียมจะต้องเลือกเชื้อให้ถูกต้องกับถั่วที่จะปลูกในการที่ถั่วจะได้รับประโยชน์จากไรโซเบียมได้สูงสุดนั้นจะต้องทำให้ไรโซเบียมที่ใส่ลงไปเข้าสู่รากเพื่อสร้างปมได้มากที่สุด โดยยึดหลักเกณฑ์ที่จะต้องให้เชื้ออยู่ใกล้เมล็ดที่สุดเพราะไรโซเบียมจะต้องเข้าสู่รากเพื่อสร้างปม เมื่อรากถั่วเจริญออกมาไรโซเบียมที่อยู่กับเมล็ดก็จะเข้าสู่รากได้ทันที โดยวิธีการใช้ไรโซเบียมจึงแบ่งได้ 2 วิธีการ คือ

1.3.1) วิธีการคลุกเชื้อไรโซเบียมกับเมล็ดถั่ว เมื่อต้องการเพาะเชื้อจะนำผงเชื้อที่เก็บอยู่ในวัสดุรองรับ (carrier) เช่น พีท มาคลุกกับเมล็ดโดยพรมน้ำกับเมล็ดให้มีความชื้นพอที่เชื้อผงจะเกาะติดได้แล้วจึงนำไปปลูกได้เลย แต่ถ้าต้องการให้เชื้อมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นควรใช้สารเหนียวช่วยเพื่อให้เชื้อติดเมล็ด เช่น กาวสังเคราะห์ 40 เปอร์เซ็นต์ กัมอาราบิก 40 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลทราย 30 เปอร์เซ็นต์ หรือน้ำมันพืช ในการเคลือบเมล็ดก่อนทำการคลุกเมล็ด ในกรณีที่ดินเป็นกรดจัดไรโซเบียมที่อยู่บนเมล็ดอาจถูกทำลายได้เพื่อแก้ไขปัญหานี้จะใช้ปูนที่บดละเอียด หรือหินฟอสเฟตเคลือบไปบนเมล็ดที่คลุกเชื้อแล้วอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งจะช่วยปรับสภาพความเป็นกรดด่างของดินรอบๆ เมล็ดให้เหมาะแก่การดำรงชีวิตของเชื้อไรโซเบียม นอกจากนั้นขณะที่ยังไม่ได้ทำการปลูกหลังคลุกเชื้อแล้วปูนยังสามารถช่วยเก็บความชื้นรอบๆ เมล็ดไว้ทำให้เชื้อมีปริมาณรอดตายมากยิ่งขึ้น

1.3.2) วิธีการใส่เชื้อลงในดิน วิธีนี้เป็นวิธีการใส่เชื้อลงสู่ดินโดยตรงแต่ยึดหลักการเดียวกันคือ ต้องให้ไรโซเบียมอยู่ใกล้กับเมล็ดมากที่สุด โดยอาจจะเป็นการใส่เชื้อลงไปในดินโดยตรง แต่เชื้อที่ใช้อาจจะอยู่ในรูปที่เป็นของแข็ง เช่น ใส่ในลักษณะที่เป็นเม็ด (granular) ขนาดเท่ากับเม็ดปุ๋ยซึ่งสามารถใช้กับเครื่องปลูกได้และในลักษณะที่นำเชื้อผงมาผสมกับดินทราย หรือวัสดุอื่นๆ ที่เหมาะสม ที่จะหยอดลงหลุมปลูก เช่น ขี้เถ้าแกลบ หรือใส่ในรูปของเหลว ซึ่งวิธีการนี้เหมาะที่จะใช้กับเชื้อที่ผลิตในรูปเชื้อเหลว หรือเชื้อที่ผลิตในรูปเชื้อผง โดยเอาเชื้อดังกล่าวมาละลายกับน้ำผสมให้เชื้อกระจายแล้วรดลงบนเมล็ดถั่วที่ปลูก หรือจะใช้เครื่องพ่นยาปรับหัวฉีดไม่ให้เป็นฝอยแล้วพ่นลงเมล็ดให้เปียก

1.4) ประโยชน์ของไรโซเบียมเพื่อผลิตปุ๋ยชีวภาพ

1.4.1) เพิ่มไนโตรเจนให้กับพืชตระกูลถั่ว โดยการตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้อยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนซึ่งต้นถั่วจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตได้ดีจนกระทั่งถึงระยะออกดอก ซึ่งไรโซเบียมจะสามารถตรึงไนโตรเจนได้ระหว่าง 3.0 - 100 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ดังนั้นในสภาพพื้นที่การเกษตรของประเทศไทยที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการสร้างคลอโรฟิลล์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งดินที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำนั้น การใส่ไรโซเบียมจะพบว่าถั่วมีผลตอบสนองต่อการใช้ไรโซเบียมได้ดี

1.4.2) ไรโซเบียมในพืชตระกูลถั่วเมื่อใส่ลงไปในดิน มีกลไกทำให้รากพืชผลิตสารและปลดปล่อยออกมาที่เป็นประโยชน์ต่อไรโซเบียมรวมถึงจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยสารที่ขับออกมาได้แก่ growth factor กรดอะมิโน และวิตามิน เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินในด้านการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

2) อะโซโตแบคเตอร์

2.1) การจำแนกและโครงสร้างอะโซโตแบคเตอร์

อะโซโตแบคเตอร์ เป็นแบคทีเรียที่อยู่ในวงศ์ *Azotobacteraceae* ซึ่งมี 2 จีนัส คือ *Azotobater* และ *Azomonas* ลักษณะโดยทั่วไปอะโซโตแบคเตอร์ เป็นแบคทีเรียติดสีแกรมลบ ต้องการออกซิเจนในการเจริญ ดำรงชีวิตแบบอิสระ มีเซลล์เป็นรูปไข่ขนาดใหญ่ รูปร่างอาจเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่แท่งถึงกลมรี อยู่เซลล์เดี่ยว หรือเป็นคู่ เป็นกลุ่ม หรือเกาะกันเป็นเส้นยาว ไม่สร้างเอนโดสปอร์ (endospore) แต่สร้างโครงสร้างเรียกว่า ซีสต์ (cyst) ที่มีผนังหนา จะต้านทานต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าเซลล์ปกติ ทนต่อความแห้งแล้ง และรังสีจากดวงอาทิตย์ แต่ไม่ทนความร้อน ซีสต์มีรูปร่างทรง มีเปลือกสองชั้น ชั้นในเรียกว่า อินทีน (intine) เป็นโครงสร้างเส้นใย ส่วนด้านนอกเรียกว่าเอ็กซีน (exine) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นผลึก 6 ด้าน (hexagonal crystalline) เอ็กซีนถูกไฮโดรไลส์ได้ด้วยทริปซิน (tripsin) แต่ต้านทานต่อโลโซไซม์ (lysozymei) ซีสต์เป็นโครงสร้างพักตัวของอะโซโตแบคเตอร์ เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม ซีสต์จะงอกและเจริญเป็นเซลล์ปกติ โดยเปลือกซีสต์จะขยายออกและปล่อยเซลล์ปกติออกมา การงอกของซิสต์ใช้เวลาค่อนข้างนานประมาณ 4 - 6 ชั่วโมง ทันทีที่ได้รับคาร์บอน ซีสต์เริ่มดูดออกซิเจนและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ความเร็วของกระบวนการนี้ค่อยๆ เพิ่มขึ้นและอิ่มตัวหลังจาก 4 ชั่วโมง มีการสังเคราะห์โปรตีนและ RNA เกิดควบคู่กันไปแต่เกิดมากหลัง 5 ชั่วโมง (กรมวิชาการเกษตร, 2548; อรุณ และคณะ, 2559 อ้างถึง Tamil Nadu Agricultural University, 2011) แบคทีเรียในจีนัสอะโซโตแบคเตอร์แบ่งออกได้ 6 ชนิด ดังนี้คือ (ธงชัย, 2546)

1*) A. choococcum* สามารถเคลื่อนที่ไดโดยอาศัยแส้รอบเซลล์ (peritrichous flagella) โคโลนีไม่เป็นเมือก แต่โคโลนีอาจเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการสร้างโพลิแซ็กคาไรด์ออกมามาก ใช้แอมโมเนียและไนเทรตเป็นแหล่งของไนโตรเจนได้ แต่ทำให้การตรึงไนโตรเจนหยุดลง ไม่สามารถใช้ กลูตาเมต (glutamate) ได้ สร้างรงควัตถุสีดำไม่ละลายน้ำ พบได้ทั่วไปในดิน สามารถไฮโดรไลส์แป้งได้โดยเอ็นไซม์อัลฟาอะไมเลส (α-amylase) และเบตาอะไมเลส (β-amylase)

2) *A. vinelandii* รูปพรรณสัณฐานคล้ายกับ *A. choococcum* เคลื่อนที่โดยอาศัยแส้รอบเซลล์ (peritrichous flagella) โคโลนีไม่เป็นเมือก สร้างรงควัตถุสีเขียวเหลือบแสง ละลายน้ำได้ ใช้แอมโมเนียมและไนเทรตเป็นแหล่งของไนโตรเจน แต่ยับยั้งการตรึงไนโตรเจนไม่ไฮโดรไลส์แป้ง

3*) A. beijerinckii* รูปพรรณสัณฐานคล้ายกับ *A. choococcum* แต่ไม่เคลื่อนที่ โคโลนีเรียบแต่ความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้เนื่องจากการผลิต โพลิแซ็กคาไรด์ จำนวนมากขึ้นมาใช้ แอมโมเนียมและไนเทรตแต่จะทำให้การตรึงไนโตรเจนหยุดชะงักลง สร้างรงควัตถุสีน้ำตาลอมเหลือง สว่าง ไม่ละลายน้ำ บางสายพันธ์ไฮโดรไลส์แป้งโดยเอ็นไซม์เบตาอะไมเลส (β-amylase)

4) *A. nigricans* เป็นแบคทีเรียที่ไม่เคลื่อนที่ โคโลนีเรียบแต่ความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้เมื่อเซลล์ผลิตโพลิแซ็กคาไรด์ออกมามาก (homopolysaccharide) จากซูโครส (sucrose) หรือแรฟฟีโนส (raffinose) ใช้แอมโมเนียมและไนเทรตเป็นแหล่งของไนโตรเจนได้

5) *A. armeniacus* เซลล์เคลื่อนที่ได้โดยแส้รอบเซลล์ (peritrichous flagella) โคโลนีเรียบนูนมากเป็นมันแวววาว และเหนียวติดแน่นกับอาหารเลี้ยงเชื้อบางสายพันธุ์สร้างโฮโมโพลิแซ็กคาไรด์เมื่อเลี้ยงเชื้อบนซูโครสแต่จะไม่สร้างเมื่อใช้แรฟฟิโนส ไฮโดรไลส์แป้งโดยเอ็นไซม์อัลฟาอะไมเลส (α-amylase) หรือเบตาอะไมเลส (β-amylase) ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ไม่สามารถใช้แอมโมเนียมไนเตรตและกลูตาเมตเป็นแหล่งของไนโตรเจนได้

6) *A. paspali* เซลล์เคลื่อนที่ได้โดยแส้รอบเซลล์ (peritrichous flagella) โคโลนีขุ่นขอบเรียบ หรือไม่สม่ำเสมอ โคโลนีจะยกตัวขึ้นมาจากอาหาร แต่ปกติแล้วไม่โค้ง ไม่สร้างโฮโมโพลิแซ็กคาไรด์จากซูโครส และแรฟฟิโนส ไม่ไฮโดรไลส์แป้ง สร้างรงควัตถุสีเขียวเหลือบแสง และละลายน้ำได้ สามารถใช้แอมโมเนียม และไนเทรตเป็นแหล่งของไนโตรเจนในการเติบโตได้ แต่ใช้กลูตาเมตไม่ได้

2.2) ความสำคัญต่อการเกษตร

อะโซโตแบคเตอร์มีประโยชน์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ การตรึงก๊าซไนโตรเจน สร้างฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และจิบเบอเรลลิน นอกจากนี้ยังสร้างวิตามิน สารเมทาบอไลต์ต่อต้านรา และละลายฟอสเฟตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชได้ สร้างสารป้องกันเชื้อรา และสารยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคพืช (Kapoor and Kar, 1989; Neilands and Leong, 1986) เช่น จากการรายงานของเศรษฐา และคณะ (2528) เชื้ออะโซโตแบคเตอร์ที่คัดแยกได้จากบริเวณรากของอ้อยสามารถวัดศักยภาพการตรึงไนโตรเจนได้อยู่ระหว่าง 480 - 1,210 nmol C_2H_4 ต่อมิลลิกรัมโปรตีนต่อวัน นอกจากนี้การศึกษาของดรุณี (2557) จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เกษตรจังหวัด พระนครศรีอยุธยา ซึ่งสามารถคัดเลือกเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ บริสุทธิ์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้สูงที่สุด 0.94 - 0.99 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อชั่วโมง ดังนั้นอะโซโตแบคเตอร์เป็นปุ๋ยชีวภาพอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพสูงในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืชได้ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนลงบางส่วน รวมทั้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินของประเทศไทยต่อไป ดังจะเห็นจากการศึกษาการใช้อะโซโตแบคเตอร์ในดินและการปลูกพืช ดังนี้

ธงชัย (2546) รายงานว่า ประเทศไทยมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากเชื้ออะโซโตแบคเตอร์อยู่บ้างเชื้อที่แยกได้ในประเทศไทยมีอัตราการตรึงไนโตรเจนตั้งแต่ต่ำกว่า 4 ไมโครกรัมของไนโตรเจนต่อ 10^9 เซลล์ต่อวัน จนถึง 421.84 ไมโครกรัมของไนโตรเจนต่อ 10^9 เซลล์ต่อวัน ส่วนใหญ่แล้วเชื้อที่แยกได้จากบริเวณรากข้าวโพด ข้าวฟ่าง และอ้อย มีอัตราการตรึงไนโตรเจนได้พอๆ กัน ประมาณ 16 ถึง 24 ไมโครกรัมของไนโตรเจนต่อ 10^9 เซลล์ต่อวัน จากการทดลองกับข้าวโพด พบว่าเชื้ออะโซโตแบคเตอร์ทุกสายพันธุ์ให้ปริมาณไนโตรเจนในต้นข้าวโพดสูงกว่าไม่ใช้เชื้อ ตามลำดับและจากการทดลองนี้พบว่าเมื่อใช้เชื้อแล้วจะช่วยให้การเจริญเติบโตของข้าวโพด ความสูง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าการไม่ใช้เชื้อ (บรรหาญ, 2528) การทดลองในปี พ.ศ. 2526 ที่ใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์จำนวน 4 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 20 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่าการใช้เชื้อทำให้น้ำหนักแห้งและผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่จังหวัดกาฬสินธุ์ และนครราชสีมา

อาภากร (2553) ศึกษาวิธีการใส่เชื้อในดินบริเวณใกล้รากข้าว เพื่อศึกษาผลของระบบการปลูกข้าว (ระบบการปลูกข้าวแบบ ประณีตกับแบบดั้งเดิม) ร่วมกับการใส่เชื้อ *A. Largimobile* และ *A. vinelandii* ต่อปริมาณและการคงอยู่ของเชื้อประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน และผลผลิตของข้าว พบว่า ผลการทดลองในระดับแปลงทดลอง ระบบการปลูกข้าวแบบประณีตให้ผลผลิตสูงกว่าระบบดั้งเดิม โดยการใส่เชื้อ *A. largimobile* ร่วมกับ *A. vinelandii* ให้ผลผลิตสูงที่สุด ส่วนการปลูกข้าวในระบบดั้งเดิมการใส่เชื้อ *A. largimobile* เพียงอย่างเดียวให้ผลผลิตสูงที่สุด

Ridvan (2008) รายงานว่า *A. chroococcum* มีผลส่งเสริมผลผลิต และความเข้มข้นไนโตรเจนของข้าวสาลี ได้ดีกว่าการไม่ใส่เชื้อ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Pandey *et. al*. (1998) รายงานไว้ว่า การใส่เชื้ออะโซโตแบคเตอร์สามารถเพิ่มน้ำหนักเมล็ด สีของเมล็ดข้าวสาลี และความเข้มข้นของไนโตรเจน ได้เช่นเดียวกัน ศิวาพร (2553) พบว่าการใช้เชื้ออะโซโตแบคเตอร์เชื้ออะโซสไปริลลัม และใช้ปุ๋ยพืชสดถั่วเขียว มีน้ำหนักฝักดีของข้าวโพดไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราครึ่งหนึ่งของปกติ)

Ahmad *et al*. (2011) พบว่า การคลุกเมล็ดพืชกับ *A. chroococcum* ทำให้เพิ่มผลผลิตพืชประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มผลผลิตเมล็ดธัญพืชประมาณ 15 - 20 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เมื่อใช้เชื้อร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชชนิดอื่น เช่น *Rhizobium* spp. *Azospirillum* spp. จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และไมคอร์ไรซา จะช่วยทำให้เพิ่มผลผลิตพืชได้หลายชนิด

Kanungo *et al*. (1997) รายงานว่าสามารถช่วยเพิ่มน้ำหนักแห้ง และผลผลิตข้าวในระดับเรือนทดลองถึง 0.4 ตันต่อเฮกเตอร์ และในระดับแปลง 0.9 ตันต่อเฮกเตอร์ หรือประมาณ 7 - 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับแปลงทดลองที่ไม่ใส่เชื้อ โดยช่วยส่งเสริมการเจริญของรากและใบ ทั้งในช่วงกล้าและช่วงการเจริญเติบโตของใบในช่วงแรก และการใส่เชื้อ *Azotobacter* ยังทำให้ไนโตรเจนในข้าวเพิ่มขึ้น 11 - 15 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ (Yanni and El-Fattah, 1999) การใช้ *A. vinelandii* และ *A. chroococcum* เป็นหัวเชื้อ PGPR ในการปลูกข้าว พบว่าให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์

3) อะโซสไปริลั่ม

3.1) การจำแนกและโครงสร้างของอะโซสไปริลั่ม

อะโซสไปริลั่มเป็นแบคทีเรียที่สามารถพบแพร่กระจายในดิน เจริญได้ดีบริเวณรากพืชหลายชนิด และบริเวณบนผิวดินที่มีพืชเจริญอยู่ เซลล์ติดสีแกรมลบ เคลื่อนที่ได้ เซลล์เป็นรูปโค้ง มีแกรนูลสะสมพอลิบีตา - ไฮดรอกซีบิวทิเรต (poly-B-hydroxy butyrate granule) มีแฟลกเจลลา 1 เส้น รูปร่างเซลล์และขนาดอาจเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาการเพาะเลี้ยง และสามารถสร้างซีสต์ได้ โดยทั่วไปจะพบ อะโซสไปริลั่ม สปีชีส์ใหม่ๆ ในสภาพแวดล้อมและพืชที่มีความหลากหลาย ไม่เฉพาะอาศัยร่วมกับพืชไร่ที่มีความสำคัญ เช่น ธัญพืช อ้อย หญ้าอาหารสัตว์ แต่สามารถพบอาศัยร่วมในพืชอื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น กาแฟ ไม้ผล และกล้วยไม้ (ธงชัย, 2557) ปัจจุบันพบ 19 สปีชีส์ (Rodrigues *et al*., 2015; Lin *et al*., 2016)

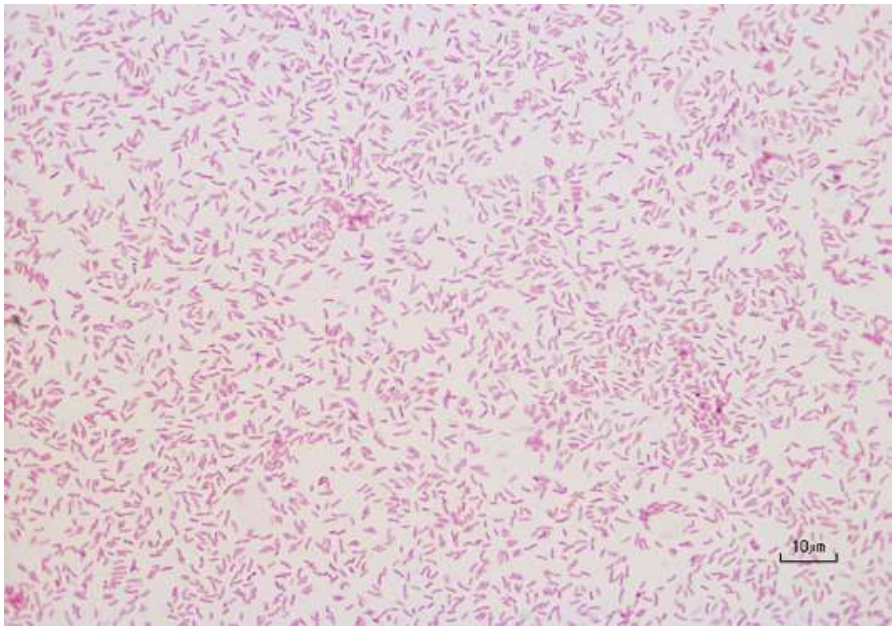
3.2) บทบาทของอะโซสไปริลั่มต่อพืช

อะโซสไปริลั่มมีการนำมาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ โดยเฉพาะบทบาทหลักคือการตรึงไนโตรเจนสำหรับการส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตพืช ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบร่วมอาศัยกับข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวสาลี (Sivasakthivelan and Saranraj, 2013) นอกจากนี้อะโซสไปริลั่มยังสามารถผลิตฮอร์โมนพืช เช่น ออกซิน ไซโตไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทีลีน และซีเอทิน สารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดอื่น เช่น abscisis acid nitric oxide putrescine spermine spermidine cadaverine และ polyamine เป็นต้น สามารถละลายฟอสเฟตในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ สร้างสารไซเดอโรฟอร์ เช่น HCN และ salicylic acid ผลิต ACC deainase สามารถควบคุมโรคพืชและปกป้องพืชต่อสภาพดินเค็ม และสารพิษตกค้างในดินได้ (Cassan and Diaz-Zorita, 2016)

3.3) ผลการใช้อะโซสไปริลั่ม

จากการศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพ *Azospirillum* spp. พบว่า สามารถเพิ่มผลผลิตของพืชหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด ทั้งในแปลงปลูก และเรือนกระจก จากการที่พืชได้รับแร่ธาตุเพิ่มขึ้น เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แร่ธาตุอื่นๆ จากดินที่ผสมปุ๋ยชีวภาพดังกล่าว

(Madigan *et al*., 2003) ปัจจุบันมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอะโซสไปริลั่มและจุลินทรีย์ชนิดอื่นในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น การใส่เชื้อ *Azospirillum* spp. และ *Rhizobium* spp. สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชที่มีผลเป็นฝักมากกว่าการใช้ *Azospirillum* ชนิดเดียว โดยทำให้พืชสร้างปมที่รากมากขึ้นและส่งเสริมการสร้างรากแขนงและรากขนอ่อน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีการปลดปล่อยฮอร์โมนจากเชื้อกระตุ้นการเจริญเติบโตและขยายขนาดของเซลล์พืช รวมทั้งมีผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่า การใส่ *A. brasilense* ร่วมกับ *A. chroococcum* ให้กับพืชส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้กับดินและเพิ่มผลผลิตของพืชมากกว่าใช้เชื้อเพียงชนิดเดียว สำหรับงานวิจัยการใช้อะโซสไปริลั่มในข้าว พบว่าสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตทางด้านความสูง จำนวนใบต่อต้น ความยาวและความกว้างใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญ (Hossain *et al*., 2015) ในขณะที่ Nayak *et al*. (2003) ทดสอบผลของการใส่เชื้ออะโซสไปริลั่มร่วมกับปุ๋ยเคมีไนโตรเจนอัตราแนะนำในการปลูกข้าว พบว่าการใส่ปุ๋ยอัตรา 75 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำร่วมกับใส่เชื้อทำให้ผลผลิตข้าว 7,194 และ 7,249 กิโลกรัมต่อเฮคตาร์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าตำรับทดลองที่ไม่ใส่เชื้อ จากผลการศึกษาของ García de Salamone *et al*. (2010) รายงานว่าการใส่เชื้อ อะโซสไปริลั่มมีผลต่อการเพิ่มมวลชีวภาพของข้าวในระยะการแตกกอ และการสร้างเมล็ดเต็ม และพบการเพิ่มขึ้นของการสะสมไนโตรเจนในใบข้าวอยู่ในช่วง 16 - 60 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮคตาร์ ส่วนรายงานการวิจัยในประเทศไทย มีการศึกษาการใช้ *Azospirillum sp.* TS8 ผลิตออกซิน สำหรับการทดสอบปลูกข้าวในกระถาง มีผลให้น้ำหนักแห้งราก และ น้ำหนักแห้งรวมเพิ่มขึ้น 37 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยและไม่ใส่เชื้อ และการใส่ *Azospirillum sp.* TS8 TS13 TS29 เพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัส และเพิ่มประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยเคมี (Meunchang *et al*., 2006) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้เชื้ออะโซสไปริลั่มร่วมกับปุ๋ยชีวภาพชนิดอื่นๆ ในนาข้าวด้วย ซึ่งพบว่า การใช้ อะโซสไปริลั่มร่วมกับอะโซโตแบคเตอร์ในระบบการปลูกข้าวแบบประณีตให้ผลผลิตสูงกว่าระบบดั้งเดิม โดยการใส่เชื้อ *A. largimobile* ร่วมกับ *A. vinelandii* ให้ผลผลิตสูงที่สุดในระดับแปลงทดลอง (อาภากร, 2553)



ภาพที่ 6.3 ลักษณะของอะโซสไปริลั่มภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า

4) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

4.1) ลักษณะของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนโดยอิสระให้กับพืชน้ำแหนแดง โดยจะมีลักษณะเซลล์ขนาดเล็กมาต่อกันเป็นเส้นสาย เซลล์ส่วนใหญ่จะมีสีเขียวแกมน้ำเงิน เรียกว่า เป็นเซลล์พื้นฐานของสาหร่าย ทำหน้าที่หาอาหารจำพวกแร่ธาตุและสามารถปรุงอาหารได้เองโดยการสังเคราะห์แสง เซลล์อีกชนิดหนึ่งเป็นเซลล์พิเศษเรียกว่า เฮเทอโรซีส (heterocyst) ซึ่งแทรกอยู่เป็นระยะ เซลล์นี้มีลักษณะใหญ่กว่าเซลล์อื่นๆ สีจาง และมีเซลล์หนาเห็นได้ชัด มีหน้าที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศจากรูปของก๊าซไนโตรเจนเป็นสารประกอบไนโตรเจน ส่วนเซลล์อีกจำพวกหนึ่ง คือ เซลล์ที่เรียกว่า อะคีเนต (akinate) หรือสปอร์มีขนาดใหญ่เช่นกัน แต่ทำหน้าที่สืบพันธุ์เท่านั้นมีความสามารถพิเศษในการทนสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ทนทานต่อความแห้งแล้ง ทนสภาพอากาศร้อน และหนาวได้ดี เมื่อได้รับสภาพเหมาะสมก็จะงอกเป็นสาหร่ายเส้นใหม่ สำหรับแหนแดงเป็นพืชน้ำจำพวกเฟิร์นชนิดหนึ่ง พบเจริญเติบโตลอยอยู่บนผิวน้ำในที่มีน้ำขังในเขตร้อนและเขตอบอุ่นทั่วไป แหนแดงที่พบอยู่ทั่วโลกมีอยู่ 7 ชนิด แต่ที่พบในประเทศไทยมีเพียงชนิดเดียวคือ *Azolla pinnata* แหนแดงประกอบด้วย ส่วนต่างๆ คือ ลำต้น (rhizome) ราก (root) และใบ (lobe) ใบแหนแดงเกิดตามกิ่งเรียงสลับกันไป แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ใบ และใบล่าง โดยใบล่างค่อนข้างโปร่งมีคลอโรฟิลล์น้อย ใบบนมีสีเขียวมีคลอโรฟิลล์เป็นองค์ประกอบ กาบใบบนด้านหลังมีโพรงใบและจะมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Anabaena azolae* อาศัยอยู่ในลักษณะพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันกับแหนแดง มีการศึกษาการใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นปุ๋ยชีวภาพในการตรึงไนโตรเจนในการปลูกข้าว จากผลการศึกษาของประไพ และคณะ (2553) ศึกษาวิธีการใช้ปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกรมน้ำเงินที่ตรึงไนโตรเจนได้ชนิดน้ำต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข 43 ในระยะต้นกล้า พบว่าสารสกัดเซลล์สาหร่ายที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 10 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความสูง น้ำหนักแห้ง และความยาวรากเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากนี้ทำการศึกษาผลของการรดสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตของข้าวในถาดเพาะกล้าในดินร่วนทราย ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ คือ 40 60 80 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตรสารสกัดเซลล์เข้มข้นในน้ำกลั่น) และ 100 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดเซลล์เข้มข้นเปรียบเทียบกับน้ำประปา เมื่อข้าวอายุได้ 30 วัน พบว่ากล้าข้าวที่รดด้วยสารสกัดสาหร่ายทุกความเข้มข้นมีความสูงใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ทุกความเข้มข้นมีความสูงมากกว่าน้ำประปาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านน้ำหนักรากและต้นแห้ง พบว่าที่ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ให้น้ำหนักรากและต้นแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำประปา ส่วนความเข้มข้น 60 80 และ100 เปอร์เซ็นต์ ให้น้ำหนักแห้งใกล้เคียงกันและสูงกว่าน้ำประปาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาของ สุปราณี และคณะ (2556) พบว่าการใช้ปุ๋ยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักเมล็ดของข้าวได้ ซึ่งการใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 16 - 8 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 16 - 20 - 0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถช่วยผลผลิตข้าวได้ 11.4 - 17.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย ในขณะที่การใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 0 - 16 - 8 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 0 - 20 - 0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวได้น้อยมาก

นอกจากนี้ Antarikanonda and Lorenzen (1982) ได้ศึกษาดินนารอบๆ กรุงเทพฯ พบว่าสามารถจำแนกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ 5 สกุล คือ *Anabaena Nostoc Gloeotrichia*

Calaothrix และ *Fischerella* สาหร่ายเหล่านี้มีศักยภาพสูงในการตรึงไนโตรเจนในนาข้าวมาก จากการเปรียบเทียบความสามารถในการตรึงไนโตรเจนในนาข้าว พบว่า *A. siamensis* เป็นชนิดที่มีศักยภาพสูงในการตรึงไนโตรเจนสูงที่สุด และให้น้ำหนักสดสูงสุดด้วย มีอัตราการแบ่งเซลล์ 3 ถึง 4 ชั่วโมงต่อครั้ง มีอัตราการตรึงไนโตรเจน 10 กรัมไนโตรเจนต่อกรัม

Watanabe (1962) ได้พัฒนาวิธีการเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเหลวในแท็งค์ สามารถผลิตสาหร่ายออกมาได้ 3.8 กรัมต่อลิตร ใช้ต้นทุนในการผลิตสาหร่ายประมาณ 1.8 ดอลลาร์ต่อ 1 กิโลกรัมของสาหร่าย นอกจากนั้นยังได้ศึกษาถึงความเหมาะสมของวัสดุต่างๆ เพื่อใช้เป็นสารผสมเช่น กรวดพรุน (fine porous gravel) และฟองหิน (sponge rock) พบว่าส่วนผสมของกรวดพรุน และแมกนีเซียมฟอสเฟต เป็นสารผสมที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งทางไกลๆ ได้ดีกว่าอย่างอื่น

4.2) การเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพื่อใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ

การเลี้ยงปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก อุปกรณ์ที่ใช้เลี้ยงอาจเป็นถาดโลหะ อ่างที่ทำด้วยอิฐ ปูน หรือพลาสติก ขนาดของภาชนะที่ใช้นี้ก็อาจเปลี่ยนแปลงไปได้ในกรณีนี้ขอใช้ขนาดของภาชนะเป็นกว้าง 6 ฟุต ยาว 3 ฟุต และสูง 9 นิ้ว วิธีการเพาะสามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้ (Subba Rao, 1986)

4.2.1) ผสมดิน 10 กิโลกรัม ซูเปอร์ฟอสเฟต 200 กรัม ลงในภาชนะที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายที่เตรียมไว้แล้วเติมน้ำให้ได้ระดับความสูง 2 ถึง 6 นิ้ว ในกรณีที่ดินเป็นกรด ก็ให้ปรับความเป็นกรดเป็นด่าง ให้เป็นกลางด้วยปูนเสียก่อน

4.2.2) โรยขี้เลื่อยและหัวเชื้อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่ต้องการให้ทั่วผิวของน้ำ เลี้ยงไว้ 1 สัปดาห์ จะพบสาหร่ายเจริญหนาแน่นอยู่ส่วนบนๆ ของผิวน้ำ

4.2.3) ปล่อยให้น้ำแห้ง เมื่อแห้งดีแล้วเก็บผงสาหร่ายบรรจุลงถุงพลาสติกเพื่อเก็บรักษาและนำไปใช้ในนาข้าวต่อไป

4.2.4) อัตราที่ใช้ในนาข้าวของเชื้อที่เตรียมได้ข้างต้นนี้คือใช้ 10 กิโลกรัมต่อเฮคตาร์ หลังจากการดำนา 1 สัปดาห์หรือประมาณ 1 เดือนหลังการหว่านข้าวในน้ำตม

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อให้ได้ปริมาณมากในประเทศไทยนั้น สามารถทำได้โดยไม่ยาก กล่าวคือใช้อ่างโพลีเอสเทอร์หรือบ่อดินขนาด 0.7 x 1.0 ตารางเมตร ในแต่ละวันจะผลิตสาหร่ายได้สูงสุดประมาณ 12 กรัมของน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรหรือประมาณ 7 ตันต่อไร่ต่อปี ในกรณีนี้เกษตรกรสามารถผลิตได้เองเนื่องจากการเพาะเลี้ยงไม่ได้ยุ่งยากประการใด มีค่าใช้จ่ายน้อย การใส่สาหร่ายลงในนาข้าวในประเทศไทยแนะนำให้ใช้อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพในพื้นที่เพียง 1 ไร่ สามารถผลิตสาหร่ายเพื่อใช้กับนาข้าวได้มากถึง 700 ไร่

4.3) ประโยชน์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

4.3.1) เพิ่มไนโตรเจนให้กับดิน เนื่องจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนเป็นการประกอบไนโตรเจน ส่วนหนึ่งจะนำไปสร้างโปรตีนของเซลล์ และปลดปล่อยบางส่วนออกมาในดินและน้ำรอบๆ เซลล์ของสาหร่าย ทำให้พืชสามารถดูดดึงไปใช้ได้โดยง่าย ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะอยู่ที่โพรงในบนของแหนแดงโดยสาหร่ายจะตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้เป็นสารประกอบแอมโมเนียม ซึ่งทำให้แหนแดงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงระหว่าง 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ และทำให้แหนแดงมีมวลชีวภาพมากขึ้นสำหรับใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวได้ดี ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงไนโตรเจนโดยสาหร่ายอยู่ระหว่าง 2 - 10 กิโลกรัมต่อไร่

4.3.2) สาหร่ายปลดปล่อยสารจำพวกฮอร์โมนพืชที่สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชทำให้ผลผลิตสูงขึ้น

4.3.3) ปลดปล่อยออกซิเจนออกมาในน้ำที่สาหร่ายขึ้นอยู่ในขณะสังเคราะห์แสง ทำให้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์อื่นๆ ในดินเจริญเติบโตได้ดี สามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุรอบข้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การปลดปล่อยของธาตุอาหารพืชเกิดได้เร็วขึ้น

4.3.4) เซลล์สาหร่ายขึ้นในดินอย่างหนาแน่นจะทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวอนุภาคของดินให้จับกันเป็นโครงสร้าง ทำให้คงทนต่อการชะล้าง ทำให้ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น ความร่วนซุยของดินจะทำให้รากพืชชอนไชเจริญเติบโตได้ดี เพิ่มการระบายอากาศในดินได้ดีขึ้น

6.3 ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตต่อพืชซึ่งพบมากในดินทั้งในรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัส แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีแหล่งของฟอสฟอรัสในปริมาณมาก แต่อยู่ในรูปที่เหมาะสมสำหรับพืชมีปริมาณต่ำ เนื่องจากฟอสฟอรัสที่พบในดินจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ขณะที่พืชสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสในดินได้ 2 รูปเท่านั้น คือ โมโนเบสิก (monobasic; $H_2PO_4^-$) และไดเบสิก (diabasic; HPO_4^{2-}) ไอออน (Bhattacharyya and Jha, 2012) ฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่ละลายน้ำจะปรากฏในรูปของแร่ธาตุอนินทรีย์ เช่น อะพาไทต์ (apatite) หรือหนึ่งในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น inositol phosphate (soil phytate) phosphomonesters และ phosphotriesters (Glick, 2012) ดังนั้นจึงได้มีการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสในพื้นที่การเกษตรเพิ่มมากขึ้น แต่พืชสามารถดูดซึมจากปุ๋ยดังกล่าวได้เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณปุ๋ยที่ใส่ลงดิน เนื่องจากมีการเปลี่ยนรูปเป็นอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำในดิน

6.3.1 ปฏิกิริยาการดูดซับฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นในดิน

1) การดูดซับโดยไฮดร็อกไซด์ของเหล็กและอะลูมินั่ม (Hydrous Oxide ของ Fe และ Al)

ในสภาพดินที่เป็นกรดมีการละลายของเหล็กและอะลูมินั่มที่เป็นประจุบวกออกมา ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะอยู่ในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์ต่างๆ และฟอสเฟตไอออนในสารละลายรวมทั้งจากการใส่ปุ๋ย จะทำปฏิกิริยาทำให้เกิดการตกตะกอนกับสารเหล่านี้กลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยาก (ไพบูลย์, 2530)

2) การดูดซับฟอสฟอรัสโดยแร่ดินเหนียว

การที่แร่ดินเหนียวมีประจุซึ่งจะแตกต่างกันไปขึ้นกับองค์ประกอบของแร่ โดยแร่คาร์โอลิไนต์ (kaolinite) แร่ดินเหนียวแบบ 1:1 มีการแตกหักของขอบผลึกเมื่อไฮดร็อกไซด์หลุดออกไป ฟอสเฟตไอออนจะเข้าแทนที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว สำหรับแร่ดินเหนียวแบบ 2:1 จะเกิดการแลกเปลี่ยนของไอออนที่มีวาเลนซ์ซี (valency) ใกล้เคียงกันส่งผลให้อนุภาคดินมีประจุเป็นลบและถูกสะเทินด้วยประจุบวกในสารละลายดิน เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และ โพแทสเซียมไอออน (K^+) โดยไอออนบวกเหล่านี้จะตกตะกอนกับฟอสเฟตในดินที่เป็นกรดอ่อน ฟอสเฟตจะถูกดูดซับโดยแคลเซียมไอออนมากกว่าแมกนีเซียมไอออน แอมโมเนียมไอออน และโพแทสเซียมไอออน

3) การดูดซับโดยสารประกอบคาร์บอเนตในดิน

ในสภาพดินด่าง (Calcareous soil) ซึ่งเป็นดินที่มีการสะสมของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมไบคาร์บอเนต ทำให้ดินมีความเป็นกรดเป็นด่างสูง เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ในดินด่างฟอสเฟตส่วนใหญ่อยู่ในรูป HPO_4^{2-} จะเกิดปฏิกิริยาตกตะกอนกับ แคลเซียมไอออน และแมกนีเซียมไอออน กลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยาก (ไพบูลย์, 2530) ถ้าในดินมีคาร์บอเนต และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ฟอสเฟตจะเกิดปฏิกิริยาตกตะกอนเคลือบอยู่บนผิวของสารประกอบคาร์บอเนตโดยตรง (Griffin and Jurinak, 1973) จากนั้นเกิดการเปลี่ยนรูปโดยแคลเซียม จะเข้าไปเป็นอะตอมกลางที่ล้อมรอบด้วยฟอสเฟตไอออน

4) ปริมาณแคตไอออนและสารประกอบต่างๆ ในระบบคอลลอยด์ดิน

ไอออนของเหล็กและอะลูมินั่ม ไฮดรัสออกไซด์ของเหล็ก และ อะลูมินั่ม แร่ดินเหนียวและสารประกอบคาร์บอเนตในดินซึ่งถูกควบคุมด้วยค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีผลต่อการดูดซับฟอสฟอรัสในดิน ถ้าในดินมีปริมาณแคตไอออนเหล่านี้มาก โอกาสที่จะเกิดการดูดซับฟอสฟอรัสสูง

6.3.2 กลไกของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

ปัจจุบันมีการนำจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (PSM) มาใช้ในการเปลี่ยนรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินให้อยู่ในรูปที่พืชดูดใช้ได้ จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตมีหลายชนิดอาศัยอยู่บริเวณรากพืช เช่น แบคทีเรียจีนัส *Azotobacter Bacillus Beijerinckia Burkholderia Enterobacter Erwinia Flavobacterium Microbacterium Pseudomonas Rhizobium* และ *Serratia* จัดเป็นแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่มีประสิทธิภาพ (Bhattacharyya and Jha, 2012) อย่างไรก็ตามแม้ว่าจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะพบมากในสิ่งแวดล้อม แต่คุณสมบัติการย่อย หรือการละลายฟอสเฟตขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม นอกเหนือจากจะมีบทบาทในการละลายฟอสฟอรัสแล้ว มีรายงานว่าสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้กับพืช โดยการตรึงก๊าซไนโตรเจน การสร้างสารเสริมการเจริญเติบโตอีกด้วย (Ahmad *et al*., 2008) สำหรับกิจกรรมและกลไกในการละลายฟอสฟอรัสส่วนใหญ่เกิดจากการสร้างกรดแล้วปลดปล่อยออกมาละลายอนินทรีย์ฟอสเฟตทำให้ฟอสเฟตรูปที่ไม่ละลายมีการละลายออกมาเพิ่มขึ้น โดยวิธีการที่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตรูปที่ไม่ละลายให้เป็นฟอสเฟตรูปที่พืชเอาไปใช้ประโยชน์ได้ มีดังนี้

1) การปลดปล่อยกรดอินทรีย์ กรดอินทรีย์ที่พบว่าจุลินทรีย์สามารถสร้างและปลดปล่อยออกมาได้แก่ กรดฟอร์มิค อะซิติค โปรปิโอนิค แลคติค ไกลโคลิค ฟูมาริค และซัคซินิค เป็นต้น ส่วนมากแล้วจุลินทรีย์พวกเฮทเทอโรโทรพจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาจำนวนหนึ่งเสมอในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์แต่มีความแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณของกรดอินทรีย์ กรดดังกล่าวนี้มีคุณสมบัติเป็นสารคีเลต และสามารถละลายฟอสเฟตได้

2) การปลดปล่อยกรดอนินทรีย์ จุลินทรีย์บางชนิดสร้างและปลดปล่อยกรดอนินทรีย์ออกมาได้แก่ กรดไนตริค และซัลฟูริค จากกิจกรรมของ *Nitrobacter* sp. และ *Thiobacillus* sp. ตามลำดับ กรดต่างๆ ที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง และเกิดการละลายของฟอสเฟตมากขึ้น กรดอินทรีย์บางชนิดอาจเกิดคีเลตกับแคลเซียมและเหล็ก ทำให้การละลายและการใช้ฟอสเฟตมีมากขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณการละลายฟอสเฟตจะแตกต่างกันตามความสามารถในการละลายของจุลินทรีย์แต่ละชนิด รวมทั้งลักษณะและชนิดของหินฟอสเฟตด้วย โดยทั่วไปแล้วเชื้อราจะมีความสามารถสูงกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ในระดับความลึกของดินที่แตกต่างกันจะมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตแตกต่างกัน ในดินบนจะมีปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มนี้สูงกว่าดินชั้นล่างๆ ลงไป ธงชัยและคณะ (2546) ได้ศึกษาปริมาณเชื้อราและแบคทีเรียดังกล่าวในชุดดินร้อยเอ็ด 2 ระดับความลึกพบว่าดินชั้นบน (0 ถึง 15 เซนติเมตร) จะมีเชื้อราและแบคทีเรียละลายฟอสเฟตได้ 21.03×10^4 เซลล์ต่อกรัมและ 29.95×10^4 เซลล์ต่อกรัม ส่วนในดินล่าง (15 ถึง 30 เซนติเมตร) จะมีปริมาณต่ำกว่า กล่าวคือมีปริมาณเชื้อราและแบคทีเรีย 6.75×10^4 เซลล์ต่อกรัมและ 6.32×10^4 เซลล์ต่อกรัม

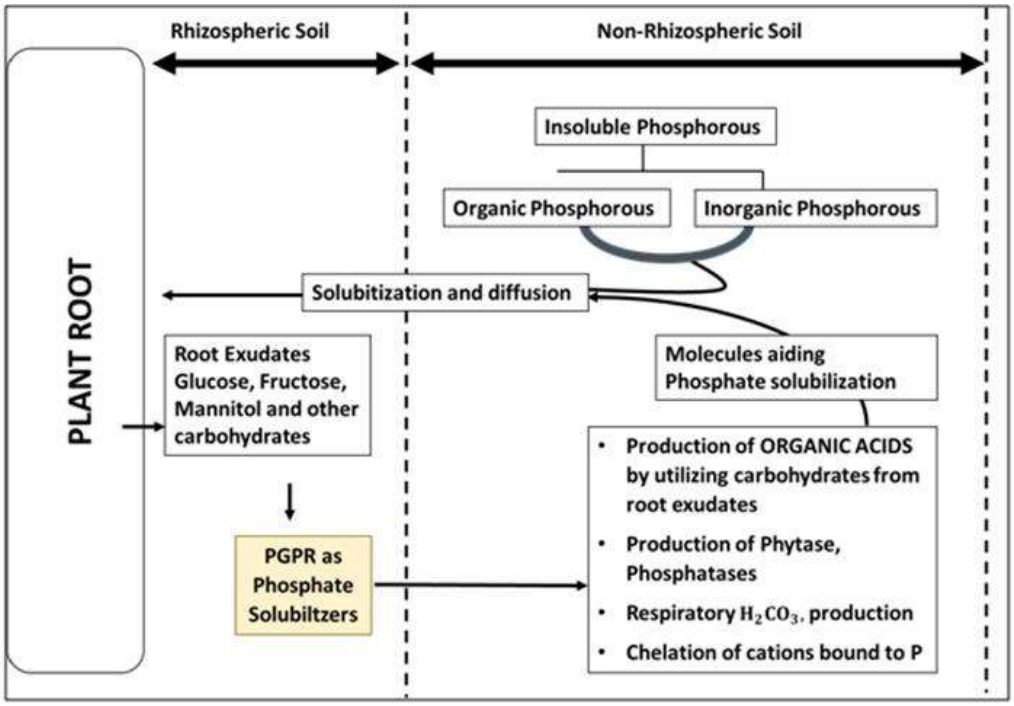
3) การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยออกมาโดยจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศและกึ่งใช้อากาศ เมื่อก๊าซนี้รวมเข้ากับความชื้นในดินจะก่อให้เกิดกรดคาร์บอนิกอ่อนๆ กรดนี้จะเปลี่ยนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ที่อยู่รอบๆ และก่อให้เกิดการปลดปล่อยฟอสเฟตรูปที่ละลายได้ออกมา

4) การสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ จุลินทรีย์บางชนิดปลดปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมาซึ่งจะไปทำปฏิกริยากับเหล็กซัลเฟตในดินและหนึ่งในผลิตผลสุดท้ายของปฏิกริยาดังกล่าว คือ อนุมูลออร์โทฟอสเฟตที่ละลายได้

5) การใช้สารฮิวมิก การย่อยสลายเศษพืช และซากสัตว์โดยจุลินทรีย์จะเกิดกรดฮิวมิก และกรดฟุลวิกขึ้นมา กรดทั้งสองจะไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมเหล็กและอะลูมินั่ม ดังนั้นฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่กับธาตุดังกล่าวจะปลดปล่อยออกมาจึงทำให้ได้ออร์โทฟอสเฟต

6) เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (exopolysaccharide; EPS) โพลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์มีบทบาทในการเป็นสื่อกลางในการละลายฟอสฟอรัส เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เป็นโพลิเมอร์ที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่ขับออกมาจากแบคทีเรีย และราบางชนิดลงบนด้านนอกของผนังเซลล์ ซึ่งองค์ประกอบและโครงสร้างจะแตกต่างกันมากอาจจะเป็นโฮโมเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (homoexopolysaccharide) และเฮทเทอร์โรเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharides) จากการศึกษาแบคทีเรีย 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Enterobacter* sp. (EnHy-401) *Arthrobacter* sp. (ArHy-505) *Azotobacter* sp. (AzHy-510) และ *Enterobacter* sp. (EnHy-402) ที่มีความสามารถในการละลายไตรแคลเซียมฟอสเฟตมาใช้ในการประเมินบทบาทของเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ในการละลายฟอสฟอรัส แบคทีเรียละลายฟอสเฟตเหล่านี้ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้เป็นจำนวนมากของและแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการละลายฟอสฟอรัส

7) Direct oxidation pathway การเกิดออกซิเดชันภายนอกเซลล์ผ่านทาง Direct oxidation pathway มีบทบาทสำคัญในการใช้แคลเซียมฟอสเฟตที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้เป็นแหล่งสำคัญของแร่ฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งได้รับการยืนยันจากนักวิจัยจากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ลดลงในการละลายฟอสฟอรัสที่รูปไม่ละลายน้ำโดยแบคทีเรีย *Burkholderia cepacia* DA23 (Song *et al.,* 2008)



ภาพที่ 6.4 แผนภาพแสดงการละลายฟอสเฟตโดยไรโซสเฟียร์แบคทีเรีย (Rhizosphere bactena)
ที่มา : Goswami *et al*., 2016

6.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์

การใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตลงไปในดินจะเป็นผลอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายประการ ทั้งขนาดของประชากรจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่มีอยู่ในดินนั้นๆ ไม่ว่าจะมาจากบริเวณรอบๆ รากหรือจะมาจากผิวของเมล็ด ซึ่งจำนวนจะผันแปรไปตามสภาพแวดล้อมของดิน ดังนี้

1) ความเป็นกรดเป็นด่างในดิน

ความเป็นกรดเป็นด่างในดินที่เหมาะสมของแบคทีเรียในการละลายฟอสเฟตได้สูงสุด คือ ระดับที่เป็นกลาง อยู่ในช่วง 6.5 - 7 หรือกรดเล็กน้อย อยู่ในช่วง 5.5 - 6.5 (Baipai and Sundara, 1971) ซึ่งความเป็นกรดเป็นกลไกหลักในการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์ โดยพบว่าแบคทีเรียและราสามารถผลิตกรดคาร์บอกซิลิกที่ละลายไตรแคลเซียมฟอสเฟต (TCP) ในอาหารเลี้ยงเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยยืนยันได้ว่าความเป็นกรดที่วัดได้มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความเป็นกรดเป็นด่างและความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้

2) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบได้ทันทีต่อเซลล์จุลินทรีย์และกิจกรรมทางชีวภาพของดินโดยทั่วไปในการศึกษาจุลินทรีย์ในดินจะสามารถควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสม แต่ในธรรมชาตินั้น อุณหภูมิดินนั้นไม่ค่อยคงที่เนื่องจากอุณหภูมิระหว่างวันและฤดูกาลที่ผันแปร ดังนั้นแบคทีเรียจึงมีการตอบสนองที่แตกต่างกันไปตามอุณหภูมิที่ต่างกัน ทำให้แบคทีเรียมีความสามารถในการเจริญเติบโตในสภาวะที่อุณหภูมิสูงได้ และที่อุณหภูมิต่ำมาก เช่น 0 15 และ 20 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า โดยการสังเคราะห์กลุ่ม heat shock Proteins และ cold stock proteins ตามลำดับ ซึ่งโปรตีนเหล่านี้มีความสำคัญอย่างมากต่อการอยู่รอดของแบคทีเรีย นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลทำให้เกิดความแปรปรวนในการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่ทนความร้อนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น *B. Subtilis*

Acidithiobacillus caldus และ *B. smithii* และสายพันธุ์ที่ทนความเย็น เช่น *Pseudomonas fragi B. Subtilis* และ *B. circulans* สามารถละลายฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลมาจากระบบเอนไซม์ของแบคทีเรียสามารถทนอุณหภูมิที่สูงขึ้นได้แต่อุณหภูมิดินในเขตร้อนทั่วไปจะสูงขึ้นในช่วงฤดูร้อนอาจสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ดังนั้นการใช้เชื้อควรเลือกสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมเพื่อให้แบคทีเรียเจริญเติบโตและอยู่รอดในดินที่อุณหภูมิสูงขึ้นได้ และจากรายงานของ Chang and Yang (2009) พบว่าการใส่เชื้อแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่ทนความร้อนสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสได้มากกว่าแอคติโนมัยซีสหรือราได้

3) แหล่งคาร์บอนและพลังงาน

แหล่งคาร์บอน เช่น กลูโคส กาแลกโตส ฟรุกโตส แป้ง และแมนนิทอลที่ปลดปล่อยออกมาจากรากพืชหลายชนิดมีผลต่อการละลายฟอสเฟต (Derrien *et al*., 2004) ซึ่งจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตจะใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานแหล่งคาร์บอนดังกล่าวมีผลต่อการผลิตเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของฟอสฟอรัสอินทรีย์ (Oureshi *et al*., 2010) และฟอสฟอรัสอนินทรีย์ จากผลการศึกษาของ Nautiyal (1999) ได้ทดสอบการใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่า จุลินทรีย์สามารถผลิตกรดอินทรีย์ในปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งมีผลต่อการละลายฟอสเฟตที่สูงขึ้น Song *et al*. (2008) ทดสอบการใช้แหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกัน เช่น กลูโคส ซูโครส และมอลโตสต่อความสามารถในการละลายฟอสเฟตของ *Burkholderia cepacia* (DA23) พบว่า ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ซูโครสมีการละลายฟอสเฟตน้อยกว่าที่ใช้กลูโคสถึงสองเท่า โดยที่กลูโคสส่งผลการละลายแคลเซียมฟอสเฟตมากที่สุด ซึ่งแหล่งคาร์บอนและจุลินทรีย์ต่างกันจะทำให้ชนิดและปริมาณกรดที่ผลิตออกมาต่างกันยก เช่น กลูโคส ซูโครส กาแลคโตส และมอลโตส ที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนให้กับ *Bacillus* sp. (T - 34) ทำให้มีการผลิตกรด ซิตริก ทาร์ลิก อะซิติก และแลคติก ในความเข้มข้นที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับ *Azospirilum* (WS - I) และ Enterobacter (T - 41)

4) แหล่งไนโตรเจน

ไนโตรเจนเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมทาบอลิซึมต่างๆ เช่น การสังเคราะห์กรดอะมิโน โปรตีน และนิวคลีโอไทด์ จุลินทรีย์ดูดใช้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรต หรือกรดอะมิโน แหล่งไนโตรเจนยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อกิจกรรมการละลายฟอสเฟต (Habte and Osorio, 2012) สำหรับผลของรูปไนโตรเจนที่แตกต่างกัน เช่น แอมโมเนียม และไนเตรต ต่อการสลายตัวของหินฟอสเฟต (rockphosphate) โดยจุลินทรีย์ พบว่า การเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) หรือ แอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3) ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อลดลงจาก 7.6 เป็น 3.4 และ 3.7 ตามลำดับ ขณะที่การเติมโพแทสเซียมไนเตรด ลดระดับความเป็นกรดเป็นด่างเหลือเพียงแค่ 6.7 ดังนั้น การลดลงที่มากขึ้นบ่งบอกถึงความเป็นกรดเป็นด่างผลต่อการละลายฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญ แอมโมเนียมจึงเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญและใช้ได้ง่ายกว่าไนเตรต (Habte and Osorio, 2012)

5) การเติมปูน

การเติมปูนในอาหารเลี้ยงเชื้อจะมีผลทำให้การละลายฟอสเฟตของแบคทีเรียและราที่เลี้ยงในอาหารเหลวลดลงอย่างชัดเจน เช่น *Enterobacter intermedium* ที่แยกจากบริเวณรากหญ้าซึ่งมีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟต 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเลี้ยงในอาหารที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 1 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาเหลือ 200 - 250 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับอาหารที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้การเติมแคลเซียมคลอไรด์

และแคลเซียมคาร์บอเนต ในอาหารเลี้ยงเชื้อจะลดการละลายหินฟอสเฟตของ *Rizobium* และ *Bradyrhizobium* ซึ่งจะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย (Halder *et al*., 1990)

6) กรดฮิวมิกและอินทรียวัตถุ

การใช้กรดฮิวมิกร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น และการแลกเปลี่ยนไอออนลดลง เช่นเดียวกับการเติมโซเดียมฮิวเมตและกรดฟลูวิก โดยพบว่า *B. megaterium* var phosphaticum มีการละลายไตรแคลเซียมฟอสเฟต (tricalcium phosphate) และปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำออกมาเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณกรดฮิวมิกที่ใส่เข้าไป (Khan *et al.,* 2009) สำหรับกรดฮิวมิกและฟลูวิกทำปฏิกิริยากับไตรแคลเซียมฟอสเฟตและปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำออกมาโดยที่การใช้กรดฟลูวิกปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาได้มากกว่าโซเดียมฮิวเมต และยังมีการศึกษาในสภาพโรงเรียนเพื่อตรวจสอบผลของกรดฮิวมิก จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และระดับที่ต่างกันของฟอสฟอรัสต่อประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของถั่วชีคพี (chickpeas) พบว่าการใช้กรดฮิวมิก 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับการใส่เชื้อมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

6.3.4 ความเป็นประโยชน์ของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต

1) บทบาทของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตแต่ละชนิด

จากปัญหาข้อจำกัดของดินในการทำการเกษตร เช่น เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีธาตุอาหารพืชบางชนิดไม่เพียงพอต่อการเจริญเตบโตของพืช สภาพดินเป็นกรด มีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตจึงมีบทบาทสำคัญอย่างหนึ่งในการช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน โดยเฉพาะในดินกรด โดยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตส่วนใหญ่กระจายอยู่ทั่วไปในดินแต่พบมากในดินบริเวณรากพืช โดยจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 จุลินทรีย์ที่ช่วยเพิ่มศักยภาพในการดูดซึมธาตุอาหารพืช ซึ่งเป็นเชื้อรากลุ่มไมคอร์ไรซาที่จะช่วยดูดธาตุอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสทำให้พืชได้รับฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ไมคอร์ไรซายังช่วยป้องกันไม่ให้ฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในดินถูกตรึง การใช้เชื้อไมคอร์ไรซาเป็นปุ๋ยชีวภาพสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ กลุ่มที่ 2 จุลินทรีย์ที่ช่วยละลายฟอสเฟต จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะสร้างกรดอินทรีย์และ/หรือเอนไซม์ฟอสฟาเตส ออกมาละลายฟอสเฟตในดินที่ละลายยาก และฟอสเฟตจากหินฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในดินทำได้โดยการใส่หินฟอสเฟตร่วมกับการใช้จุลินทรีละลายฟอสเฟต สำหรับการศึกษาแนวทางการใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชมีทั้งในห้องปฏิบัติการ โรงเรือน และแปลงทดลอง พบว่าความสามารถในการละลายอนินทรีย์ฟอสเฟตโดยการแยกเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถละลายอนินทรีย์ฟอสเฟตจากดินหรือจากพืช มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยละลายอนินทรีย์ฟอสเฟต โดยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถละลายหินฟอสเฟตได้มีทั้งแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีส จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถละลายฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น เกลือแคลเซียมฟอสเฟตโดยการขับกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ออกมา กรดอินทรีย์เหล่านี้สามารถละลายหินฟอสเฟตและ คีเลตแคลเซียมไอออน (chelate calcium ion) ให้ไปอยู่ในรูปฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในสารละลายดินได้ Katznelson and Bose, 1962, Khan and Bhatnagar, 1977 พบว่าจุลินทรีย์เหล่านี้มีอยู่ในดินในปริมาณที่แตกต่างกัน และพบอีกว่าในเขตรากพืชจะมีแบคทีเรียที่ละลายหินฟอสเฟตในสัดส่วนที่มากกว่าเขตนอกรากพืช และจำนวนแบคทีเรียสามารถละลายหินฟอสเฟตในดิน

ส่วนมากแล้วจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของดินและลักษณะของการเขตกรรมมากกว่าองค์ประกอบทางกายภาพ ปริมาณฮิวมัส ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในดิน ปัจจุบันมีการศึกษาและใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์หลายชนิดในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน โดยแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์สามารถละลายฟอสเฟตได้แตกต่างกันขึ้นกับประสิทธิภาพของแบคทีเรีย ซึ่งในประเทศไทยมีการศึกษาจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต ดังงานวิจัยของ ฉัตราภรณ์ (2560) คัดแยกจุลินทรีย์ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของอ้อยจากบริเวณไรโซสเฟียร์ ซึ่งมีศักยภาพในการละลายฟอสเฟตได้มีประสิทธิภาพจำนวน 32 ไอโซเลต วุฒิชัย และคณะ (2552) ได้เก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่การเกษตรในประเทศไทย ทำการคัดแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และทดสอบประสิทธิภาพทั้งในห้องปฏิบัติการ และแปลงทดลอง ผลการทดลองพบว่า สามารถคัดแยกจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตได้ทั้งหมด 134 ไอโซเลต แยกเป็นเชื้อแบคทีเรีย 81 ไอโซเลต เชื้อรา 53 ไอโซเลต และพบว่ามีจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต 43 ไอโซเลต ที่มีประสิทธิภาพสูงในการละลาย $Ca_3(PO_4)_2$ โดยเชื้อแบคทีเรียสามารถละลายฟอสเฟตสูงสุดในช่วง 986.23 - 1,103.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ระยะเวลาการเลี้ยงเชื้อ 40 ชั่วโมง เชื้อรามีสามารถละลายฟอสเฟตสูงสุดในช่วง 886.98 - 955.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ระยะเวลาการเลี้ยงเชื้อ 48 ชั่วโมง

2) ผลการทดสอบจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในดิน

สำหรับการศึกษาในประเทศไทย ธงชัย (2546) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของเชื้อราละลายฟอสเฟต และหินฟอสเฟตที่มีผลต่อผลผลิตและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของถั่วเหลืองโดยใช้เชื้อรา 2 ชนิด คือ *Aspergillus niger* และ *A. perpulea* ผสมหินฟอสเฟตบด 3 อัตรา คือ 0 0.64 และ 1.28 กรัมต่อกระถาง ทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟส 4 อัตรา คือ 0 0.17 0.34 และ 0.51 กรัมต่อกระถาง พบว่า ในกรณีของการใส่เชื้อราร่วมกับการใช้หินฟอสเฟตบด ในอัตราต่างๆ กัน จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟตละลายออกมามากขึ้น และทำให้มีน้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเหลืองแตกต่างจากการไม่ใส่เชื้อรา วุฒิชัยและคณะ (2552) ทดสอบผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต 6 สายพันธุ์ เชื้อรา 4 สายพันธุ์ และเชื้อแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในสภาพโรงเรือนทดลองและในสภาพแปลงทดลอง พบว่า ในสภาพโรงเรือนทดลอง การใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตสามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใช้เชื้อ โดยจากสมบัติดินทดลองก่อนการทดลองมีฟอสฟอรัสทั้งหมดถึง 492 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพียง 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อใส่เชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในดิน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยการใช้เชื้อรา PSF 221 PSF 035 และเชื้อแบคทีเรีย PSB 8 ซึ่งสามารถปลดปล่อยฟอสเฟตสูงสุด 3 อันดับแรกคือ 184.65 199.17 และ 219.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพียง 10.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกันการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน สำหรับผลการทดสอบในสภาพแปลงทดลอง พบว่าแปลงที่ใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตสามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินได้มากกว่าแปลงไม่ใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยพบว่า การใช้เชื้อรา PSF 221 สามารถปลดปล่อยฟอสเฟตในดินได้สูงที่สุดคือ 47.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ เชื้อแบคทีเรีย PSB 8 สามารถปลดปล่อยฟอสเฟตในดินได้ 37.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่แปลงไม่ใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณฟอสเฟตเพียง 16.33 และ 18.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับหินฟอสเฟต พบว่าหินฟอสเฟตช่วยเพิ่มปริมาณฟอสเฟตในดิน โดยการใช้เชื้อ PSF 221 ร่วมกับหินฟอสเฟตสามารถปลดปล่อยฟอสเฟตได้สูงสุดถึง 63.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

รองลงมาคือ การใช้เชื้อแบคทีเรีย PSB 8 ร่วมกับหินฟอสเฟตสามารถปลดปล่อยฟอสเฟตได้ 53.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่การใส่หินฟอสเฟตอย่างเดียวปลดปล่อยฟอสเฟตเพียง 32.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 6.4 ผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานและปริมาณฟอสเฟตในดินในสภาพโรงเรือนทดลอง

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	ปริมาณฟอสเฟต (มก./กก.)
Control	20.63 d	10.98 f
PSB 220	24.38 c	128.67 d
PSB 8	27.13 abc	219.34 a
PSF 42	25.78 bc	133.67 d
PSF 221	29.43 a	184.65 c
PSF 3	20.56 d	94.65 e
PSF 035	28.53 ab	199.17 b
CV (%)	17.90	49.22

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแถวเดียวกันที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ที่มา : วุฒิชัย และคณะ, 2552

ตารางที่ 6.5 ผลของการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อผลผลิตข้าวโพดหวาน และปริมาณฟอสเฟตในสภาพแปลงทดลอง

กรรมวิธี	ชนิดปุ๋ย	ผลผลิตข้าวโพด (กก./ไร่)	ปริมาณฟอสเฟต (มก./กก.)
T1	ไม่ใส่ปุ๋ย ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์	1,617.78	16.33
T2	ใส่ปุ๋ยเคมี	2,240.00	18.83
T3	ใส่หินฟอสเฟต	1,902.22	32.40
T4	ใส่เชื้อแบคทีเรีย PSB 8	1,911.11	37.00
T5	ใส่เชื้อรา PSF 221	2,124.44	47.67
T6	ใส่เชื้อรา PSF 035	1,813.33	28.47
T7	ใส่เชื้อแบคทีเรีย PSB 8 + หิน	1,915.56	53.00
T8	ฟอสเฟต	1,928.89	63.67
T9	ใส่เชื้อรา PSF 221 + หินฟอสเฟต ใส่เชื้อรา PSF 035+ หินฟอสเฟต	1,848.89	47.00
CV (%)	-	17.89	49.80

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแถวเดียวกันที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ที่มา : วุฒิชัยและคณะ, 2552

นอกจากนี้การทดลองใส่เชื้อ *Aspergillus* sp. *A. niger* และ *Streptomyces* sp. กับดินพวกแลตเทอร์ไรต์ (laterilic soil) โดยใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่า ทำให้การละลายของหินฟอสเฟตและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืชเพิ่มขึ้น และทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวเพิ่มขึ้นด้วยประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ในการละลายหินฟอสเฟตจะขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วย (Banik and Ghosh, 1998)

6.4 ปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียม

6.4.1 Immobilization ของโพแทสเซียม

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีประจุบวกที่พืชต้องการมากในการเจริญเติบโต นอกจากนี้จุลินทรีย์ในดินยังสามารถนำเอาโพแทสเซียมไอออนเข้าสู่เซลล์เพื่อเสริมสร้างสารประกอบของโปรโตพลาสซึม ซึ่งเป็นกระบวนการ immobilization ดังนั้น จึงนับว่าจุลินทรีย์เป็นผู้มีบทบาทสำคัญในการลดปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนประจุบวกได้ไปจากดิน แต่กระบวนการดังกล่าวจะต้องมีปริมาณของอินทรีย์ไนโตรเจนและคาร์บอนที่มากพอ และมีไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ได้ และธาตุอาหารอื่น ๆ ที่จุลินทรีย์ต้องการเพื่อการเจริญอย่างเพียงพอด้วย การประเมินปริมาณโพแทสเซียมในเซลล์ของจุลินทรีย์ทำได้โดยการให้จุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรียวัตถุจำนวนหนึ่ง แล้วหาประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารประกอบคาร์บอนไปเป็นสารประกอบคาร์บอนในเซลล์ แล้วจึงวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมจากเซลล์ของจุลินทรีย์ พบว่าในแบคทีเรียจะมีปริมาณโพแทสเซียมประมาณ 2.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของเซลล์ ส่วนเชื้อราจะมีปริมาณโพแทสเซียม 0.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของเส้นใย และถ้ามีอัตราการ immobilization ของโพแทสเซียมเกิดขึ้นเร็วโดยจุลินทรีย์ จะทำให้ปริมาณของโพแทสเซียมที่พืชต้องการมีอยู่ในดินไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งโพแทสเซียมในดินบางส่วนได้มาจากการสลายตัวของ แร่อลูมิโนซิลิเกตโดยจุลินทรีย์ในดิน (Ullman *et al*., 1996)

6.4.2 กลไกการละลายโพแทสเซียมโดยจุลินทรีย์

โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปแร่ธรรมชาติ มี 3 รูปคือ 1) รูปที่ตรึงไว้ด้วยอนุภาคของคอลลอยด์ 2) รูปที่แลกเปลี่ยนได้ และ 3) รูปที่ละลายน้ำได้ โพแทสเซียมในธรรมชาติสามารถเป็นประโยชน์กับพืชได้ 3 วิธี คือ การสลายตัวทางกายภาพ การสลายตัวทางเคมี และการสลายตัวทางชีวภาพ ในทางชีวภาพจุลินทรีย์บางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียสกุล *Bacillus (B. circulant)* สามารถสร้างกรดอินทรีย์ออกมาละลายโพแทสเซียมออกจากแร่ดินเหนียวบางชนิดได้ บทบาทสำคัญของจุลินทรีย์ดินต่อความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องในกระบวนการ mobilization โดยการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติค กรดซิตริค กรดออกซาลิค เป็นต้น หรือกรดอินทรีย์ เช่น กรดคาร์บอนิค กรดไนตริค และกรดซัลฟูริค เป็นต้น ในการละลายแร่ และวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่สามารถปลดปล่อยกรดดังกล่าวออกมาละลายแร่อะลูมิโนซิลิเกต เช่น แบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* และ *Pseudomonas* ราในกลุ่มของ *Aspergillus Mucor Penicillium* โดยอาจละลายได้จากแร่ในกลุ่มไมก้า เช่น biotite muscovite ละลายจากแร่ในกลุ่มของเฟลด์สปาร์ เช่น microcline nephelite leucite orthoclase เป็นต้น (Alexander, 1977) นอกจากจุลินทรีย์ดังกล่าวยังสามารถแยกเอาโพแทสเซียมออกมาได้จากแร่ nephelite leucite orthoclase ด้วย Berthelin (1983) โดยกลไกที่จุลินทรีย์ใช้ในการกระตุ้นการสลายตัวของสินแร่มี ดังนี้

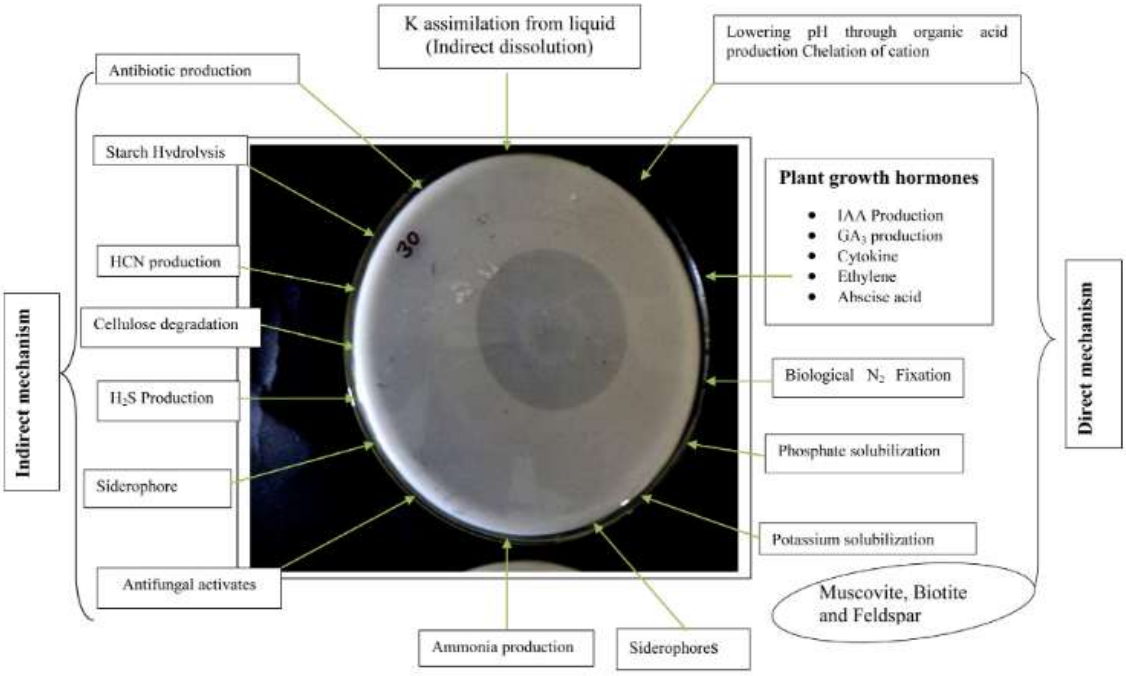
1) จุลินทรีย์เข้าไปอาศัยอยู่บนผิวหน้าของสินร่และทำให้สภาพแวดล้อมที่จุลินทรีย์อาศัยอยู่ (microenvironment) แตกต่างจากสภาพแวดล้อมในบริเวณที่ห่างออกไปซึ่งมีผลต่อการสลายตัวของสินแร่ จากรายงานของ Rogers *et al.* (1998) ได้ศึกษาการละลายตัวของแร่เฟลด์สปาร์ (feldspar)

โดยจุลินทรีย์และใช้ scanning electron microscope ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของแร่ feldspar ชนิดต่างๆที่ ใช้ศึกษา พบว่า ในตัวอย่างแร่ orthoclase และ microcline จากมลรัฐ Dakota ที่ฝังในสนามเป็นเวลา 14 เดือน มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆอยู่บนพื้นผิวของสินแร่ในขณะที่แร่ plagioclase และ microcline จากเมือง Ontario ไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อยู่เลย

2) จุลินทรีย์ผลิตกรดอินทรีย์ซึ่งสามารถส่งเสริมการละลายของสินแร่ โดยกรดอินทรีย์จะ ทำหน้าที่เป็นสารประกอบคีเลต ซึ่งสามารถรวมกับธาตุที่มีประจุบวกโดยกลไกดังกล่าวเรียกว่า ligand promote mechanism นอกจากนี้ H^+ หรือ proton จากกรดก็สามารถทำให้สินแร่ละลายได้โดยตรง (Ullman *et al*., 1996) แบคทีเรียหลายชนิดสามารถสังเคราะห์กรดอินทรีย์ได้จากกระบวนการ fermentation ซึ่งกรดอินทรีย์ที่พบ ได้แก่ acetic acid lactic acid และ butyric acid (Ullman *et al*., 1996)

3) ผนังเซลล์และโพลิเมอร์ที่แบคทีเรียขับออกมานอกเซลล์สามารถรวมตัวกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Beveridge and Fyfe, 1985; Ullman *et al*.,1996) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะส่งเสริมให้สินแร่ละลายได้ดีขึ้น

4) แบคทีเรียพวก *Arthrobacter* sp. และ *Sterptomyces* sp. สามารถสร้าง biofilm ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดและขับสารซิเดอร์โรฟอร์เมื่อเจริญอยูบนผิวสินแร่ซิลิเกตบางชนิด เช่น hornblende ซึ่งเป็นผลทำให้เหล็กละลายออกมาจาก hornblende



ภาพที่ 6.5 กลไกการละลายโพแทสเซียมโดยจุลินทรีย์

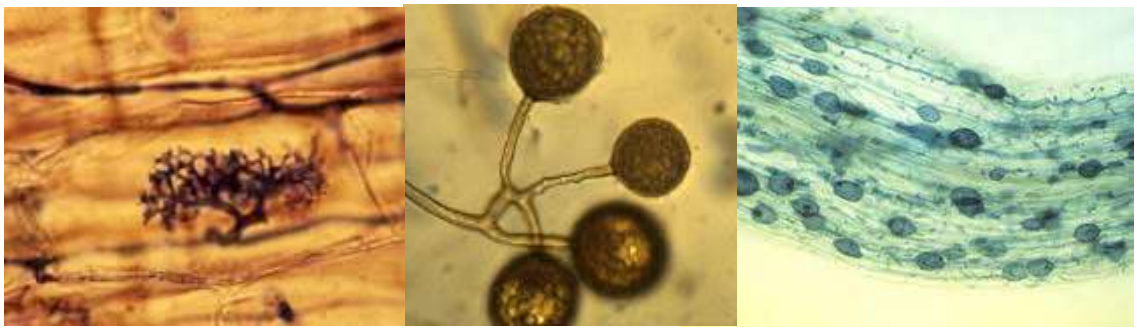
ที่มา : Meena *et al*., 2014

6.5 ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา

ไมคอร์ไรซาเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อรากับระบบรากของพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชชั้นสูง เชื้อรานั้นต้องไม่ใช่เชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคพืช ส่วนรากพืชต้องเป็นรากที่มีอายุน้อยๆ และยังทำหน้าที่หลักในการดูดน้ำและธาตุอาหารต่างๆ ให้กับพืชซึ่งเป็นการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยหรือเอื้ออำนวยประโยชน์ซึ่งกันและกัน โดยพืชให้สารประกอบคาร์โบไฮเดรตและสารประกอบอื่นๆ จากกระบวนการเมทาบอลิซึมที่มีประโยชน์แก่รา และราช่วยเพิ่มธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและธาตุอื่นๆ ให้กับพืช นอกจากนี้เชื้อไมคอร์ไรซายังช่วยปกป้องรากพืชจากการเข้าทำลายของเชื้อโรค เชื้อราไมคอร์ไรซาเป็นส่วนหนึ่งในระบบนิเวศของพืชและเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืชโดยเฉพาะในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของพืช เชื้อราจะช่วยดูดซับความชื้นให้แก่กล้าไม้และจะช่วยให้กล้าไม้มีชีวิตอยู่รอดได้ในช่วงวิกฤตจากความแห้งแล้ง (Mikola, 1973) พันธุ์ไม้ชนิดหนึ่งอาจมีเชื้อราไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่หลายชนิดและเชื้อราไมคอร์ไรซาชนิดหนึ่งๆ อาจจะอยู่ร่วมกับพันธุ์ไม้ได้หลายชนิดการมีชีวิตอยู่ร่วมกันระหว่างเชื้อราไมคอร์ไรซากับระบบรากของพืชมีความสำคัญยิ่งต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืชโดยจะทำให้ระบบนิเวศป่าไม้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

6.5.1 เชื้อราเอ็นโดไมคอร์ไรซา

เวสิคูลาร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (vesicular arbuscular mycorrhiza) เป็นเชื้อราที่พบอยู่ในดินเกือบทุกหนทุกแห่ง สามารถเข้าสู่รากพืช และอาศัยร่วมกันกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยกันและกัน โดยเชื้อราจะได้รับที่อยู่อาศัย และสารอาหารคาร์โบไฮเดรตจากพืช ในขณะที่พืชจะได้รับธาตุอาหารต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสรวมทั้งน้ำ และยังเป็นเกราะป้องกันอันตรายจากเชื้อสาเหตุของโรคพืชต่างๆ ได้ระดับหนึ่ง เชื้อรานี้ มีเส้นใยไม่มีผนังกั้น การเจริญเติบโตต้องอาศัยอยู่กับรากพืชชนิดต่างๆ เท่านั้นจึงจะเจริญเติบโตได้ ไม่เจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อใดๆ เชื้อราจะสร้างใยราสานกันอย่างหลวมๆ อยู่รอบๆรากพืช บางส่วนเจริญเข้าไปภายในรากโดยอยู่ระหว่างเซลล์ บางส่วนอยู่ภายในเซลล์ในชั้นคอร์เท็กซ์ ใยราที่อยู่ภายในเซลล์จะพัฒนาตัวเองเป็นโครงสร้างดูดอาหาร (haustoria) 2 แบบ คือ แบบแตกแขนงคล้ายพุ่มไม้เรียกว่า อาร์บัสคูล (arbuscule) และแบบกลมคล้ายรูปไข่ เรียกว่า เวสิเคิล (vesicle) บางครั้งพบทั้งสองโครงสร้างในขณะเดียวกัน เชื้อราพวกนี้แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ



A B C

ภาพที่ 6.6 A) Arbuscule of arbuscular mycorrhizal fungi B) Spores of arbuscular mycorrhizal fungi C) Vesicle of an endormycorrhizal fungus in root

ที่มา : www.uni-kieln.de/.../agbothe/mykorr/euproj.htm,
www.apsnet.org/.../PhotosE-H/endomycorrhiza.htm

1) เชื้อราเอ็นโดไมคอร์ไรซาแบบที่ใยรามีผนังกั้น (septate fungi)

ใยราจะเข้าไปอยู่ทั้งระหว่างเซลล์และอาศัยอยู่ในเซลล์รากพืชในช่วงระยะเวลาสั้นๆ (Smith, 1980) ได้แก่

1.1) เชื้อราอีริคอยด์ไมคอร์ไรซา (ericoid mycorrhizal fungi) ได้แก่ เชื้อราในสกุล *Armanila* sp. *Cortinarius* sp. และ *Boletus* sp. เป็นเชื้อราในชั้น *Basidiomycetes* เชื้อราจะสร้างขดของใยราภายในเซลล์ของรากพืช (intracellular coils) และกลุ่มใยรานอกรากพืช (extramatrical hyphae) พบในพืชสกุล *Calluna* sp และ *Vaccinum* sp. เป็นต้น

1.2) เชื้อราอาร์บูทอยด์ไมคอร์ไรซา (arbutoil mycorrhizal fungi) เป็นเชื้อราที่สร้างใยราสานกันเป็นแผ่น มีการสร้าง hartig net และเจริญเข้าสู่ภายในเซลล์ของรากพบในพืชวงศ์ *Ericaceae* เช่น *Arbutus* sp. และ *Arctosphylos* sp. วงศ์ *Pyrolaceae* เช่น *Pyrola* sp. เป็นเชื้อราในชั้น *Basidiomycetes* บางครั้งเชื้อราอาจมีความสัมพันธ์แบบเอ็คโตไมคอร์ไรซา หรือเอ็นเท็นโดไมคอร์ไรซากับพืชอาศัยชนิดอื่นๆ เช่น *Cortinarius saki* ซึ่งเป็นอาร์บูทอยด์ไมคอร์ไรซากับพืช *Arbutius menriesi* แต่เป็นเอ็คโตไมคอร์ไรซากับ *Pseudotsuga donglasii* เป็นต้น

1.3) เชื้อราออร์คิดไมคอร์ไรซา (orchid mycorrhizal fungi) เชื้อรากลุ่มนี้ได้แก่ Rhizoctonia-like fungi ในระยะ perfect stage ที่เป็นพวก *Tremellaceae* และ *Tulasnellaceae* ซึ่งพึ่งพาอาศัยกับกล้วยไม้สีเขียว (green orchids) ส่วนเชื้อราพวก *Basidiomycetes* อาศัยอยู่รวมกับพืชพวก achlorophyllous orchids เช่น *Armillaria melea* (Vahl) Kummer พบอยู่กับ japanese orchid (Gastrodis elata) และ *Galeola septrionialis* ในบางครั้งเชื้อราในกลุ่มนี้อาจมีความสัมพันธ์แบบเอ็คโตไมคอร์ไรซา เช่น *Rhizoctoria gardner* กับพืช *Melaleuca Urucinata* และ *Eucalyptus* sp. ในขณะที่ *Rhizoctonia* sp. และ *Armillaria Mallea* เป็นเชื้อสาเหตุของโรคพืช แต่ไม่ทำให้พืชในวงศ์ *Orchidaceae* เป็นโรค (ธงชัย, 2546)

2) เชื้อราเอ็นโดไมคอร์ไรซาแบบที่ใยราไม่มีผนังกั้น (non-seplate fungi) ได้แก่ เชื้อราเวสิคูลาร์-อาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซา (Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal fungi; VAM) หรือที่เรียกว่าเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซา (VA mycorrhiza) พบได้ทั่วไปในป่าเขตร้อนในพืชหลายชนิดทั้งไบรโอไฟต์ (bryophyte) พิเทอริโดไฟต์ (peteridophyte) จิมโนสเปิร์ม และแองกิโอสเปิร์ม มีทั้งพืชใบเลี้ยงคู่และใบเลี้ยงเดี่ยวหลายชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในทางป่าไม้ เช่น เมเปิล (maple) กัม (gum) ไซคามอร์ (sycamore) ฝ้าย (cotton wood) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม มีพืชบางชนิดที่ไม่พบเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซา เช่น ผักโขม (*Amaranthus ciridis*) เฟื่องฟ้า (*Bouginsillea glabra*) ผักกาด (*Brassica* spp.) ตำแยตัวเมีย (*Flenya interrupt*) ผีเสื้อ (*Dianthus chinensis*) ผักเบี้ยทะเล (*Sesuvium protulacastrum*) ว่านกาบหอย (Rhoco sidcolor) เป็นต้น

6.5.2 ลักษณะของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซา

วีเอ-ไมคอร์ไรซาเป็นเชื้อราที่พบอยู่ในดินเกือบทุกหนทุกแห่ง เป็นเชื้อราเอ็นโดไมคอร์ไรซาแบบที่ใยราไม่มีผนังกั้น สามารถเข้าสู่รากพืชและอาศัยร่วมกันกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยกันและกัน โดยเชื้อราจะได้รับที่อยู่อาศัยและสารอาหารคาร์โบไฮเดรตจากพืช ในขณะที่พืชจะได้รับธาตุอาหารต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสรวมทั้งน้ำและยังเป็นเกราะป้องกันอันตรายจากเชื้อสาเหตุของโรคพืชต่างๆ ได้ระดับหนึ่ง เชื้อราพวกนี้มีลักษณะภายนอกที่ปรากฏให้เห็นแตกต่างจากเอ็คโตไมคอร์ไรซา โครงสร้างที่มีลักษณะพิเศษของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซา มีดังนี้

1) อาร์บัสคูล

เป็นโครงสร้างที่อยู่ภายในของเซลล์รากพืชชั้นคอร์เท็กซ์ มีลักษณะคล้ายฮัสทอเรีย (haustoria) เกิดจากการแตกแขนงของใยราแบบ 2 แขนงต่อเนื่อง (dichotomous branching) แขนงของใยราจะแทรกทะลุผนังเซลล์ของพืชเข้าไปในเซลล์ ปลายแขนงสุดท้ายของใยรามีขนาดเล็กมากใกล้เคียงกับขนาดของไมโตคอนเดรียของพืช และไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา อาร์บัสคูลมีอายุสั้น ประมาณ 1 ถึง 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นผนังก็จะสลายไปบางส่วนของไซโตพลาซึมจะไหลกลับไปยังใยราหลัก บางส่วนสลายไปและประกอบขึ้นเป็นไซโตพลาซึมของเซลล์รากพืช อาร์บัสคูลอาจเกิดขึ้นให้เห็นได้ภายใน 2 ถึง 3 วันหลังจากเชื้อเจริญเข้าสู่รากแล้วทำให้พื้นที่สัมผัสของเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์รากพืชเพิ่มขึ้นอีก 2 ถึง 3 เท่า

2) เวสิเคิล

เป็นโครงสร้างที่มีรูปร่างคล้ายถุงที่โป่งพองออกบริเวณส่วนปลายของใยรา ภายในประกอบด้วยหยดไขมัน (phospholipid) เป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับเก็บสะสมอาหารของเชื้อรา เมื่อผิวนอกของเนื้อเยื่อชั้นคอร์เท็กซ์ของรากหลุดออกไป เวสิเคิลจะโผล่ออกมาสู่ดิน ต่อมาอาจจะงอกและทำหน้าที่เป็นส่วนขยายพันธุ์ของราต่อไปได้ ปกติแล้วเวสิเคิลจะเกิดขึ้นหลังอาร์บัสคูล จะเกิดขึ้นมากหลังการใส่ปุ๋ยจุลธาตุที่เป็นโลหะ ได้แก่ เหล็ก ทองแดง สังกะสีและแมงกานีส และมักเกิดกับรากฝอยมากกว่ารากอื่นๆ โครงสร้างของผนังเซลล์ องค์ประกอบภายใน และจำนวนของเวสิเคิลของราแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป

3) ใยรานอกรากพืช (external hyphae; extraradical hyphae)

เป็นโครงสร้างที่สำคัญของเชื้อรา ประกอบด้วยใยราที่อยู่นอกรากพืชสานกันเป็นร่างแหทำให้พื้นที่ในการดูดธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น ใยรานอกรากพืชมี 2 ลักษณะคือ (1) ใยราหลักที่มีขนาดใหญ่ ปกติมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8 ถึง 12 ไมโครเมตร บางครั้งอาจมีขนาดใหญ่ถึง 20 ไมโครเมตรได้ แตกแขนงออกด้านข้างคล้ายราก ทำหน้าที่ดูดอาหารเมื่อพบอาหารที่เหมาะสมและ (2) กลุ่มใยราขนาดเล็กที่แตกแขนงออกมาจากใยราหลัก มีผนังบาง ทำหน้าที่แทรกตัวเข้าไปในอนุภาคของอินทรียวัตถุและดิน เมื่ออาหารหมดไซโตพลาซึมจะเคลื่อนที่กลับเข้าสู่ใยราหลัก แล้วสร้างผนังกั้น แขนงใยราก็จะเหี่ยวไป

4) สปอร์พักตัว (resting Spore)

เป็นโครงสร้างพิเศษของราที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการพักตัวเมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม มีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมจะงอกและเจริญเข้าสู่รากพืชที่เหมาะสมต่อไปได้

6.5.3 กระบวนการของเชื้อราไมคอร์ไรซาในการดูดกินธาตุอาหารพืช

เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาปกติจะสร้างใยราเจริญเข้าไปในเซลล์ หรือระหว่างเซลล์ชั้นคอร์เท็กซ์เท่านั้น ไม่เจริญเข้าไปในชั้นเยื่อเจริญ หรือชั้นเอ็นโดเดอร์มีส โดยอาร์บัสคูลเป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่ส่งถ่ายธาตุอาหารต่างๆ เช่น ฟอสฟอรัสให้แก่พืชขณะเดียวกันก็ได้รับสารอาหารคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน และสารอินทรีย์อื่นจากพืชผ่านทางอาร์บัสคูลนี้ อาร์บัสคูลมีอายุสั้นเมื่อแก่จะสลายตัวไปส่วนเวสิเคิลจะมีลักษณะเป็นกะเปาะคล้ายคลาไมโคสปอร์ (clamydospore) ของรารูปร่างไม่แน่นอน อาจกลม หรือ รี เมื่อเวสิเคิลหรือรากพืชพบสลายตัวไป ก็จะร่วงลงสู่ดิน เวสิเคิลเป็นโครงสร้างสำคัญที่ใช้ในการจำแนกชนิดของเชื้อรานี้ เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาจะไม่สร้างใยราที่อัดกันแน่นเป็นแผ่นรอบรากพืช แต่จะสร้างใยรานอกรากพืชเจริญต่อกันเป็นร่างแหผ่านไปได้ในรัศมีหลายเมตรในดิน Smith (1980) พบว่าเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาสามารถสร้างใยราที่มีความยาวมากกว่า 1 เมตรได้ในขณะที่เจริญเข้าไปในรากได้เพียง

1 เซนติเมตรเท่านั้น และเมื่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ในดินเหมาะสมชิ้นส่วนของราแบบต่างๆ ได้แก่ สปอร์ ใยราที่มีอยู่ในดินและในรากที่ติดเชื้อ จะเริ่มงอกใยราพุ่งเข้าหารากพืชที่อยู่ใกล้เคียง พืชแต่ละชนิดอาจมีสารที่ปลดปล่อยออกมาจากรากพืช หรือ root exudate ที่แตกต่างกัน องค์ประกอบของสารเหล่านั้นชักนำให้เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซางอกและเจริญเข้าหารากพืชต่อไป เมื่อใยราของราเจริญถึงรากของพืชแล้วราจะสร้างโครงสร้างที่เรียกว่า แอพเพรซอเรียม (appressorium) เพื่อเกาะยึดกับรากของพืชที่เซลล์ผิวชั้นนอกสุดของราก โดยเชื้อราสามารถเข้าสู่รากพืชได้ 3 ทาง คือ 1) ทางขนราก (root hair) 2) ทางเซลล์ผิว (epidermis) และ 3) เซลล์ชั้นนอก (exodermis) ของเซลล์รากแก่ที่เซลล์ชั้นผิวฉีกขาด ใยราจะเจริญจากแอพเพรซอเรียมเข้าสู่ภายในรากพืช ผ่านเนื้อเยื่อพืชชั้นเซลล์ผิว เซลล์ชั้นนอกและเข้าสู่ชั้นคอร์เท็กซ์ต่อไป ในระยะนี้ใยราของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาจะเจริญอยู่ระหว่างเซลล์ของพืช ใยราจะไม่เจริญเข้าไปในเซลล์ชั้นในเอนโดเดอร์มีสของรากพืช ปลายราก และเซลล์ที่มีคลอโรฟิลล์

ขั้นตอนใยราเจริญเข้าสู่ภายในราก มีดังนี้

1) การสร้างอาร์บัสคูล

ในชั้นคอร์เท็กซ์ของรากพืชใยราของเชื้อราจะเจริญผ่านผนังเซลล์ของรากพืชและสร้างโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่าอาร์บัสคูล โดยการแตกแขนงของใยราแบบสองแขนงต่อเนื่อง คล้ายพุ่มไม้เล็กๆ ดันเยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) ของรากพืชให้เว้าเข้าไป โครงสร้างนี้มักพบในชั้นคอร์เท็กซ์ชั้นใน หรือตลอดทั้งชั้นคอร์เท็กซ์ก็ได้ ปลายสุดของอาร์บัสคูลจะแคบและแหลม ในขณะที่การเกิดอาร์บัสคูลนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงในเซลล์รากพืช นิวเคลียสมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่ออาร์บัสคูลสลายตัวไปจะพบแป้งภายในเซลล์ นิวเคลียสกลับมามีขนาดเท่าเดิม โครงสร้างนี้จะมีอายุประมาณ 1 ถึง 2 สัปดาห์ ในขณะที่ยังมีชีวิตอยู่จะทำหน้าที่สำคัญในการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารจากรากสู่พืชและรับคาร์โบไฮเดรตจากพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และเมื่อหยุดการใช้งานก็จะถูกย่อยสลายโดยเซลล์ของรากพืชต่อไป

2) การเจริญของใยรานอกรากพืช

ใยราเหล่านี้อาจเจริญตามผิวรากและสร้างจุดที่จะเข้าสู่รากพืชในตำแหน่งใหม่ รวมทั้งการเจริญออกไปเพื่อขยายเครือข่ายของใยราให้กว้างขวางขึ้น ใยราที่เจริญอยู่นอกรากจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของราก ดิน และสภาพแวดล้อม

3) การสร้างเวสิเคิล

หลังจากมีการเข้าสู่รากพืชเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ราบางชนิดอาจมีการสร้างเวสิเคิลที่มีรูปร่างกลม หรือรี ทำหน้าที่ในการเก็บสะสมอาหารในรูปของไลพิดในเซลล์ชั้นคอร์เท็กซ์ของรากพืช บางโอกาสอาจพัฒนาเป็นสปอร์ได้ เวสิเคิลจะสร้างขึ้นที่ปลายสุดของใยราที่อยู่ในชั้นคอร์เท็กซ์ของรากพืช เกิดขึ้นได้ทั้งภายในเซลล์และระหว่างเซลล์ของรากพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ปกติเวสิเคิลมีช่องเปิดติดต่อกับใยราบางครั้งมีผนังกั้นจึงมองดูคล้ายคลาไมโคสปอร์ ในขณะที่มีการสร้างเวสิเคิลอาจทำให้เซลล์ชั้นคอร์เท็กซ์แตกออก ดังนั้นถ้ามีการสร้างมากๆ ก็อาจทำให้ชั้นคอร์เท็กซ์ของรากถูกทำลายไปได้

สำหรับเวสิเคิลที่เกิดอยู่ภายนอกราก มีลักษณะคล้ายกับเวสิเคิลที่สร้างอยู่ภายในรากมักเกิดเดี่ยวๆ บนใยราที่อยู่ภายนอกราก หรืออาจเกาะกันเป็นกลุ่มขนาดเล็กกว่า 0.8 มิลลิเมตร ประกอบด้วยเวสิเคิล 2 ถึง 3 อัน เกิดจากแขนงใยราเดียวกัน เวสิเคิลมีผนังหนา รูปร่างกลม รี ซึ่งอาจผันแปรไปได้มาก เส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ถึง 150 ไมโครเมตร ภายในเวสิเคิลมีองค์ประกอบที่ค่อนข้างเข้มข้น มีหยดไขมันและนิวเคลียสมาก

4) การสร้างสปอร์พักตัว

เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาสามารถสร้างสปอร์ใยรานอกรากพืชได้ สปอร์เหล่านี้จะทำหน้าที่พักตัวในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมและขยายพันธุ์ต่อไป การเกิดและลักษณะของสปอร์จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซา

6.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราวีเอ - ไมคอร์ไรซา

1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา รวมถึงรากพืช อีกทั้งยังมีผลต่อการเจริญของไมคอร์ไรซาเข้าสู่รากพืชอีกด้วย (Marks and Foster, 1973) โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกของสปอร์ไมคอร์ไรซาในอาหารวุ้น อยู่ประมาณ 18-25 องศาเซลเซียส (Mosse and Philips, 1971) ในสนพวก *Pinus tacta* การเข้าสู่รากพืชของไมคอร์ไรซาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 14 องศาเซลเซียส เป็น 34 องศาเซลเซียส โดยที่ 34 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่รามีการเข้าสู่รากพืชได้ดีที่สุด (Marx *et al*., 1970) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเข้าสู่รากพืชของไมคอร์ไรซา จะแตกต่างกันตามอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใย เมื่ออุณหภูมิลดลงจาก 25 องศาเซลเซียสเป็น 16 องศาเซลเซียส พบว่าการเจริญของเส้นใยพวก *Rhizopogon lecteolus* ในอาหารวุ้นจะลดลง 50 เปอร์เซ็นต์และที่อุณหภูมินี้ที่บริเวณรอบๆ รากของต้นกล้าพวกสน *Pinus radiata* พบว่าจะไม่มีการเจริญของเส้นใยรา ชนิด Raju *et al*. (1990) ศึกษาผลของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวฟ่างที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เชื้อ *Glomus macrocarpumn* เข้าสู่รากพืชได้ดีที่สุดและทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและดูดธาตุอาหารได้มากที่สุด สำหรับ *Glomus fasiculatum* ชักจูงให้เกิดการเจริญเติบโตทางลำต้นได้ดีที่อุณหภูมิ 20 และ 25 องศาเซลเซียสส่วนในการดูดธาตุอาหารจะดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เท่านั้น *Glomus intraradicus* จะทำให้การเจริญเติบโตของลำต้นและการดูดธาตุอาหารต่ำลงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

2) ความยาวของช่วงวัน

ไมคอร์ไรซารับอาหารจากพืชได้น้อยลงเมื่อความยาวของช่วงวันสั้น และหากความยาวของช่วงวันมากจะทำให้ไมคอร์ไรซามีการเจริญเติบโตเข้าสู่รากของพืชได้มากขึ้น จากการศึกษาของ Ashton (1976) ทำการศึกษาไมคอร์ไรซากับต้นยูคาลิปตัส (*Eucalyptus reguars* F. Muel) พบว่าเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่รากยูคาลิปตัสของไมคอร์ไรซาจะลดลง หากความเข้มข้นของแสงลดลงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ของวันปกติ เนื่องจากแสงจะทำให้พืชมีการสร้างคาร์โบไฮเดรตที่รากลดลง และ Harley (1969) พบว่า ความยาวของช่วงวัน (photoperiod) จะมีผลต่อการเข้าสู่รากพืชและการเจริญของไมคอร์ไรซาด้วย เมื่อเพิ่มความยาวแสงจาก 6 ชั่วโมง เป็น 16 ชั่วโมงหรือมากกว่านี้พบว่า พืชจะมีการสร้างระบบรากมากขึ้น ทำให้การเข้าสู่รากพืชและการเจริญของไมคอร์ไรซาดีขึ้น

3) ความชื้นและการระบายอากาศของดิน

ในดินที่มีความชื้นปริมาณมากเกินไปจะทำให้มีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ ซึ่งมีผลทำให้อัตราการหายใจของรากและรากพืชลดลง และอัตราการหายใจของรากพืชที่มีเชื้อราอยู่ด้วยจะสูงกว่ารากพืชที่ไม่มีเชื้อราอาศัยอยู่ด้วย พืชที่มีไมคอร์ไรซาอยู่ด้วยจะมีความทนต่อความชื้นสูงได้ดีกว่า (Melin และ Nelson, 1953) นอกจากนี้แล้วไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดมีความทนทานต่อระดับความชื้นในดินที่แตกต่างกัน เช่น ถ้าเลี้ยงเชื้อรา 2 ชนิดคือ *Cenococum graniforme* และ *Rhizopogon tutestus* ในอาหารวุ้นที่มีความชื้นต่ำมาก *C. graniforme* จะเจริญเติบโตได้ดีกว่า ซึ่งโดยส่วนมากขณะที่ดินมี

ความชื้นน้อยการเจริญของราและรากพืชจะเกิดได้ไม่ดีเท่าใดนัก นอกจากราบางชนิดที่มีความทนต่อความชื้นของดินที่ต่ำๆ ได้ซึ่งเป็นพวก *C. graniforme* (Meyer, 1964)

4) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน มีผลต่อการเจริญและกิจกรรมของไมคอร์ไรซาทั้งในกิจกรรมการงอกของสปอร์ การเจริญของไมคอร์ไรซาเข้าสู่รากพืช ซึ่งจากการศึกษาของ Mosse and Hepper (1981) พบว่าความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่อการงอกของสปอร์และการเข้าสู่รากของพืช ตลอดจนการแพร่กระจายในรากพืชนอกจากนั้นสปอร์แต่ละชนิดยังต้องการความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อเจริญเติบโตที่แตกต่างกันด้วย (Slankis, 1974) เชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดีในความเป็นกรดเป็นด่างที่ค่อนข้างเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อย (Harley, 1969) ร่วมทั้งสปอร์ของ *Gigaspora coralloidea* และ *Gigaspora heterogeans* พบบนดินที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงและเป็นกรด ต่อมา Wang *et al*. (1993) ศึกษาผลของความเป็นกรดเป็นด่างที่มีต่อเชื้อราอาบัสคูลลาไมคอร์ไรซา พบว่า เปอร์เซ็นต์การเข้าสู่รากของข้าวโอ๊ตและมะเขือเทศนั้น เชื้อ *Glomus caledonium*, *Glomus albidu*m, *Glomus etunicatum*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus fassiculatum*, *Glomus* sp., *Acaulospora* spp. และ *Scutellospora calospora* มีการเข้าอยู่อาศัยในข้าวโอ๊ตและมะเขือเทศในดินที่มีระดับความเป็นกรดเป็นด่าง 5.5 - 5.7 ส่วนเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาพวก *Glomus tenue* จะพบการเข้าอาศัยในรากข้าวโอ๊ตและมะเขือเทศน้อยที่ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง 5.5 - 6.5 และไม่พบการเข้าอาศัยในรากพืชทั้ง 2 ชนิดเมื่อดินมีระดับความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.5 ดังนั้น การปลูกพืชที่มีการใช้ไมคอร์ไรซาควรรู้สภาพความเป็นกรดเป็นด่าง เนื่องจากไมคอร์ไรซาบางชนิดมีความทนทานต่อสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดินต่างกัน ซึ่งหากดินมีค่าความเป็นกรดเป็นค่างไม่เหมาะสม อาจต้องเลือกใช้ชนิดของไมคอร์ไรซาที่ทนต่อสภาพความไม่เหมาะสมนั้น เพื่อเหมาะสมกับการอยู่รอดและเจริญเติบโตของทั้งเชื้อราไมคอร์ไรซาและพืช หรือหากดินมีความเป็นกรดมาก ควรจะปรับสภาพค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้เหมาะสม

5) ชนิดจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตในดิน

จุลินทรีย์อื่นและสิ่งมีชีวิตในดินบางชนิดจะมีผลต่อการเจริญของไมคอร์ไรซา กล่าวคือถ้าในดินมีปริมาณจุลินทรีย์อื่นๆ ที่เป็นพิษหรือเป็นอันตรายต่อการเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาอยู่ในปริมาณที่มากพอแล้วจะมีส่วนกระทบต่อการเจริญและการดำรงชีพของไมคอร์ไรซา เช่น Subramanian *et al*. (1995) ศึกษาผลของการปลูกเชื้อ *Frankia* sp. และ *Glomus fasiculatum* ร่วมกันในพืช *Casuarina egisatifolia* แล้วเติมธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในปริมาณจำกัด หากปลูกเชื้อ *Frankia* sp. และ *Glomus fasiculatum* พร้อมๆ กัน พบว่าการพัฒนาของปมรากและการเข้าอาศัยในรากของเชื้อราวี-ไมคอร์ไรซาเกิดขึ้นช้า และถ้าปลูกเชื้อ *Frankia* sp. ลงไปในพืชหลังจากที่ปลูกเชื้อ *Glomus fasiculatum* ไปแล้ว 60 วัน จะมีเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในรากของเชื้อ *Glomus fasiculatum* ต่ำกว่าพืชที่ปลูกเชื้อ *Frankia* sp. และ *Glomus fasiculatum* ไปพร้อมๆ

6) ธาตุอาหาร

ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแร่ธาตุอาหารในดิน และเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซา โดยพบว่าเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาสามารถเจริญอาศัยในรากพืชได้ดี เมื่อมีปริมาณธาตุอาหารในดินต่ำ โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส เช่น จากการศึกษาของ Mosses และ Philips (1971) พบว่า ในดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงหรือ การใส่ปุ๋ย

superphosphate monocalcium phosphate ปริมาณมากลงไปในดิน จะทำให้การเจริญของพืชที่มีไมคอร์ไรซาและไม่มีไมคอร์ไรซาไม่แตกต่างกัน

6.5.5 ความเป็นประโยชน์ของเชื้อราไมคอร์ไรซา

เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาได้ถูกนำมาใช้ในทางการเกษตรอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน และได้มีการศึกษาถึงประโยชน์ด้านต่างๆ กันอย่างมากมายทั้งนี้ในการวิจัยได้คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมและพืช

1) ช่วยให้พืชดูดกินธาตุอาหารได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ยากในดิน จากการทดลองในถั่วเหลืองที่ใส่เชื้อราไมคอร์ไรซา พบว่าการเจริญและผลผลิตของถั่วเหลืองจะเพิ่มมากขึ้น 34 - 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการใส่เชื้อราไมคอร์ไรซา และพบการสะสมธาตุอาหารพวกฟอสฟอรัส ไนโตรเจน ทองแดง และแมงกานีสในส่วนใบได้มากกว่าถั่วเหลืองที่ไม่ได้ใส่เชื้อราไมคอร์ไรซาลงไป ต่อมามีการทดลองสนับสนุนดังกล่าว ซึ่งได้แก่ในปี 1989 Singh and Tilak ได้ศึกษาผลของเชื้อรา *Glomus versiforme* ที่มีต่อถั่วเขียว (chickpea) พบว่า ในพืชที่ใส่เชื้อราไมคอร์ไรซาจะมีน้ำหนักปม และจำนวนปมต่อต้นเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าพืชที่ไม่ได้ใส่เชื้อ และปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้นเพิ่มขึ้นด้วย ไม่ว่าจะใช้ปุ๋ย single superphosphate หรือใส่เชื้อ *G. Versiforme* Daft and EL-Giahmi (1976) ได้ทำการศึกษาในถั่วลิสง พบว่า ผลผลิต ขนาดของต้นพืช และองค์ประกอบทางเคมีภายในต้น รากและเมล็ดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่เชื้อ *G. mosseae* โดยเชื้อรานี้จะกระตุ้นให้เกิดขบวนการตรึงไนโตรเจน และการเพิ่มปริมาณของปมมากขึ้น การใช้เชื้อราชนิดนี้ร่วมกับไรโซเบียมแล้วใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเล็กน้อย พบว่า จำนวนน้ำหนักแห้งของต้นกับรากและจำนวนปมมีปริมาณมากกว่าในการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยหรือในการทดลองที่ใส่เชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นแล้ว ในส่วนประกอบต่างๆ ดังกล่าวพบว่ามีฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในปริมาณสูงอีกด้วย Marx *et al*. (1970) ทำการทดลองการใช้เอ็นโดไมคอร์ไรซาในมะนาว และส้มพบว่าส้มที่มีเอ็นโดไมคอร์ไรซา ชนิด *G. mosseae* จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าทั้งด้านความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและใบมากกว่าต้นที่รากไม่มีเอ็นโดไมคอร์ไรซา

2) ช่วยละลายฟอสฟอรัสในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อทั้งพืชและเชื้อราใยราในดินจะมีปริมาณมากและชอนไชไปในดินได้อย่างกว้างขวางและทั่วถึง จากผลการทดลองของ Jintaridth and Keliens (1996) พบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 0 - 0.1 กรัม P_2O_5 ต่อกระถางร่วมกับวีเอ-ไมคอร์ไรซาให้การเจริญเติบโตดีกว่าปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตอย่างเดียว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าฟอสฟอรัส ส่วนหนึ่งของปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตได้ถูกตรึงอยู่ในรูปอะลูมินั่มฟอสเฟต ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช แต่เมื่อเพิ่มอัตราฟอสเฟตตั้งแต่ 0 - 0.1 กรัม P_2O_5 ต่อกระถาง ขึ้นไปถึงระดับ 2 กรัม P_2O_5 ต่อกระถาง พบว่าพืชสามารถดูดใช้ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตได้มากกว่าปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับวีเอ-ไมคอร์ไรซา และปุ๋ยหินฟอสเฟตไม่ร่วมกับ วีเอ-ไมคอร์ไรซา แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบฟอสเฟตของปุ๋ยหินฟอสเฟตทุกอัตราแล้วพบว่า การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับ VAM มีประสิทธิภาพการดูดใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสและการเจริญเติบโตของพืชดีกว่าปุ๋ยหินฟอสเฟตไม่ร่วมกับ VAM

3) ช่วยดูดและเปลี่ยนธาตุอาหารจากหินแร่ที่สลายตัวยาก ไมคอร์ไรซามีส่วนในการช่วยดูดซึมและเปลี่ยนธาตุอาหารจากพวกอินทรียวัตถุต่างๆ ที่ยังสลายตัวไม่หมด หินแร่ที่สลายตัวยาก หรือมีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ถูกตรึง (phosphorus fixation) โดยทางเคมีจะรวมตัวกับเหล็ก อะลูมินั่ม แคลเซียมหรือแมกเนเซียม ทำให้ไม่ละลายน้ำและอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยไมคอร์ไรซาจะช่วยดูดธาตุอาหารเหล่านี้ ผ่านทางเซลล์ของเชื้อราไปสู่เซลล์ของรากพืชในรูปของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ ทำให้พืชนำไปใช้ต่อให้เป็นประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ (Mosse, 1981) ต่อมา Gerdeman (1968) ได้ศึกษาถึงผลของการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ซึ่งปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาจะ

เจริญได้ดีกว่าข้าวโพดซึ่งไม่ปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา ในดินที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส หรือมีธาตุฟอสฟอรัสในรูปที่พืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ จากผลการศึกษาพบว่า ข้าวโพดที่มีเชื้อนี้อยู่จะสามารถดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสจากดินได้มากกว่าพวกที่ไม่มีไมคอร์ไรซา นอกจากนั้น จากการศึกษาของ Barea *et al*., (1980) ในดินที่มีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ถูกตรึงมาก ทำให้มีฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย ควรใช้ไมคอร์ไรซาแทนการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส เพราะไมคอร์ไรซาจะช่วยทำให้พืชสามารถนำเอาฟอสฟอรัสในดินมาใช้ได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการจะปลูกพืชในดินที่มีฟอสฟอรัสในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้หรือได้น้อยจำเป็นจะต้องมีการคัดเลือกพันธุ์ของไมคอร์ไรซาที่เหมาะสมด้วย จึงจะทำให้การใช้ไมคอร์ไรซามีส่วนในการเพิ่มการเจริญเติบโตให้กับพืชเหล่านี้ได้ นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยสนับสนุนของ Bartolome-Esteban and sehenck (1994) พบว่า พืชตระกูลถั่วพวกอัลฟัลฟา (Medicago sativa) จะสามารถปลูกขึ้นและเจริญเติบโตในดินที่มีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ ถ้ามีการคัดเลือกและใช้ไมคอร์ไรซาชนิด Glomus mosseae ซึ่งจะช่วยให้พืชดูดธาตุอาหารได้เพิ่มมากกว่าเมื่อใช้เชื้อราชนิดพื้นเมืองหรือเชื้อราที่มีอยู่แล้วในดินตามธรรมชาติ และยังมีผลทำให้การดูดธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและน้ำหนักแห้งของพืชเพิ่มขึ้นด้วย

4) เกิดการเปลี่ยนแปลงและเพิ่มกิจกรรมของเซลล์ของรากพืช

เชื้อราไมคอร์ไรซาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและเพิ่มกิจกรรมของเซลล์ของรากพืชที่เชื้อราเข้าไปถึง ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Mosse, 1981; Fan *et al*., 2008) ดังนี้

4.1) การเพิ่มกิจกรรมของไซโตพลาสซึม (cytoplasm) โดยจะทำให้ช่วยเพิ่มอัตราการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากที่ไกลจากดินไปสู่พืชได้ดีขึ้น

4.2) การสร้าง organelle ใหม่ เพิ่มขึ้นภายในเซลล์ เช่น mitochondria endoplasmic reticulum ribonucleic acid และอื่นๆ

4.3) การเพิ่มปริมาตรหรือโป่งพองของนิวเคลียสซึ่งอาจมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 2 - 3 เท่า ซึ่งจะช่วยเพิ่มการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ และมีบทบาทในการแสดงออกทางพันธุกรรม

4.4) การสลายตัวของแป้งที่เก็บไว้ในหมวกราก (root cap) ซึ่งพบว่าในเซลล์ที่เชื้อราเจริญเข้าไปด้านในจะไม่พบเม็ดแป้ง หรือฟรุกโตส แต่จะพบปริมาณกลูโคส เพิ่มขึ้นมากกว่าพืชที่ไม่มีไมคอร์ไรซา ทั้งนี้เนื่องจากมาจากไมคอร์ไรซามีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง ในการเปลี่ยนแปลงแป้งหรือน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก

4.5) อัตราการหายใจและกิจกรรมของเอ็มไซม์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของพืชที่มีไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่

5) ช่วยผลิตฮอร์โมน วิตามิน กรดอะมิโนและสารเร่งการเจริญเติบโตให้พืช ไมคอร์ไรซาช่วยผลิตสารเสริมการเจริญการเติบโต เช่น ฮอร์โมน วิตามิน ให้แก่พืชด้วย

6) ทำให้รากทนทานต่อความแห้งแล้งและฟื้นตัวจากการขาดน้ำเร็วขึ้น

พืชที่มีเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ที่รากจะมีความสามารถในการทนแล้งได้มากกว่ารากปกติ เป็นเพราะว่าใยราช่วยดูดน้ำให้แก่พืชได้ด้วย เนื่องจากไมคอร์ไรซามีส่วนช่วยในการเพิ่มความร่วนซุยให้กับดิน จนทำให้รากสามารถที่จะชอนไชลงไปในดิน และดูดน้ำได้มากกว่ารากพืชที่ไม่มีเชื้อนี้ และการมีเส้นใยปกคลุมที่รากจะทำให้ความชื้นได้มากขึ้น โดยเกิดการระเหยความชื้นได้น้อยกว่ารากที่ไม่มีเส้นใยเชื้อราเหล่านี้ปกคลุมและมีส่วนทำให้พืชสามารถฟื้นตัวภายหลังการขาดน้ำได้เร็วขึ้น เนื่องจากการเข้าอาศัยของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาจะช่วยให้รากพืชมีความทนทานและเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมการเปิดและปิดของใบ รวมทั้งควบคุมการคายน้ำของพืช อีกทั้งกระตุ้นให้พืชมีระบบรากที่ลึก

และยาวขึ้น สำหรับในดินที่แห้งใยราจะทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากดินไปสู่รากพืช โดยการดูดซับน้ำที่เคลือบอยู่ที่ผิวเม็ดดินและนำไปยังรากพืชโดยที่พืชยังมีการคายน้ำปกติและยังพบว่า การที่เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ร่วมกับรากพืชจะช่วยให้พืชฟื้นตัวจากสภาพเครียดของน้ำได้เร็วกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่

7) ลดความรุนแรงของการเกิดโรคของพืช

โรคพืชที่เกิดขึ้นบางครั้งมาจากเชื้อสาเหตุที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น โรครากเน่า โรคโคนเน่า ซึ่งพบว่าพืชที่มีเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่สามารถช่วยลดการเกิดโรคในพืชลงได้ Ilag *et al*. 1987 ได้ศึกษาผลของ VAM ที่มีต่อเชื้อ *Rhizoctonia solani* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรค damping-off พบว่า VAM ชนิด *Glomus* sp. ที่แยกจากดินซึ่งปลูกข้าว - ถั่วเขียว - ข้าวโพดรวมกัน สามารถลดปริมาณการเกิดโรคของข้าวโพดซึ่งปลูกในดินที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อแล้ว โดยลดจากร้อยละ 66.6 เหลือเพียงร้อยละ 8.3 ส่วนในดินธรรมชาติสามารถลดการเกิดโรคลงจากร้อยละ 16.6 มาเป็นไม่เกิดโรคเลย ต่อมา Trotta *et al*., 1996 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อ *Phytophthora nicotianae* กับ VAM ชนิด *Glomus* sp. ในมะเขือเทศพบว่า VAM จะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อ *P. nicotianae* ในมะเขือเทศ โดยในมะเขือเทศที่มี VAM เจริญร่วมกับเชื้อ *P. nicotianae* จะมีอาการแห้งตายที่เนื้อเยื่อรากลดลง โดยลดอาการแห้งตายที่รากแขนงและที่ปลายรากได้มากถึงร้อยละ 63 และ 89 ตามลำดับ

8) ทำให้รากทนทานต่อความเป็นกรดมากขึ้น

ไมคอร์ไรซ่ามีส่วนในการทำให้รากพืชมีความสามารถในการทนทานต่อการเป็นกรดไม่ว่าจะเป็นความเป็นกรด - ด่าง เพิ่มความต้านทานต่อดินที่เป็นกรดจัดให้กับต้นอ่อนของพืช Heijne *et al*. (1992) ศึกษาภาวะมลพิษทางอากาศที่เกิดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ที่ก่อให้เกิดฝนกรดที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 3 - 4.3 ซึ่งมีผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดยทำการทดลองกับ *Arnica montana* L. ซึ่งเป็นพืชที่มีความไวต่อสภาพความเป็นกรดของดิน โดยทำการทดลองที่ระดับความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 2.5 3.5 4.5 และ 5.5 พบว่าที่ระดับความเป็นกรดน้อย (4.5 - 5.5) เปอร์เซ็นต์ การเข้าอยู่อาศัยในรากของเชื้อ *G. fasciculatum* จะเพิ่มขึ้นและพืชสามารถเจริญเติบโตได้เป็นปกติเมื่อเทียบกับต้นที่ไม่ได้ใส่เชื้อรา ส่วนที่ระดับความเป็นกรดสูงๆ คือ ที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 2.5 - 3.5 พบว่า พืชที่มีไมคอร์ไรซายังสามารถที่เจริญเติบโตได้แต่การเจริญเติบโตจะลดลงอย่างช้าๆ เมื่อเทียบกับพืชที่ไม่มีไมคอร์ไรซาที่ไม่สามารถเจริญเติบโต ได้แสดงให้เห็นว่าเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชสามารถทดแทนต่อสภาพความเป็นกรดของดินได้

9) ลดปริมาณและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมี

ปัจจุบันได้มีการศึกษาทดลองกับพืชหลายชนิด เช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ส้ม มันสำปะหลัง สับปะรดและคำนวณต้นทุนของผลผลิตพืช พบว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับไมคอร์ไรซาจะช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้มาก แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับดินนั้นๆ ด้วย ออมทรัพย์และคณะ (2538) ได้ทำการทดลอง ผลของเชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของสับปะรดด้วยการใส่เชื้อราวีเอ-ไมคอร์ไรซา โดยการทดลองมี 5 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ประกอบด้วยการใส่เชื้อผสม การใส่เชื่อผสมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 12 - 12 - 15 ใส่เชื้อผสมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 12 - 6 - 5 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 12 - 12 - 15 และไม่ใส่เชื่อไม่ใส่ปุ๋ยเคมี จากการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับไมคอร์ไรซาเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ให้ผลผลิตของปุ๋ยเคมี โดยกรรมวิธีที่ใส่เชื้อร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 12 - 12 - 15 และ 12 - 6 - 5 ให้ผลผลิตของสับปะรดเพิ่มขึ้นจากไม่ใส่อะไรเลย 13 เท่าและ 10.8 เท่าตามลำดับ และเมื่อใส่เชื้อกับปุ๋ยเคมีใน

อัตรา 12 - 6 - 5 เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีหรือไมคอร์ไรซาแต่เพียงอย่างเดียว สามารถทำให้ผลผลิตของสับปะรดเพิ่มขึ้น 3.6 เท่าและ 3.2 เท่า ตามลำดับ

6.6 ปุ๋ยชีวภาพส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

6.6.1 กลุ่มแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ พีจีพีอาร์ เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเข้าครอบครองพื้นที่ผิวรากพืช สามารถอยู่รอด เพิ่มจำนวน และแข่งขันกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้ อย่างน้อยที่สุด ต้องมีความสามารถดังกล่าวในช่วงเวลาที่พืชต้องการสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโต และกิจกรรมการป้องกันพืชจากปัจจัยต่างๆ และต้องสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืชได้ โดย Somers *et al.* (2004) ได้จำแนกจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชตามกิจกรรมการทำงาน ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพ เป็นจุลินทรีย์เพิ่มความเหมาะสมของธาตุอาหารต่อพืช กระตุ้นการเจริญเติบโตให้กับพืช (phytostimulators) โดยการสร้างฮอร์โมนพืช การย่อยสลายสารพิษตกค้าง (rhizoremediators) และ ควบคุมศัตรูพืช (biopesticides) โดยการผลิตสารปฏิชีวนะ และสารที่ยับยั้งกิจกรรมการทำงานของเชื้อราโรคพืช ซึ่งจากการศึกษาจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชชนิดเดียวมีการควบคุม ยับยั้งศัตรูพืชได้หลายแบบ (Kloepper, 2003) Gray and Smith (2005) แบ่งชนิดของจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชตามแหล่งที่อยู่อาศัย คือ ภายนอกเซลล์ราก บริเวณพื้นผิวราก และบริเวณไรโซสเฟียร์ เช่น *Agrobacterium Arthrobacter Azotobacter Azospirillum Bacillus Burkholderia Caulobacter Chromobacterium Erwinia Flavobacterium Micrococcous Pseudomonas* และ *Serratia* เป็นต้น และ พีจีพีอาร์ที่อยู่อาศัยภายในเซลล์ เช่น *Allorhizobium Azorhizobium Bradyrhizobium Mesorhizobium* และ *Rhizobium* ที่จัดอยู่ใน Family *Rhizobiaceae* ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้ส่วนใหญ่จัดเป็นพวกแกรมลบหรือ gram-negative รูปร่างเป็นแท่ง โดยที่จุลินทรีย์ที่พบว่าเป็นชนิดหลักในโครงสร้างสังคมจุลินทรีย์บริเวณรากพืช คือ กลุ่มของแอคติโนมัยซีส เช่น *Micromonospora* sp. *Streptomyces* spp. *Streptosporangium* sp. และ *Thermobifida* sp. ซึ่งแสดงสมบัติในการควบคุมเชื้อราโรคพืช (biological agents) (Bhattacharyya and Jha, 2012; Franco-Correa *et al.,* 2010)

6.6.2 กลไกในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

กลไกการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ ทางตรงและทางอ้อม ดังนี้ (Gupta *et al*., 2015)

1) กลไกในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางตรง

กลไกการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางตรง ประกอบด้วย การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช หรือการผลิตสารกระตุ้น ได้แก่ การตรึงไนโตรเจน การละลายฟอสเฟต การละลายโพแทสเซียม (รายละเอียดในข้อ 2 3 และ 4 ข้างต้น) การผลิตซิเดอโรฟอร์ (siderophore production) และ การผลิตฮอร์โมนพืช (phytohormone production) เป็นต้น

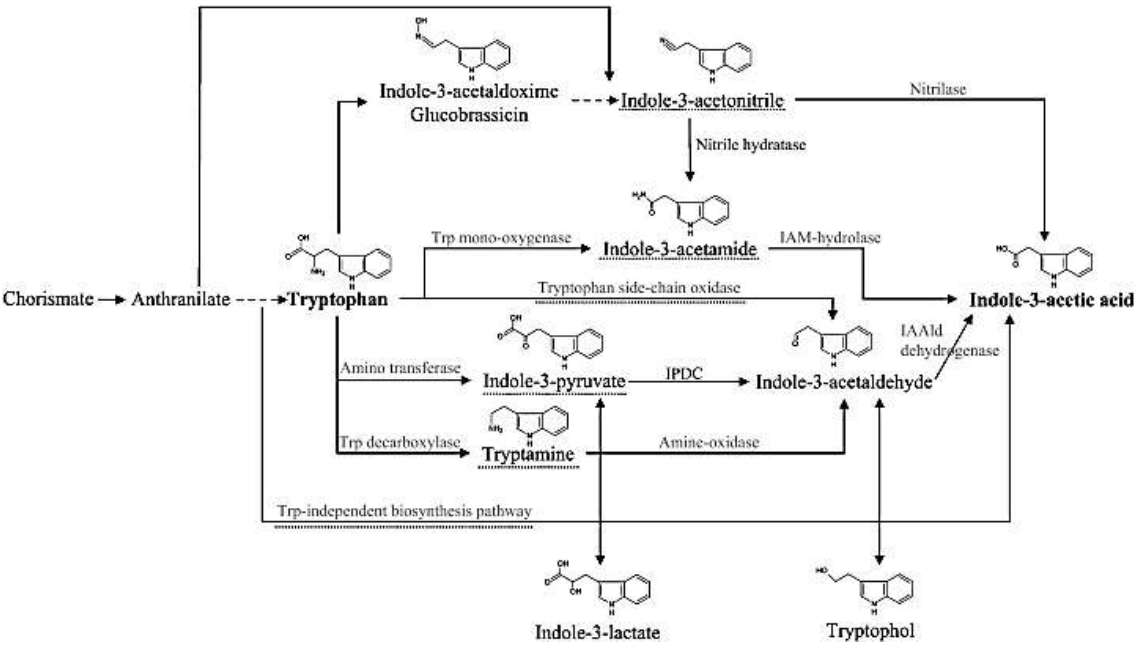
1.1) ซิเดอโรฟอร์ ช่วยส่งเสริมระดับความต้านทานโรคของพืชโดยการเพิ่มธาตุเหล็ก ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ ด้วยการเพิ่มสารปฏิชีวนะ และขัดขวางการเจริญเติบโตของเชื้อโรคโดยการจำกัดธาตุเหล็กสำหรับเชื้อโรค ซึ่งไม่สามารถที่จะดูดซับซิเดอโรฟอร์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ (Shen *et al*., 2013) และช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ เหล็กเป็นธาตุสำคัญที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ในสภาวะที่มีออกซิเจน เหล็กจะปรากฏในรูปเฟอร์ริก (Fe^{3+}) และมักจะฟอร์มอยู่ในรูปที่ละลายน้ำไม่ได้ ได้แก่ hydroxides และ oxyhydroxides ทำให้พืชและจุลินทรีย์ทั่วๆ ไปนำไปใช้ไม่ได้ ปกติแล้วแบคทีเรียจะได้รับเหล็กโดยการหลั่งสารคีเลตที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เช่น สารซิเดอโรฟอร์

เพื่อจับกับเหล็ก สารซิเดอโรฟอร์ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ โดยแบ่งเป็น extracellular siderophores และ intracellular siderophores โดยทั่วไปแบคทีเรียที่อยู่อาศัยบริเวณรากพืชสามารถใช้ สารซิเดอโรฟอร์จากแบคทีเรียสกุลเดียวกันได้ (homologous siderophores) แต่ก็มีบางชนิดที่สามารถใช้จากแบคทีเรียต่างสกุลกันได้ (heterologous siderophores) ดังนั้น สารซิเดอโรฟอร์ จะเป็นสารที่สามารถละลายเหล็กจากแร่ธาตุ หรือสารประกอบอินทรีย์ได้ ภายใต้สภาวะที่มีเหล็กจำกัด ไม่เพียงแต่สารซิเดอโรฟอร์เหล็กยังสามารถฟอร์มในรูปสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรกับโลหะในสิ่งแวดล้อมได้ เช่น อะลูมินั่ม แคดเมียม คอปเปอร์ ตะกั่ว และสังกะสี เป็นต้น การฟอร์มในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนัก ทำให้เพิ่มความเข้มข้นของโลหะ ดังนั้นสารซิเดอโรฟอร์จากแบคทีเรียจะช่วยบรรเทาความเครียดในพืชจากการเพิ่มของระดับโลหะหนักในดิน โดยพืชได้รับเหล็กจากการแบคทีเรียที่ผลิตสารซิเดอโรฟอร์ได้หลายรูปแบบ เช่น จากการดูดซึมโดยตรงจากสารประกอบไซเดอโรฟอร์ และเหล็ก หรือจากปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนธาตุไอออนลบที่อยู่ล้อมรอบอะตอมกลาง (ligand) (Schmidt, 1999) ซึ่งจะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีเหล็กจำกัด จะช่วยให้พืชไม่ขาดธาตุเหล็ก และส่งเสริมการเจริญเติบโตให้กับพืช โดยพืชจะลดอาการใบเหลืองจากการขาดธาตุเหล็กลงได้ (chlorotic symptom) แบคทีเรียที่ผลิตสารซิเดอโรฟอร์ เช่น *Pseudomonas Aeromonas Azadirachta Azotobacter Bacillus Burkholderia Pseudomonas Rizobium Serratia* และ *Streptomyces* sp. (Sujatha and Ammani, 2013)

1.2) ฮอร์โมนพืช ได้แก่ ออกซิน จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน และเอธิลีนซึ่งมีผลต่อการเพิ่มจำนวน แบ่งเซลล์ในราก และเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารและน้ำ (Arora *et al*., 2013) โดยจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์ฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืชหลายชนิด เช่น *Pseudomonas Bradyrhizobium Agrobacterium Enterobacter cloacae Xanthomonas* sp. *Azotobacter* sp. *Rhizobium* sp. *Pantoea agglomerans Rhodospirilum rubrum Bacillus subtilis Pseudomonas fluorescens* และ *Paenibacillus polymyxa* โดยจะหลั่งออกซิน เป็น secondary metabolites ออกซินที่แบคทีเรียเหล่านี้หลั่งออกมาจะไปรบกวนขั้นตอนการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากพืชจะใช้ออกซินจากจุลินทรีย์เหล่านี้แทนที่การผลิตเอง (Glick, 2012) นอกจากนี้ออกซินยังทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่มีผลต่อการแสดงออกของยีนในจุลินทรีย์หลายชนิด จึงทำให้ออกซินเป็นสัญญาณสำคัญต่อความสัมพันธ์ระหว่างแบคทีเรียบริเวณรากพืช กับพืช (Spaepen and Vanderleyden, 2011) ยิ่งไปกว่านั้นออกซิน ยังเป็นสัญญาณเหนี่ยวนำกลไกการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของพืช (plant defense mechanisms) ต่อโรคพืช เนื่องจากพืชจะรับรู้ได้ไวถึงการมีอยู่ของจุลินทรีย์จากการใช้ออกซินภายนอก ที่ได้จากจุลินทรีย์ (Spaepen and Vanderleyden, 2011) โดยทั่วไปออกซินมีผลกระทบต่อการแบ่งเซลล์ของพืช การขยาย และความแตกต่าง กระตุ้นการงอกของเมล็ดและสร้างหัว เพิ่มอัตราการทำงานของไซเล็ม (xylem) และการพัฒนากระบวนการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การเจริญทางด้านข้างและการเจริญของราก เป็นสื่อกลางในการตอบสนองต่อแสง และแรงโน้มถ่วง ส่งผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสง การสร้างเม็ดสี ชีวสังเคราะห์ของสารต่างๆ และความต้านทานต่อความเครียด ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของราก และความยาวจึงช่วยให้พืชเข้าถึงธาตุอาหารในดินได้มากขึ้น

1.2.1) กลไกในการสังเคราะห์ออกซิน จุลินทรีย์จะใช้กรดอะมิโนทริปโตแฟน (tryptophan) เป็นพรีเคอร์เซอร์ (precursor) หลักของการสังเคราะห์ ซึ่งจะมีบทบาทต่อปริมาณของออกซินที่สังเคราะห์ได้ ทริปโตแฟนจะกระตุ้นการสังเคราะห์ออกซิน ในการทดสอบการสร้างออกซินของจุลินทรีย์โดยการเติมทริปโตแฟนลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้เพาะเลี้ยงจุลินทรีย์จะช่วยเพิ่มการสร้างออกซิน

(Spaepen and Vanderleyden, 2011) การสังเคราะห์ทริปโตแฟน เริ่มจากสารที่เป็นแกนหลักของปฏิกิริยา คือ chorismate ซึ่งถูกเข้ารหัสด้วยยีน trp ทำปฏิกิริยา 5 ขั้นตอน chorismate จะถูกสังเคราะห์โดยเริ่มจาก phosphoenolpyruvate และ erythrose 4 - phosphate ใน shikimate pathway ซึ่งเป็น pathway สำหรับการสังเคราะห์ aromatic amino acids และ secondary metabolites หลายชนิด จากทริปโตแฟนจะดำเนินปฏิกิริยาอีก 5 pathways สำหรับการสังเคราะห์ออกซิน และส่วนใหญ่ของ pathways มีปฏิกิริยาเหมือนกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในพืช แม้ว่าจะมีสาร intermediates บางชนิดที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 6.7) (Spaepen and Vanderleyden, 2011)



ภาพที่ 6.7 แสดง pathway การสังเคราะห์ IAA ในแบคทีเรีย สารที่เป็น intermediate ที่อ้างอิงจากชื่อของ pathway และชื่อของ pathway จะขีดเส้นด้วยเส้นประ
IAAld = indole-3-acetaldehyde; IAM = indole-3-acetamide; IPDC = indole-3-pyruvate decarboxylase; Trp = tryptophan
ที่มา : ดัดแปลงจาก Spaepen *et al*., 2007

รูปแบบและลักษณะการสร้างออกซินของจุลินทรีย์จะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์ดังนี้

- การสร้างออกซิน โดยผ่าน indole - 3 - pyruvic acid และ indole - 3 - acetic aldehyde จะเกิดขึ้นเฉพาะในแบคทีเรีย เช่น *Erwinia herbicola* แบคทีเรียที่เป็นพวก saprophytic species ที่จัดอยู่ในสกุล *Agrobacterium และ Pseudomonas Bradyrhizobium Rhizobium Azospirillum Klebsiella* และ *Enterobacter*

- การเปลี่ยนทริปโตแฟนกลับเป็น indole - 3 - acetic aldehyde สามารถเกิดขึ้นได้ในอีก pathway โดย tryptamine จะถูกสร้างโดยแบคทีเรียพวก *Pseudomonas* และ *Azospirillum*

- การสังเคราะห์ออกซิน โดยผ่าน indole - 3 - acetamide จะเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงเช่น *Agrobacterium tumefaciens P. syringae* แบคทีเรียกลุ่ม saprophyte พวก *Pseudomonas* เช่น *P. putida* และ *P. fluorescens*

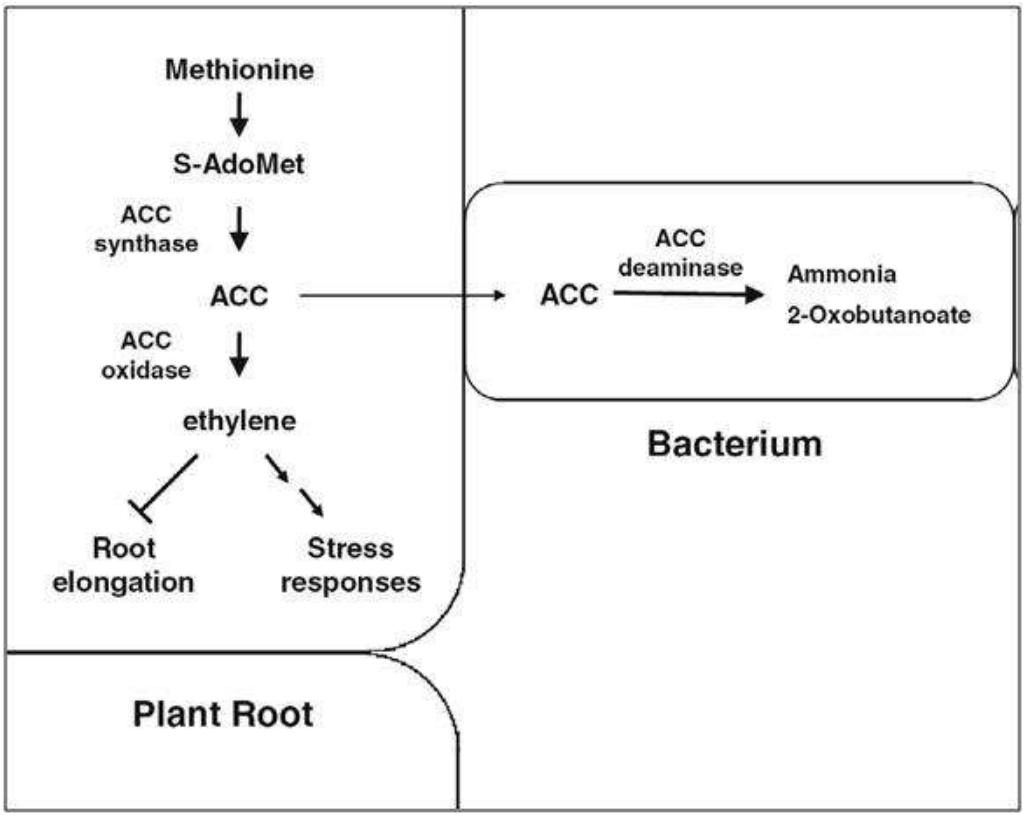
- การสังเคราะห์ออกซิน ที่เกิดจากการเปลี่ยน ทริปโตแฟนเป็น indole - 3 - acetonitrile พบในไซยาโนแบคทีเรีย เช่น *Synechocystis* sp.

- tryptophan-independent pathway ซึ่งเป็น pathway ที่พบในพืช จะปรากฏในจุลินทรีย์กลุ่ม *Azospirilla* และ ไซยาโนแบคทีเรีย

นอกจากนี้แบคทีเรียพวกไรโซเบียม จะสามารถผลิตออกซินได้ (Ahemad and Khan, 2012) เนื่องจากออกซิน เกี่ยวข้องกับกระบวนการแบ่งเซลล์ การพัฒนาของเซลล์ และการสร้างระบบท่อลำเลียง ซึ่งกระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการสร้างปม มีรายงานการใช้แบคทีเรีย *R. leguminosarum* bv. *viciae* เพื่อใช้ในการสร้างออกซินเพื่อให้สร้างปมราก โดยจะสามารสร้างปมได้มากกว่า 60 เท่า มากกว่าการใช้ไวลด์ไทป์ กับพืชตระกูลถั่ว *Vicia hirsute* (Camerini *et al*., 2008) ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดความเครียดจะมีผลต่อการสังเคราะห์ออกซิน เช่น ความเป็นกรดเป็นด่าง แรงดันออสโมซิส และการมีคาร์บอนจำกัด เป็นต้น (Spaepen *et al*., 2007) นอกจากนี้ ปัจจัยทางพันธุกรรม ทั้งตำแหน่งของยีนที่สังเคราะห์ จีโนมของแบคทีเรีย ทั้งใน plasmid และ chromosome และรูปแบบการแสดงออกของยีนจะมีผลต่อการสร้างออกซิน

1.2.2) เอธิลีน

เอธิลีนเป็นฮอร์โมนที่สำคัญต่อการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงของพืช (Khalid *et al*., 2006) ซึ่งถูกผลิตโดยพืชทั้งหมด และผลิตจากกระบวนการโดยสิ่งมีชีวิตอื่นๆ และไม่ใช่สิ่งมีชีวิตในดิน นอกจากที่เอธิลีนจะเป็นฮอร์โมนควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแล้ว ยังเป็นฮอรโมนที่เกี่ยวข้องกับความเครียด (Saleem *et al*., 2007) ภายใต้สภาพความเครียด เช่น ความเค็ม ความแห้งแล้ง การขาดน้ำ การปนเปื้อนจากโลหะหนัก และการระบาดของเชื้อโรคพืช เป็นต้น ระดับของเอธิลีนจะเพิ่มขึ้นซึ่งจะก่อให้เกิดผลทางลบกับการเจริญเติบโตของพืช เช่น เอธิลีนที่ระดับความเข้มข้นสูงจะทำให้ใบร่วง และกระบวนการภายในเซลล์อื่นที่จะนำไปสู่การลดลงของผลผลิต (Saleem *et al.,* 2007; Bhattacharyya and Jha, 2012). จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชซึ่งผลิตเอนไซม์ 1 - aminocyclopropane - 1 - carboxylate (ACC) deaminase จะส่งผลในการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช โดยการลดระดับเอทิลีนทำให้เกิดความทนทานต่อเกลือ และลดความเครียดจากความแห้งแล้งในพืช (Nadeem *et al*., 2007) โดยแบคทีเรียที่แสดงกิจกรรมของ ACC deaminase เป็นแบคทีเรียรากพืชในสกุล เช่น *Acinetobacter Achromobacter Agrobacterium Alcaligenes Azospirillum Bacillus Burkholderia Enterobacter Pseudomonas Ralstonia Serratia* และ *Rhizobium* เป็นต้น (Shaharoona *et al.,* 2007) โดยจุลินทรีย์จะใช้ ACC ซึ่งเป็น พรีเคอร์เซอร์ ของเอธิลีน โดยเปลี่ยน ACC เป็น 2 - oxobutanoate และ แอมโมเนีย (Arshad *et al.,* 2007) (ภาพที่ 6.8) ความเครียด เช่น การปรากฏของเชื้อโรคพืช (ไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อรา) บาดแผลจากการกินของแมลงศัตรูพืช หรือปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีชีวิตอื่นๆ เช่น polyaromatic hydrocarbons ความเข้มข้นของเกลือที่สูง อุณหภูมิต่ำหรือสูง รังสี ความเข้มแสงสูง และน้ำท่วม เป็นต้น จะถูกบรรเทาโดยการสร้าง ACC deaminase (Glick, 2012)



ภาพที่ 6.8 การควบคุมความเครียดของแบคทีเรียโดยการลดระดับการสร้าง ethylene ในรากพืช โดยการใช้แบคทีเรียผลิต ACC deaminase ซึ่ง ACC ที่ถูกสังเคราะห์ในรากพืชโดย ACC synthase จะถูกขับออกจากราก และถูกใช้โดยแบคทีเรียอื่นๆ ต่อจากนั้น แบคทีเรียจะไฮโดรไลซ์ ACC ได้เป็นแอมโมเนียและ 2-oxobutanoate การย่อยสลาย ACC นี้ช่วยรักษาระดับความเข้มข้นต่ำของ ACC ในแบคทีเรีย ทำให้ ACC ถ่ายโอนจากรากพืชไปยังแบคทีเรียได้อย่างต่อเนื่อง เอทิลีนจะสามารถผลิตจาก ACC แล้วทำให้เกิดการตอบสนองต่อความเครียดโดยการยับยั้งการเจริญเติบโต

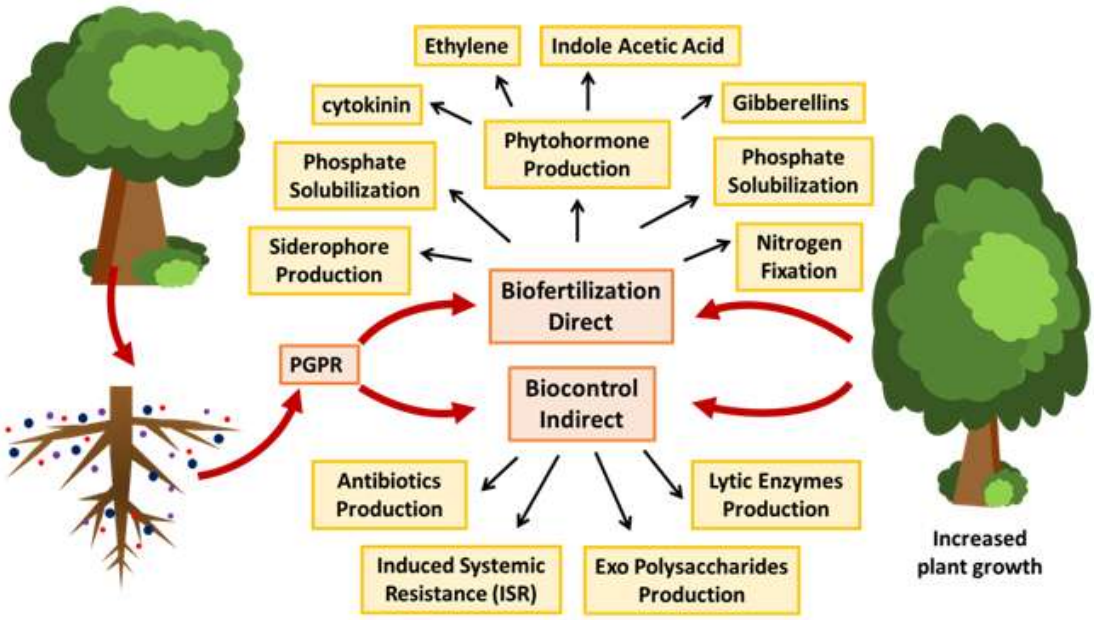
S-AdoMet = S-adenosyl-L-methionine; ACC = 1-aminocyclopropane-1-carboxylate

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Kang *et al.*,2010

2) กลไกในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางอ้อม

กลไกของพีจีพีอาร์ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางอ้อมเป็นการใช้จุลินทรีย์เพื่อควบคุมเชื้อโรคพืช ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมแบบชีววิธี สามารถใช้จุลินทรีย์ที่อาศัยบริเวณรอบรากพืช ในการแก่งแย่งอาหาร และที่อยู่อาศัย เหนี่ยวนำภูมิต้านทานพืชในระบบ induced systemic resistance และการผลิต antifungal metabolites (Lugtenberg และ Kamilova, 2009) เช่น ไซยาไนด์ phenazines pyrrolnitrin 2,4 - diacetylphloroglucinol pyoluteorin viscosinamide และ tensin (Bhattacharyya and Jha, 2012) (ตารางที่ 6.6) สำหรับ induced systemic resistance (ISR) ซึ่งประกอบด้วย jasmonate และ ethylene เป็นฮอร์โมนที่เป็นสื่อสัญญาณที่จะกระตุ้นกลไกการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันให้แก่พืช (Glick, 2012) องค์ประกอบของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ ISR เช่น lipopolysaccharides (LPS) flagella siderophores cyclic lipopeptides

2,4 - diacetylphloroglucinol homoserine lactones และ volatiles (Lugtenberg และKamilova, 2009)



ภาพที่ 6.9 กลไกการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช
ที่มา : Gupta *et al*., 2015

ตารางที่ 6.6 ชนิดของสารที่ผลิต/กิจกรรม ของจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช	ชนิดของสารที่ผลิต/กิจกรรมของจุลินทรีย์
Azomonas sp. RJ4	IAA
Bacillus sp.	
Bacillus sp. RJ31	
Bradyrhizobium	
B. japonicum	
Cellulomonas sp.	
Mycobacterium sp.	
Pseudomonas sp.	
Pseudomonas sp. RJ10	
Rhizobium	
R. phaseoli	
Rhodococcus sp.	
Sphingomonas sp.	
Xanthomonas sp. RJ3	

ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช	ชนิดของสารที่ผลิต/กิจกรรมของจุลินทรีย์
Azotobacter spp. *Bacillus* spp. *Pseudomonas* spp. *Rhizobium* spp.	IAA, ammonia production
A. amazonense	IAA, nitrogenase activity
Azospirillum *Azospirillum* sp. *Azotobacter* *Bacillus* *Bacillus subtilis* *P. fluorescens* *Pseudomons* *Rhizobium*	IAA, phosphate solubilization
A. brasilense *A. amazonense*	IAA, phosphate solubilization, nitrogenase activity, antibiotic resistance
Azotobacter sp. *Mesorhizobium* sp. *Bacillus* sp. *Pseudomonas* sp.	IAA, siderophore, antifungal activity, ammonia production, HCN
Azotobacter chroococcum	IAA, Gibberellin, kinetin
A. chroococcum *Flavobacterium* *Mesorhizobium ciceri* *Paenibacillus polymyxa* *Pseudomonas* sp. A3R3 *Rhodococcus* sp. *Variovorax paradoxus*	IAA, siderophores
Acinetobacter spp. *Bacillu* *Bacillus* sp. *Pseudomonas* *P. fluorescens* GRS1 *P. fluorescens* PRS9 *Pseudomonas* sp.	IAA, siderophores, phosphate solubilization

ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช	ชนิดของสารที่ผลิต/กิจกรรมของจุลินทรีย์
Acinetobacter sp. P*seudomonas* sp.	IAA, ACC deaminase, antifungal activity, N_2- fixation, phosphate solubilization
Bacillus sp. PSB10 *Bradyrhizobium* sp. *Mesorhizobium* sp. *Rhizobium* sp.	IAA, siderophores, HCN, ammonia
Bradyrhizobium sp. *Mesorhizobium* sp. *Rhizobium* sp. (pea) *Rhizobium* sp.(lentil)	IAA, siderophores, HCN, ammonia, exo-polysaccharides
Bradyrhizobium *Rhizobium*	IAA, HCN, siderophore, phosphate solubilization
Brevibacillus spp.	IAA, Zn resistance
Burkholderia *Pseudomonas jessenii* *Pseudomonas* sp.	IAA, ACC deaminase, siderophore, heavy metal solubilization, phosphate solubilization
Enterobacter asburiae *Klebsiella* sp. *Pseudomonas aeruginosa* *Pseudomonas putida*	IAA, siderophores, HCN, ammonia, exo-polysaccharides, phosphate solubilization
Enterobacter sp. *P. aeruginosa*	IAA, ACC deaminase, siderophore, phosphate solubilization
Klebsiella oxytoca	IAA, phosphate solubilization, nitrogenase activity
P. fluorescens	IAA, siderophores, antifungal activity
Pseudomonas sp.	IAA, ACC deaminase, siderophore
Pseudomonas sp.	IAA, Phosphate solubilization, siderophore, HCN, biocontrol potentials
Rahnella aquatilis	IAA, ACC deaminase, phosphate solubilization
Serratia marcescens	IAA, siderophore, HCN
Stenotrophomonas maltophilia	IAA, ACC deaminase, Nitrogenase activity, phosphate solubilization,
P. fluorescens	ACC deaminase, phosphate solubilization

ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช	ชนิดของสารที่ผลิต/กิจกรรมของจุลินทรีย์
Kluyvera ascorbata	ACC deaminase, siderophores, metal resistance
A. chroococcum *Rhizobium* *Bradyrhizobium* *Bacillus* sp.	Phosphate solubilization
Baciilus subtilis *P. chlororaphis*	Antifungal activity
Bradyrhizobium *B. japonicum* *Bravibacterium* sp. *Kluyvera ascorbata* *Mesorhizobium Bradyrhizobium* sp. *Proteus vulgaris* *P. aeruginosa* *P. aeruginosa* 4EA *P. fluorescens* *Ralstonia metallidurans* *Rhizobium* *R. ciceri* *R. meliloti*	Siderophores
Bradyrhizobium sp. 750 *Ochrobactrum cytisi* *Pseudomonas* sp. *Psychrobacter* sp. SRS8	Heavy metal mobilization
Gluconacetobacter diazotrophicus	Zinc solubilization
P. fluorescens	Induced systemic resistance, antifungal activity
P. putida	Antifungal activity, siderophore, HCN, phosphate solubilization
P. putida	Siderophores, Pb and Cd resistence
PGPR	Plant growth promoting traits
R. leguminosarum	Cytokinin

ที่มา : Ahemad and Kibret, 2013

เอกสารอ้างอิง

กัญญา มวงแก่ว. 2544. **การปรับปรุงคุณภาพปุยหมักโดยเชื้อจุลินทรียที่ยอยสลายเซลลูโลสและตรึงไนโตรเจน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฉัตราภรณ์ ปานทองแก้ว. 2560. **การคัดเลือกและศักยภาพของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตของอ้อย.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โชคชัย กิตติวงศวัฒนา, ดุษณี ธนะบริพัฒน์, จำรูญ เล้าสินวัฒนา, พรหมมาศ คูหากาญจน์, นงลักษณ์ เภรินทวงค์ และ จิตติ ท่าไว. 559. การคัดแยกแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจากข้าว (*Oryza sativa*). **ว. วิทยาศาสตรลาดกระบัง.** 25: 60 - 74.

ดรุณี คงสอน. 2557. การศึกษาการสร้างฮอร์โมนออกซินและการตรึงไนโตรเจนโดยเชื้ออะโซโตแบคเตอร์. **ว.มหรส.** 2: 1 - 8.

ธงชัย มาลา. 2546**. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2557. **การตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นันทกร บุญเกิด. 2536. จุลินทรีย์สร้างปุ๋ยในดิน. **กสิกร.** 66 (5): 472 - 476.

ประไพ ทองระอา, สมปอง หมื่นแจ้ง, ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต และ กัลยกร โปร่งจันทึก. 2553. การศึกษาผลของสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว. **คลังผลงานวิจัยกรมวิชาการเกษตร**. แหล่งที่มา: http: http://www.doa.go.th, 30 สิงหาคม 2562.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2530. **เคมีดิน.** ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

วุฒิชัย จันทรสมบัติ, นวลจันทร์ ภาสดา, มนต์ระวี พีราวัชร และ วีระ โรพันดุง. 2552. **การคัดเลือกจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต เพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ศิวาพร ทูปคัณโท. 2553. **การตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์อิสระในดินในระบบการปลูกข้าวโพดแบบไม่ไถพรวน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2529. **จุลินทรีย์ของดินเพื่อผลิตผลทางการเกษตร.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เศรษฐา ศิริพินทุ, เกษม สุขสถาน, อุดม พูลเกษ, วงจันทรวงแก่ว, นันทกร บุญเกิด, บรรหาญ แตงฉ่ำ และ เย็นใจ วสุวัต. 2528. อิทธิพลของการคลุกเชื้อแบคทีเรียที่มีผลตอการตรึงไนโตรเจนในบริเวรากอ่อย และการเจริญเติบโตของอ่อยพันธุเอฟ- 140. ในขณะที่มีปุยไนโตรเจน. ใน **การประชุมวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตรครั้งที่ 23**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ วังใน. 2541. **การตรึงไนโตรเจน ไรโซเบียม พืชตระกูลถั่ว.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุปราณี ด้วงค้าจันทร์, เกรียงศักดิ์ ไพรวรรณ, รภัสสา จันทาศรี และ สำราญ พิมราช. 2556. อิทธิพลของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวนาปรัง พันธุ์ชัยนาท 1. **ว. เกษตรพระวิรุณ.** 10(1) : 9 - 18.

อรุณ ชาญชัยเชาว์วิวัฒน์, สุวินัย เกิดทับทิม และ สมเกียรติพรพิสุทธิมาศ. การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในระบบเกษตรกรรมแบบยงยั่งยืน. 2559. **ว.หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**. 7: 398 – 413. อ้างถึง Tamil Nadu Agricultural University. 2011. **Beneficial microorganisms in agriculture.** Source: http://www.agriculturesnetwork.org/ magazines/india/2-living-soils/ soils/microbial-wealth-regulates-cropquality-and-soil/atdownload/article_pdf, April 18, 2016.

ออมทรัพย์ นพอมรบดี, สุภาพร ธรรมสุระกุล, สมเพชร เจิญสุข, เย็นใจ วสุวัต, นภดล นภาพร้อมจิตร และ ศศิธร วสุนันต์. 2538. การเพิ่มผลผลิตสับปะรดโดยเชื้อวีเอ-ไมคอร์ไรซ่า, น. 254 – 272. ใน **งานวิจัยปุ๋ยชีวภาพ เล่มที่ 1**. กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองปฐพี กมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

อาภากร หล่องทองหลาง. 2553.**ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของ *Azospirillum largimobile* และ *Azotobacter vinelandii* ในการปลูกข้าวระบบประณีต.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสุรนารี.

Adhikari, T.B., C.M. Joseph, G. Yang, D.A. Phillips and L.M. Nelson. 2001. Evaluation of bacteria isolated from rice for plant growth promotion and biological control of seedling disease of rice. **Can. J. Microbiol.** 47: 916 – 924.

Ahemad, M. and M. Kibret. 2013. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. **J. King Saud Univ. Sc.** 26: 1- 20.

Ahmad, F., I. Ahmad and M. S. Khan. 2008. Screening of free-living rhizobacteria for their multiple plant growth promoting activities. **Microbiol. Res**. 163: 173 - 181.

Ahmad, M., A. Zahir, H. Zahir, H. Naeem Asghar and M. Asghar. 2011**.** Inducing salt tolerance in mung bean through co-inoculation with rhizobia and plant-growth-promoting rhizobacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase. **Can. J. Microbiol.** 57(7): 578 – 589.

Alexande, M. 1977. **Introduction to Soil Microbiology**. 2nd ed. John Wiley& Sons, USA.

___ and S.E. Smith. 1983. **Mycorrhizal Symbiosis**. London: Academic Press.

Antarikanonda, P. and H. Lorenzen. 1982. N_2 fixing blue green algae (*Cyanobacteria*) of high efficiency from paddy soils of Bangkok, Thailand: Characterization of species and nitrogen fixing capacity in the laboratory. **Acta. Hydrobiol. Suppl.** 63: 53 – 70.

Arora, N.K., S. Tewari and R. Singh. 2013. Multifaceted plant – association microbes and their mechanism diminish the concept of direct and indirect PGPR, pp. 411 – 419. In N.K. Arora, ed. **Plant Microbe Symbiosis Fundamentals and Advance**. Springer, Singapore.

Arshad, M., M. Saleem and S. Hussain. 2007. Perspectives of bacterial ACC deaminase in phytoremediation. **Trends Biotechnol**. 25: 356 – 362.

Ashton, D.H. 1976. Studies on the mycorrhizae of *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Aus. J. Bot.** 24: 723 – 741.

Bajpai, P.D. and W.V.B. Sundara. 1971. Phosphate dissolution by bacteria. **Soil Sci. Plant Nutr**. 17: 46 – 53.

Baldani, V.L.D., J.I. Baldani and J. Döbereiner. 2001. Inoculation of rice plants with the endophytic diazatrophs *Herbaspirillum seropedicae* and *Burkholderia* spp. **Biol. Fertil. Soil**. 30: 485 - 491.

Banik, A.K. and R. Ghosh, 1998. Optimum of different physical parameters for obtaining of phosphate by *Aspergillus niger* from Indian rock phosphate. **Indain J. Exp. Biol.** 36: 688 – 692.

Barea, J.M., J.L. Escudero and C. Azcon-G Deajuilar. 1980. Effects of indigenous VA mycorrhiza fungi on nodulation growth of *Medicago sativa* in phosphate-fixing soils as affected by phosphorus fertilizers. **Plant Soil** 54: 282 – 296.

Bartolome-Esteban, H. and N.C. Schenck. 1994. Spore germination and hyphal growth of arbuscular mycorrhizal fungi in relation to soil aluminum saturation. **Mycologia**. 86: 217 - 226.

Berthelin, J. 1983. Microbial weathering processes, pp 223 – 262. In. W E Krumbein, ed. **Microbial Geochemistry**. Blackwell Scientific Publications, London.

Beveridge, T.J. and W.S. Fyfe. 1985. Metal fixation by bacterial cell walls**. Can. J. Earth Sci**. 22: 1893 – 1898.

Bhattacharyya, P.N. and D.K. Jha. 2012**. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. World J. Microbiol. Biotechnol**. 28: 1327 – 1350.

Bryla, D.R. and J.M. Duniway. 1997. Water uptake by safflower and wheat roots infected with arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytol.** 136: 591 – 601.

Camerini, S., B. Senatore, E. Lonardo, E. Imperlini, C. Bianco, G. Moschetti, G.L. Rotino, B. Compion and R. Defez. 2008. Introduction of a novel pathway for IAA biosynthesis to rhizobia alters vetch root nodule development. **Arch. Microbiol.** 190: 67 – 77.

Cassán, F.D. and M. Díaz-Zorita. 2016. *Azospirillum* sp. in current agriculture: from the laboratory to the field. **Soil Biol. Biochem.** 103: 117 – 130.

Cejudo, F. J. and A. Paneque. 1986. Short-term nitrate (nitrite) inhibition of nitrogen fixation in *Azotobacter chroococcum*. **J. Bacteriol.** 165: 240-243

Chand, C.H. and S.S. Yang. 2009. Thermo tolerance phosphate solubilizing microbe for multifunctional biofertilizer preparation. **Bioresour. Technol**. 100: 1648 – 1658.

Daft, M. J. and A.A. El-Giahmi. 1976. Studies on nodulated and mycorrhizal peanuts. **Ann. Appl. Biol**. 83: 213 - 276.

Dakora, F.D. and D.A. Phillips. 2002. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. **Plant Soil** 245: 35 – 47.

Date, R.A. 1970. Microbiological problems in the inoculation and nodulation of legumes. **Plant Soil** 32: 703 – 725.

de Matos Nogueira, E., F. Vinagre, H.P. Masuda, C. Vargas, V.L.M. de Pádua, F.R. da Silva, R.V. dos Santos, J.I. Baldani, P.C.G. Ferreira and A.S. Hemerley. 2001. Expression of sugarcane genes induced by inoculation with *Gluconacetobacter diazotrophicus* and *Herbaspirillum rubrisubalbicans*. **Genet. Mol. Biol.** 24: 199 - 206.

Dean, D.R. and M.R. Jacobson. 1992. Biochemical genetics of nitrogenase, pp. 763 – 834. In G. Stacy, R.H. Burris, H.J. Evans, eds. **Biological Nitrogen Fixation.** Chapman and Hall, New York.

Derrien, D., C. Marol and J. Balesdent. 2004. The dynamics of neutral sugars in the rhizosphere of wheat an approach by 13 C pulse-labelling and GC/C/IRMS. **Plant Soil** 267: 243 – 253.

Dreyfus, B., J. L. Garcia and M. Gillis. 1988. Characterization of *Azorhizobium caulinodans* gen. nov. sp. nov., a Stem-Nodulating Nitrogen-Fixing Bacterium Isolated from *Sesbania rostrate.* **Int. J. Syst. Bacterio.** 38: 89 – 98.

Estrada, G., V. Baldani, D. de Oliveira, S. Urquiaga and J. Baldani. 2012. Selection of phosphate - solubilizing diazotrophic *Herbaspirillum* and *Burkholderia* strains and their effect on rice crop yield and nutrient uptake. **Plant Soil**, 369: 115 - 129.

Fan, Y.G., Y.S. Luan, L.J. Ann and Y. Kun. 2008. Arbuscular mycorrhiza formed by *Penicillium* inoculums improve the growth, nutrient uptake and photosynthesis of strawberry with two inoculums-types. **Biotechnol. Lette.** 30: 1489 – 1494.

Feng, Y., D. Shen and W. Song. 2006. Rice endophyte *Pantoea agglomerans* YS 19 promotes host plant growth and affects allocations of host photosynthates. **J. Appl. Microbiol**. 100: 938 - 945.

Flemming, H. and R. Haselkorn. 1973. Differentiation in Nostoc muscorum: nitrogenase is synthesized in heterocysts. **Proc. Nat. Acad. Sci.** 70: 2727 - 2731.

Franco-Correa, M., A. Quintana, C. Duque, C. Suarez, M.X. Rodríguez and J.M. Barea. 2010. Evaluation of actinomycete strains for key traits related with plant growth promotion and mycorrhiza helping activities. **Appl. Soil Ecol.** 45: 209 – 217.

García de Salamone, I.E., L.P. Di Salvo, J.S. Escobar Ortega, M.P. Boa Sorte, S. Urquiaga and K.R. Dos Santos Teixeira. 2010. Field response of rice paddy crop to inoculation with *Azospirillum:* physiology of rhizosphere bacterial communities and the genetic diversity of endophytic bacteria in different parts of the plants. **Plant Soil** 336: 351 – 362.

Gerdeman, J.W. 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. **Ann. Rev. Phytopathal**. 6: 379 – 418.

Giller, K. E. and K. F. Wilson. 1991. **Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems**. CAB International, UK

Glick, B.R. 2012. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. Scientifica.

Glick, B.R. 2012. **Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications**. Available Source: http//dx.doi.org/10.6040/2012/963401.Rubio and Ludden, 2008, 10 August 2019.

Gloria, R.B. and L.C. Mendonça – Hagler. 2006. Fluorescent *Pseudomonads* associated with the rhizosphere of crops - an overview. **Braz. J. Microbiol.** 37(4): 401 - 416.

Goswami, D., J.N. Thakker and P.C. Dhandhukia. 2016. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. **Cogent Food Agric.** 2: 1 – 11.

Gray, E.J. and D.L. Smith. 2005. Intracellular and extracellular PGPR: Commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. **Soil Biol. Biochem**. 37: 395 – 412.

Gray, L.E. and J.W. Gerdemann. 1969. Uptake of phosphorus-32 by vesicular-arbuscular mycorrhizae. **Plant Soil** 30: 415 – 422.

Griffin, R.A. and J.J. Jurinak. 1973. The interaction of phosphate with calcite. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 37:847 - 850.

Guo, Y., E. George and H. Marschner. 1996. Contribution of an arbuscular mycorrhizal fungus to uptake of Cadmium and Nickel in bean by maize plants. **Plant Soil** 184: 195 - 205.

Gupta, G., S.S. Parihar, N.K. Ahirwar, S.K. Snehi and V. Singh**.** Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. **J. Microbiol. Biochem.** 7: 96 – 102.

Gyaneshwar, P., E.K. James, N. Mathan, P.M. Reddy, B. Reinhold-Hurek, and J.K. Ladha. 2001. Endophytic colonization of rice by a diazotrophic strain of *Serratia marcescens*. **J. Bacteriol**. 183: 2634 - 2645.

Habte, M. and N.W. Osorio. 2012. Effect of nitrogen form on the effectiveness of a phosphate-solubilzing fungi to dissolve rock phosphate. **J. Biofert. Biopes.** 3: 1 – 4.

Halder, A.K., A.K. Mishra, P. Bhattacharya and P.K. Chakrabarty. 1990. Solubilization of inorganic phosphate by *Rhizobium*. **Indian J. Microbiol.** 30: 3131.

Hardason, G., M. Golbs and S.K.R. Danso. 1987. Nitrogen fixation in soybean (*Glycine max* L. merrill) as affected by nodulation patterns. **Soil Biol. Biochem.** 21: 783 - 787.

Harley, J. L. 1969. **The Biology of Mycorrhiza**. Leonard Hill, London.

Hattingh, M.J., L.E. Gray and J.W. Gerdemann. 1973. Uptake and translocation of ^{32}P-labelled phosphate to anion roots by endomycorrhizal fungi. **Soil Sci.** 116: 383 – 387.

Heijne, B., J.J. Hofstra, G.W. Heil, D. Vandam and R. Bobbink. 1992. Effect of the air-pollution component ammonium sulfate on the VAM infection rate of 3 healthand species. **Plant Soil** 144: 1 - 12.

Hirsch, A.M., H.I. Mc ckham and M. Lobler. 1992. Bacterial-induced changes in plant form and function. **J. Plant Sci.** 153: 171 - 181.

Hossain M., I. Jahan, S. Akter, N. Rahman and S.M. Rahman. 2015. Effects of *Azospirillum* isolates from paddy fields on the growth of rice plants. **Res. Biotechnol**. 6: 15 - 22.

Ilag, L.L., A.M. Rosales and T.W. Mow, 1987. Use of endomycorrhizal fungus to challenge Rhizoctonia infection in selected field crops. **Phillippines-Phytopathol**. 5: 23 - 33.

James, E. K., P. Gyaneshwar, N. Manthan, W.L. Barraquio, P.M. Reddy, P.PM. Ianetta, F.L. Olivares, and J.K. Ladha. 2002. Infection and colonization of rice seedlings by the plant growth-promoting bacterium *Herbaspirillumseropedicae* Z67. **Mol. Plant Microbe Interact**. 15: 894 - 906.

Ji, S.H., M.A. Gururani and S.C. Chun. 2014. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic diazotrophic bacteria from Korean rice cultivars. **Microbiol. Res**. 169: 83 - 98.

Jintaridth, B. and W. Keliens. 1996. **Effects of Magnesium, Phosphorus and Mycorrhiza on Growth of Okra at High Soil Acidity**. M.Sc. Thesis, Wageningen Agricultural University.

Kannenberg, E.L., M. Perzl and T. Härtner . 1995. The occurrence of hopanoid lipids in *Bradyrhizobium* bacteria. **FEMS Microbiol. Lett**. 127: 255 - 262.

Kanungo, P.K., B. Ramakrishnan and V.R. Rao. 1997. Placement effects of organic sources on nitrogenase activity and nitrogen-fixing bacteria in flooded rice soils. **Biol. Fertil. Soil**. 25: 103 - 108.

Katznelson, H. and B. Bose. 1962. Metabolic activity and phosphate– dissolving capability of bacterial isolates from wheat roots Rhizobiumzosphere and non-Rhizobiumzosphere soil. **Can. J. Microbiol.** 5: 79 – 85.

Khalid, K., M.J. Akhtar, M.H. Mahmood and M. Arshad. 2006. Effect of substrate-dependent microbial ethylene production on plant growth. **Microbiol**. 75: 231 – 236.

Khan, A.G. and R.M. Bhanthgar. 1977. Studies on solubilisation of insoluble phosphates by microorganisms. Part I. Solubilization of Indian phosphate rocks by *Aspergillus niger* and *Pennicillium* spp. **Ferti. Tech**. 14: 329 – 333.

Khan, M.A., M.U. Shirazi, A. Muhammad, S.M. Mujtaba, E. Islam, S. Mumtaz, A. Shereen, R.U. Ansari and M.Y. Ashraf. 2009. Role of proline, K/NA ratio and chlorophyll content in salt tolerance of of wheat (*Triticum aestivum L.*). **Pak. J. Bot.** 41: 633 – 638.

Kloepper, J. W. 2003. A review of mechanisms for plant growth promotion by PGPR, pp. 81 - 92. In M.S. Reddy, M. Anandaraj, S. J. Eapen, Y. R. Sarma and J.W. Kloepper eds. **Abstracts and Short Papers. 6th International PGPR Workshop**. Calicut, India.

___, R.M. Zablotowick, E.M. Tipping and R. Lifshitz. 1991. Plant growth promotion mediated by bacterial rhizosphere colonizers, pp. 315- 326. In D.L. Keister and P.B. Cregan, eds. **The Rhizosphere and Plant Growth**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Kothari, S.K., H. Marschner and V. Romheld. 1990. Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on acquisition of mineral nutrients by maize (*Zea mays* L.) in a calcareous soil. **New Phytol.** 116: 637 - 645.

Ladha, J.K. and M.B. Peoples. 1995. Management of biological nitrogen fixation for the development of more productive and sustainable agricultural systems. **Plant Soil** 174: 1 – 286.

Lin, S.Y., Y.C Liu., A. Hameed, Y.H. Hsu, H.I. Huang, W.A. Lai and C.C. Young. 2016. *Azospirillum agricola* sp. nov., a nitrogen-fixing species isolated from cultivated soil. **Int. J. Syst. Evol. Microbiol.** 66: 1453 – 1458.

Lindow, S.E. and M.T Brandl. 2003. Microbiology of the phyllosphere. **App. Environ. Microbiol.** 69: 1875 - 1883.

Lugtenberg, B. and F. Kamilova. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. **Annu Rev. Microbiol**. 63: 541 - 55.

Maier, R.J. and F. Moshiri. 2000. Role of the *Azotobacter vinelandii* Nitrogenase – protective shethna protein in preventing oxygen – mediated cell death. **J. Bacteriol**. 182(13): 3854 – 3857.

Malhotra, K. 2011. **Studies on Nitrogen Fixing Bluegreen Algae and Mass Cultivation**. M.S., Thesis, Thapar University.

Marks, G.C. and R.C. Foster. 1973. Structure, morphogenesis and ultrastructure on ecto mycorrhizae, pp. 1- 41. In G.L. Marks and T.T. kozlowsli. eds. Ectomycorrhizae: **The Ecology and Physiology**. Academic Press, New York.

Marroqui, S., A. Zorreguieta, C. Santamaria, F. Temprano, M. Soberon, M. Megias and J.A. Downie. 2001. Enhanced symbiotic performance by *Rhizobium* tropici glycogen synthase mutants. **J. Bacteriol.** 183: 854 – 864.

Marx, D.H., W.C. Bryan and C.B. Davey. 1970. Influence of temperature on aseptic synthesis of ectomycorrhizae by *Telephoa terrestris* and *Pisalithus tinctoium* on loblolly pine. **Forest Sci.** 16: 424 – 431.

Meena, V.S., B.R. Maurya and J.P Verma. 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance K^+ availability in agricultural soils?. **Microbiol. Res.** 169: 337 - 347

Melin, E. and H. Nelson. 1953. Transfer of labeled nitrogen from glutamic acid to pine seedlings through the mycelium of Boletus variegates (Sw) Fr. **Nature** 17:11- 34.

Meunchang, S., S. Panichsakpatana and R. W. Weaver. 2006. Tomato growth in soil amended with sugar mill by products compost. **Plant Soil** 28: 171 - 176.

Meyer, F.H. 1964. **The role of the fungus *Cenococcus graiforme*,** pp. 23 – 31. **In Soil Microbial.** Elsevier, Amsterdam.

Mikola, P. 1973. Application of mycorrhizal symbiosis in forestry practice, pp. 393 - 411. In G.C. Marks and T.T. Kozlowski, eds. **Ectomycorrhizae; their Ecology and Physiology**. Acad. Press, NY.

Mitling, F.B. 1993. **Soil Microbial Ecology.** Marcel Dekker Inc, Washinton.

Mosse, B. 1981. **Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Research for Tropical Agriculture. Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources**, Honolulu, HI., USA.

Mosse, B. and C. Hepper. 1981. Vescular-arbuscular mycorrhizal infections in root culture. **Physiol. Plant Phatol**. 5: 215 – 224.

Mosse, B. and **J.M. Phillips**. 1971. The influence of phosphate and other nutrients on the development of vesicular-arbuscular mycorrhiza in culture**. J. Gen. Microbiol.** 69**:** 157 – 166.

Mukhopadhyay, K., N.K. Garrison, D.M. Hinton, C.W. Bacon, G.S. Khush, H.D. Peck and N. Datta. 1996. Identification and characterization of bacterial endophytes of rice. **Mycopathologia** 134: 151 – 159.

Nautiyal, C.S. 1999. An efficient microbiological growth medium for screening phosphorus solubilizing microorganisms. **FEMS Microbiol. Lett.** 170: 2017 - 2021.

Nayak, B.C., B.K. Choudhury and D.D. Dalei. 2003. Response of hybrid rice (*Oryza sativa*) to date of planting, spacing and seedling rate during wet season. **Indian J. Agron**. 48: 172 – 178.

Neilands, J.B. and S.A. Leong. 1986. Siderophores in relation to plant growth and disease. **Annu. Rev. Plant Physiol.** 37: 187 – 208.

Nongkhlaw, F.M.W. and S.R. Joshi. 2014. Distribution pattern analysis of epiphytic bacteria on ethnomedicinal plant surfaces: A micrographical and molecular approach. **J. Micro. Ultras.** 2: 34 - 40.

Padgham, J., L. Huong and R.A. Sikora. 2005. Opportunities for nematode biocontrol in lowland rainfed rice using bacterial endophytes, pp. 293. In E. Tielkes, C.

Hulsebusch, I. Häuser, A. Deininger and K. Becker, eds. **The Global Food and Product Chain-Dynamics, Innovations, Conflicts, Strategies: International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development; Book of Abstracts/Tropentag 2005 Stuttgart- Hohenheim, Oct. 11-13, 2005**. University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.

Qureshi, N., B.C. Saha and B. Dien. 2010. Production of butanol (a biofuel) from agricultural residues: part I – use of barley straw hydrolysate. **Biomass Bioenergy** 34: 559 – 565.

Raju, P.S., R.B. Clark, J.R. Ellis and J.W. Maranville. 1990. Mineral uptake and growth of sorghum colonized with VA mycorrhiza at varied soil phosphorus levels **J. Plant Nutr.** 13: 843 – 859.

Reinhold-Hurek, B. and T. Hurek. 1998. Interactions of gramineous plants with *Azoarcus* spp. and other diazotrophs: identification, localization, and perspectives to study theirfunction. **Crit. Rev. Plant Sci.** 17: 2 9- 54.

Ridvan, K. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticumaestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. **Eco. Engin**. 33: 150 - 156.

Rodriguez, H. and R. Fraga. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **J. Biotechnol. Adv.** 17: 319 – 339.

Rogers, J.R., P.C. Bennett and W.J. Choi. 1998. Feldspars as a source of nutrients for microorganisms. **Am. Mineral** 83: 1532 – 1540.

Rubio, L.M. and P.W. Ludden. 2008. Biosynthesis of the iron – molybdenum cofactor of nitrigenase. **Annu. Rev. Microbiol**. 62: 93 – 111.

Ruttiman, J.C., L.M. Rubio, D.R. Dean and P.W. Ludden. 2003. Vnfy is required for full activity of the vanadium – coating dinitrogenase in *Azotobacter vinelandii*. **J. Bacteriol.** 185(7): 2383 – 2386.

Schmidt, W. 1999. Review mechanisms and regulation of reduction - base iron uptake in plants. **New Phytol.** 141: 1 -26.

Schwachtje, J., S. Karojet, S. Kunz, S. Brouwer and van J.T. Dongen. 2012. Plant growth promoting effect of newly isolated rhizobacteria varies between two Arabidopsis ecotypes. **Plant Signal. Behav**. 7: 623 - 627.

Selvakumar, G., S. Kundu, P. Joshi, S. Nazim, A.D. Gupta, P.K. Mishra and H.S. Gupta. 2008. Characterization of a cold-tolerant plant growth-promoting bacterium *Pantoea dispersa* 1A isolated from a sub-alpine soil in the North Western Indian Himalayas. **World J. Microbiol. Biotechnol. 24:** 955 – 960.

Shank, Y., O. Demin and A.V. Bogachev. 2005. Respiratory production nitrogenase complex in *Azotobacter vinelandii.* **Success Biol. Chem**. 45: 205 – 234.

Shen, X., H. Hu, H. Peng, W. Wang and X. Zhang. Comparative genomic analysis of four representative plant growth-promoting rhizobacteria in Pseudomonas**. BMC Genomics.** 14: 1471 – 2164.

Singh, M. and B.R. Tilak. 1989. Field response of chick pea to inoculation with Glomus versifome. **Plant Soil** 119: 281 – 284.

Sivasakthivelan, P. and P Saranraj. 2013. *Azospirillum* and its formulations: a review. **Int J Microbiol Res**. 4(3): 275 – 287.

Slankis, V. 1974. Soil factors influencing formation of mycorrhizae. **Annu Rev Phytopathol**. 12: 437 – 45.

Smith, S.E. 1980. Mycorrhizas of autotrophic higher plants. **Biol. Rev.** 55: 475 – 510.

Somers, E., J. Vanderleyden and M. Srinivasan. 2004. Rhizosphere bacterial signalling, a love parade beneath our feet. **Crit. Rev. Microbio.l** 30:.205.-.235.

Song, O.R., S.J. Lee, Y.S. Lee, S.C. Lee, K.K. Kim and Y.L. Choi. 2008. Solubilization of insoluble inorganic phosphate by *Burkholderia cepacian* DA23 isolated from cultivated soil. **Braz. J. Microbio**l. 39: 151 - 156.

Spaepen, S. and J. Vanderleyden. 2011. Auxin and plant- microbe interactions. **Cold Spring Harb Perspect Biol.** 3 (4): 1400 – 1438.

Spaepen, S., W. Verse´es, D. Gocke M. Pohl J. Steyaert and J. Vanderleyden. 2007. Characterization of phenylpyruvate decarboxylase, involved in auxin production of *Azospirillum brasilense*. **J. Bacteriol.** 189: 7626.–.7633.

Subramanian, K.S., C. Charest, L.M. Dwyer and R.I. Hamilton. 1995. Arbuscular mycorrhizas and water relations in maize under drought stress at tasseling. **New Phytol**. 129: 643 – 650.

Sujatha, N. and K. Ammani. 2013. Siderophore production by the isolates of *Fluorescent Pseudomonas.* **IJCRR.** 5: 1 - 7.

Tate, R. L. 2000. **Soil Microbiology**. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.

Trotta, A., G.C. Varese, E. Gnavi, A. Fusconi, S. Sampo and G. Berta. 1996. Interactions between the soilborne root pathogen *Phytophthora nicotianae* var parasitica and the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* in tomato plants. **Plant Soil** 185: 199 - 209.

Ullman, W.J., D.L. Kirchman and S.A. Welch. 1996. Laboratory evidence for microbially mediated silicate mineral dissolution in nature. **Chem. Geol**. 132: 11 – 17.

Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers**. Plant Soil** 255: 571 – 586.

Wang, G.M., D.P. Stribley and C. Walker, 1993. Effect of pH on arbuscular mycorrhiza I. field observations on long-term liming experiments at rothamsted and woburn. **New Phytol.** 124: 465 – 472.

Watanabe, A. 1962. Effect of nitrogen fixing blue green alga: *Tolypothrix tenuis* on the nitrogenous fertility of paddy soil and on the crop yield of rice plant. **J. Gen. Appl. Microbiol.** 8: 85 – 91.

Zaidi, A., M.S. Khan, M. Ahemad and M. Oves, 2009. Plant growth promotion by phosphate solubilizing bacteria. **Acta. Microbiol. Immunol. Hung.** 56: 263-284.

Zakria, M., J. Njoloma, Y. Saeki and S. Akao. 2007. Colonization and nitrogen-fixing ability of *Herbaspirillum* sp. strain B501 gfp1 and assessment of its growth promoting ability in cultivated rice. **Microbes Environ**. 22: 197 - 206.

บทที่ 7

ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพและมาตรฐานปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย

ปุ๋ยชีวภาพเป็นจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งจะช่วยลดหรือทดแทนปุ๋ยเคมีทางการเกษตรได้ ซึ่งการใช้ปุ๋ยชีวภาพสามารถสนับสนุนการผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ได้ และยังสามารถเพิ่มผลผลิต เพิ่มคุณภาพและเป็นที่ยอมรับในการพัฒนาด้านเกษตรอินทรีย์ โดยมุ่งเน้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และจุลินทรีย์ที่สามารถละลายหรือดูดซับธาตุอาหารจากหินแร่ในดิน ทำให้ได้ธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ รวมทั้งจุลินทรีย์ที่สร้างสารเสริมการเจริญเติบโตให้กับพืช ปัจจุบันจึงมีการนำจุลินทรีย์เหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในภาคการเกษตรที่หลากหลาย รวมถึงผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่มีคุณภาพเพื่อให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรต่อไป โดยในประเทศไทยมีหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพชนิดต่างๆ แต่ถ้าผลิตเพื่อการค้าจะต้องผ่านเกณฑ์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 (ภาคผนวก ก)

7.1 ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตโดยภาครัฐ

7.1.1 ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพของกรมพัฒนาที่ดิน

กรมพัฒนาที่ดินมีการวิจัยนวัตกรรมจุลินทรีย์และผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ เพื่อสนับสนุนให้เป็นปัจจัยการผลิตทางการเกษตรกับเกษตรกร ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) (ตารางภาคผนวกที่ 2) ได้แก่

1) จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด ดินเปรี้ยว เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยละลายฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดินกรด และดินเปรี้ยว (pH ต่ำกว่า 4) ให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ประกอบด้วยแบคทีเรีย *Burkholderia* sp. ซึ่งในการแนะนำให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์นั้น จะต้องนำไปขยายเชื้อ โดยใช้วัสดุสำหรับขยายเชื้อ ประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม รำข้าว 3 กิโลกรัม ซุปเปอร์ พด.9 จำนวน 1 ซอง ซึ่งมีวิธีการขยายเชื้อ ดังนี้

1.1) ผสมปุ๋ยหมักกับรำข้าวละเอียดให้เข้ากัน

1.2) ละลายจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ในน้ำและกวนส่วนผสมประมาณ 5 นาที

1.3) นำจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ที่ละลายในน้ำเทลงในส่วนผสมของปุ๋ยหมัก และรำข้าว

1.4) ผสมวัสดุให้เข้ากัน และปรับความชื้นด้วยน้ำให้ได้ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์

1.5) ตั้งกองปุ๋ยในที่ร่มเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้สูงประมาณ 50 เซนติเมตร

1.6) ใช้วัสดุคลุมเพื่อรักษาความชื้นในระหว่างการขยายเชื้อให้รักษาความชื้นในกองปุ๋ยให้ได้ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และขยายเชื้อเป็นเวลา 4 วันจึงนำไปใช้ได้

2) จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุง พด.11 ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินมีผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ พด.11 สำหรับใช้กับพืชปุ๋ยสด 3 ชนิด ได้แก่ โสนอัฟริกัน ปอเทือง และถั่วพร้า โดยเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เพิ่มมวลชีวภาพและธาตุอาหารให้กับพืชปุ๋ยสด ทั้ง 3 ชนิดนี้ คือ ไรโซเบียมที่มีความเฉพาะเจาะจงมีประสิทธิภาพตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ ในการนำ พด.11 ไปใช้ประโยชน์ นั้น จะแบ่งได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

2.1) จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 สำหรับปอเทืองและโสนอัฟริกัน จะแนะนำให้ขยายเชื้อโดยใช้วิธีการขยายเชื้อ จากวัสดุสำหรับขยาย ประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม

รำข้าว 1 กิโลกรัม จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 จำนวน 1 ซอง ซึ่งมีวิธีการขยายเชื้อดังนี้

2.1.1) ผสมจุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 และรำข้าวในน้ำ 5 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที

2.1.2) รดสารละลายจุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 ลงในกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน

2.1.3) ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์

2.1.4) กองปุ๋ยหมักให้อยู่ในที่ร่มเป็นเวลา 4 วัน

2.2) จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 สำหรับถั่วพร้า แนะนำให้นำไปคลุกเมล็ดโดยใช้วัสดุสำหรับการคลุกเมล็ด ประกอบด้วย เมล็ดพันธุ์ถั่วพร้า 10 กิโลกรัม จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 จำนวน 1 ซอง น้ำมันพืช 5 มิลลิลิตร โดยมีวิธีการคลุกเมล็ด ดังนี้

2.2.1) นำเมล็ดถั่วพร้าใส่ในภาชนะแล้วใส่น้ำมันพืชในอัตรา 5 มิลลิลิตร (ครึ่งช้อนโต๊ะ) เคลือบผิวเมล็ดให้ทั่วทุกเมล็ด

2.2.2) นำจุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 (ถั่วพร้า) มาปรับความชื้น โดยการใส่น้ำสะอาดประมาณ 40 มิลลิลิตร (4 ช้อนโต๊ะ) ให้ได้ความชื้นประมาณ 40 - 50 เปอร์เซ็นต์

2.2.3) ใส่จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 (ถั่วพร้า) ที่ปรับความชื้นแล้วคลุกเคล้าเบาๆ จนกระทั่งทุกเมล็ดมีผงเชื้อไรโซเบียมถั่วพร้าติดอย่างสม่ำเสมอ

3) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืชเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินและสร้างฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 4 ประเภท ได้แก่

3.1) จุลินทรีย์ที่ให้ธาตุไนโตรเจน เป็นจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดินสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยกิจกรรมเอนไซม์ไนโทรจีเนส ได้แก่ *Azotobacter tropicalis*

3.2) จุลินทรีย์ที่ให้ธาตุฟอสฟอรัส เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดอินทรีย์ปลดปล่อยออกมาละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในรูปไม่ละลาย เช่น หินฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ ได้แก่ *Burkholderia unamae*

3.3) จุลินทรีย์ที่ให้ธาตุโพแทสเซียม เป็นจุลินทรีย์ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ช่วยละลายแร่ธาตุที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบในกลุ่มไมก้า เช่น ไบโอไทต์ มัสโคไวต์ และกลุ่มของเฟลด์สปาร์ เช่น ไมโครไคลน์ ออโทเคลส ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ *Bacillus subtilis*

3.4) จุลินทรีย์ที่สร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือฮอร์โมนพืช ได้แก่ ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน ช่วยกระตุ้นการเจริญของรากขนอ่อน และช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของรากพืช ทำให้ความสามารถในการดูดน้ำและธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ *A. chroococcum*

การนำ พด.12 ไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่การเกษตร จะแนะนำให้ไปขยายเชื้อ โดยมีวัสดุสำหรับขยายเชื้อ ประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม รำละเอียด 3 กิโลกรัมปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 จำนวน 1 ซอง สำหรับวิธีการขยายเชื้อมีขั้นตอนดังนี้

- ผสมปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 และรำข้าวในน้ำ 1 ปี๊บ (20 ลิตร) คนให้เข้ากันนาน 5 นาที

- รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยตรวจสอบความชื้นด้วยการกำปุ๋ยหมักเป็นก้อนและไม่มีน้ำไหลออกมา เมื่อคลายมือออกปุ๋ยหมักยังคงสภาพเป็นก้อนอยู่ได้

- ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้น

- กองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที กรณีที่ยังไม่นำไปใช้ปรับความชื้นให้ต่ำกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ แล้วเก็บใส่กระสอบไว้ในที่ร่ม เมื่อใช้ให้หว่าน พร้อมรดน้ำตาม

ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพของกรมพัฒนาที่ดินทั้ง 3 ชนิด เป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบผงใช้ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุรองรับ ซึ่งมีองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในแต่ละผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน จากการเก็บข้อมูลปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด พบว่า ปริมาณเชื้อในการเก็บรักษา 1 - 6 เดือน มีปริมาณเฉลี่ย 10^7 เซลล์ต่อกรัม ในช่วง 7 - 12 เดือน มีปริมาณเฉลี่ย 10^6 เซลล์ต่อกรัม (ฉวีวรรณ และคณะ, 2552; วุฒิชัย และคณะ, 2560; กานต์มณี และ พิกุล, 2561) ดังนั้นกรมพัฒนาที่ดินจึงกำหนดวันหมดอายุของผลิตภัณฑ์ไว้ด้านหลังซองผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 1 ปี จากวันที่ผลิต สำหรับการใช้ผลิตภัณฑ์นั้นกรมพัฒนาที่ดินแนะนำให้เกษตรกรขยายเชื้อตามวิธีการที่ได้กล่าวไปแล้ว ในข้อ 1) - 3) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เพียงพอกับพื้นที่การใช้ประโยชน์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่ส่งเสริมนั้นมีน้ำหนักบรรจุ 100 กรัม โดยใช้เวลาการขยายเชื้อ 4 - 5 วัน ซึ่งพบว่ามีปริมาณเชื้อสูงสุด 10^9 เซลล์ต่อกรัม แต่หลังจากนั้นปริมาณเชื้อจะลดลง (วุฒิชัย และคณะ, 2552) แต่ถ้าต้องการเก็บรักษาปุ๋ยชีวภาพไว้โดยไม่ใช้ทันทีจะต้องลดความชื้นให้ต่ำกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากจากการทดสอบการเก็บรักษาเชื้อไรโซเบียมที่ความชื้น 35 % สามารถเก็บรักษาเชื้อได้ ในระยะเวลา 6 เดือน มีปริมาณ 10^6 เซลล์ต่อกรัม (กานต์มณี และ พิกุล, 2561)

7.1.2 ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพของกรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตรมีการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยชีวภาพตั้งแต่ปี พ. ศ. 2520 จนถึงปัจจุบันมีการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ และจำหน่ายให้เกษตรกรเพื่อใช้เป็นปุ๋ยในการผลิตพืชทั้งหมด 4 ชนิด (กรมวิชาการเกษตร, 2548) (ตารางภาคผนวกที่ 3) คือ

1) ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม มีผลิตภัณฑ์ทั้งชนิดผง และชนิดเหลว มีความเฉพาะเจาะจงใช้กับพืชตระกูลถั่วแต่ละชนิด ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมที่ผลิตโดยกรมวิชาการเกษตร เช่น ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วเขียว ถั่วฝักยาว ถั่วลันเตา ถั่วแดงหลวง ถั่วเหลืองฝักสด ถั่วแขก ถั่วเซนโตรซีมา ถั่วเซอราโต ถั่วเพอราเรีย เป็นต้น และมีการผลิตปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับพืชถั่วไม้ยืนต้นและไม้โตเร็ว เช่น กระถินณรงค์ กระถินเทพา เป็นต้น

2) ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ เป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยแบคทีเรียบริเวณรากที่มีชีวิตที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช แบ่งเป็นปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 ใช้สำหรับการปลูกข้าวโพดและข้าวฟ่าง ประกอบด้วยแบคทีเรีย 3 สกุล คือ *Azotobacter Beijerinekia* และ *Azospirillum* ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 2 ใช้สำหรับการปลูกข้าว ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 สกุล คือ *Azospirillum* และ *Burkholderia* ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 3 ใช้สำหรับการปลูกอ้อยและมันสำปะหลัง ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 สกุล คือ *Azotobacter* และ *Gluconobacter* โดยปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 จำนวน 1 กรัม จะมีจำนวนเซลล์ทั้งหมดรวมกันอย่างน้อย 10^8 เซลล์ต่อกรัมสดของวัสดุรองรับ

3) ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา เป็นชนิดวีเอ หรือ เอเอ็มไมคอร์ไรซา มีจำนวนสปอร์มากกว่า 25 สปอร์ต่อกรัม ใช้ได้กับไม้ผลและพืชต่างๆ ได้แก่ มะม่วง ขนุน มะละกอ ทุเรียนมังคุด ลำไย มะขามหวาน ส้มโอ ลองกอง ยางพารา หน่อไม้ฝรั่ง หม่อน เป็นต้น

4) ปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต ประกอบด้วยเชื้อราสกุล *Penicillium* sp. 3 สายพันธุ์ มีประสิทธิภาพในการละลายหินฟอสเฟต

7.2 ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตโดยภาคเอกชน

ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตโดยเอกชนเพื่อการค้า นอกจากหน่วยงานภาครัฐที่มีการวิจัยและพัฒนาจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร บริษัทเอกชนจำนวนไม่น้อยที่ให้ความสนใจในการวิจัยและพัฒนาจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์เพื่อใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพสำหรับเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจำเป็นต้องขึ้นทะเบียนกับกรมวิชาการเกษตร และมีการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์รับรองแต่ละชนิดตามมาตรฐานปุ๋ยชีวภาพของประเทศไทย ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 (ตารางภาคผนวกที่ 1) โดยแต่ละผลิตภัณฑ์มีระยะเวลาการอนุญาต 5 ปี โดยให้ผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้า หรือผู้รับใบอนุญาตนำเข้าปุ๋ยซึ่งประสงค์จะผลิตหรือนำเข้าปุ๋ยชีวภาพนอกจากปุ๋ยที่รัฐมนตรีกำหนดตามมาตรา 34 (5) ต้องนำปุ๋ยชีวภาพชนิดนั้น มาขึ้นทะเบียนตามมาตรา 35 แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 โดยให้ยื่นคำขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพตามแบบ ท.ช.1 (ภาคผนวก ข) พร้อมส่งมอบตัวอย่างภาชนะบรรจุหรือภาพถ่ายภาชนะบรรจุต่อพนักงานเจ้าหน้าที่ ณ สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร นอกจากนี้เมื่ออธิบดีกรมวิชาการเกษตรเห็นสมควรอนุญาตให้ผู้ขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพชนิดใดให้ออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพตามแบบ ท.ช.3 (ภาคผนวก ค) (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2564)

ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพของบริษัทเอกชน ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นต้น (ตารางภาคผนวกที่ 4) นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่ภาคเอกชนได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากหน่วยงานภาครัฐ คือ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ซึ่งได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัทเอกชน ทำการผลิตและจำหน่ายในนามชื่อการค้าว่า อัลจินัว ประกอบด้วยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 7 สกุล ได้แก่ *A. Calothrix Scytonema Tolypothrix Nostoc Cylindrospermum* และ *Hepalosiphon* เหมาะสำหรับใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพใช้ในนาข้าวโดย *Anabaena siamensis* มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนและเจริญเติบโตได้รวดเร็วภายใน 3 - 4 ชั่วโมง นอกจากนี้ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้มีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต เรียกว่า ไบโอฟอสก้า (Biophoska) โดยการใช้เชื้อผสมหลายสายพันธุ์ทั้งแบคทีเรียในสกุล *Bacillus* และเชื้อรา *Aspergillus* ที่คัดเลือกจากการเก็บตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ ภายในประเทศ และพบว่ามีประสิทธิภาพสูงในการละลายหินฟอสเฟต โดยนำมาคลุกกับวัสดุรองรับที่มีหินฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ แล้วปั้นเป็นเม็ดเพื่อให้เกิดความสะดวกต่อเกษตรกรในการนำไปใช้ประโยชน์ (อาภารัตน์, 2549)

7.3 เกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยชีวภาพ

7.3.1 มาตรฐานปุ๋ยชีวภาพของประเทศไทย ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 กำหนดให้ปริมาณจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพประเภทต่างๆ มีปริมาณ ดังตารางภาคผนวกที่ 1 ปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ และปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่น้อยกว่า 10^6 เซลล์ต่อกรัม

ในขณะที่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตจากเชื้อรา และแบคทีเรียมีปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่น้อยกว่า 10^7 และ 10^8 เซลล์ต่อกรัม ตามลำดับ ปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียมกำหนดให้มีปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่น้อยกว่า 10^7 เซลล์ต่อกรัม และปุ๋ยชีวภาพอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่น้อยกว่า 25 สปอร์ต่อกรัม โดยมีเกณฑ์คลาดเคลื่อนขั้นต่ำ 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณจุลินทรีย์รับรอง นอกจากนี้ยังมีการควบคุมปุ๋ยชีวภาพโดยมีสาระสำคัญ 2 ประการ คือ

1) กำหนดให้ปุ๋ยชีวภาพเป็นปุ๋ยที่ต้องขึ้นทะเบียน

2) กำหนดลักษณะของปุ๋ยชีวภาพที่ห้ามผลิตและขาย การขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพผู้ขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพต้องส่งตัวอย่างปุ๋ยชีวภาพที่ขอขึ้นทะเบียนพร้อมทั้งแจ้งรายละเอียด ดังนี้

2.1) ประเภทหรือชนิดของปุ๋ยชีวภาพ

2.2) วัสดุรองรับของปุ๋ยชีวภาพ

2.3) ชนิดของจุลินทรีย์

2.4) น้ำหนักสุทธิหรือขนาดบรรจุและภาชนะหรือหีบห่อบรรจุ

2.5) ชื่อผู้ผลิตและสถานที่ผลิตปุ๋ยชีวภาพ

2.6) วิธีตรวจวิเคราะห์ ฯลฯ (พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2550มาตรา 36/1)

2.7) วิธีการผลิตปุ๋ยชีวภาพโดยย่อ

2.8) ฉลาก

2.9) เอกสารกำกับปุ๋ยชีวภาพ

2.10) รายงานการวิเคราะห์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพของห้องทดลองของทางราชการหรือห้องทดลองอื่นที่อธิบดีกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย

2.11) รายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติและสรรพคุณ

ปุ๋ยชีวภาพที่ห้ามผลิตและขาย ปุ๋ยชีวภาพที่ห้ามผลิตและขายมี 2 ประเภท คือ ปุ๋ยชีวภาพปลอม และปุ๋ยชีวภาพต่ำกว่าเกณฑ์

ปุ๋ยชีวภาพปลอม ปุ๋ยชีวภาพปลอม มีลักษณะ 3 ประการ (พระราช-บัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2550 มาตรา 32/1) คือ

- แสดงชื่อหรือเครื่องหมายการค้าของผู้ผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้าหรือที่ตั้งสถานที่ผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้าซึ่งไม่ตรงกับความจริง
- แสดงว่าเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ขึ้นทะเบียนไว้ซึ่งไม่ตรงกับความจริง
- ผลิตขึ้นโดยมีชนิดของจุลินทรีย์ไม่ตรงตามที่ขึ้นทะเบียนไว้หรือที่ระบุไว้ในฉลาก

ปุ๋ยชีวภาพต่ำกว่าเกณฑ์ ปุ๋ยชีวภาพต่ำกว่าเกณฑ์มีลักษณะ 2 ประการ (พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2550 มาตรา 33/1) คือ

- ผลิตขึ้นโดยมีปริมาณจุลินทรีย์รับรองชนิดใดชนิดหนึ่งต่ำกว่าที่ได้ขึ้นทะเบียนไว้หรือที่ระบุไว้ในฉลาก
- ปุ๋ยชีวภาพที่สิ้นอายุ

7.3.2 มาตรฐานปุ๋ยชีวภาพในต่างประเทศ การกำหนดมาตรฐานของปุ๋ยชีวภาพในต่างประเทศมีปริมาณไม่แตกต่างกับมาตรฐานปริมาณจุลินทรีย์รับรองของประเทศไทย ซึ่งการกำหนดปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพเพื่อให้เกิดประโยชน์เมื่อใส่ลงในดิน (Ghosh *et al*., 2001) โดยกำหนดปริมาณจุลินทรีย์ในวัสดุรองรับวันผลิต และปริมาณจุลินทรีย์วันหมดอายุ เช่น ปริมาณจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมของประเทศออสเตรเลียกำหนดให้วันที่ผลิตต้องมีจำนวน 10^9 เซลล์ต่อกรัม และวันหมดอายุมี

จำนวน 10^8 เซลล์ต่อกรัม เช่นเดียวกับประเทศแคนาดา และประเทศฝรั่งเศส ในขณะที่ประเทศอินเดียที่มีการวิจัยการใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์ในกลุ่มปุ๋ยชีวภาพมีการกำหนดมาตรฐานของปริมาณจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 7.1 พบว่าจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมในวันที่ผลิตมีปริมาณ 10^8 เซลล์ต่อกรัม วันหมดอายุ ปริมาณลดลงเท่ากับ 10^7 เซลล์ต่อกรัม ในขณะที่อะโซโตแบคเตอร์ จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และอะโซสไปริลัม มีปริมาณจุลินทรีย์ในวันที่ผลิตเท่ากัน คือ 10^7 เซลล์ต่อกรัม วันหมดอายุมีปริมาณเท่ากับ 10^6 10^7 และ10^7 เซลล์ต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งจุลินทรีย์ทุกชนิดมีระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน (Ghosh *et al*., 2001)

ตารางที่ 7.1 ปริมาณจุลินทรีย์ในวัสดุรองรับ วันที่ผลิต วันหมดอายุ และระยะเวลาหมดอายุ

ชนิดของปุ๋ยชีวภาพ	ปริมาณจุลินทรีย์รับรอง (เซลล์ต่อกรัม)		ระยะเวลาหมดอายุ (เดือน)
	วันที่ผลิต	วันหมดอายุ	
ไรโซเบียม	10^8	10^7	6
อะโซโตแบคเตอร์	10^7	10^6	6
จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต	10^7	10^7	6
อะโซสไปริลัม	10^7	10^7	6

ที่มา : Ghosh *et al*., 2001

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2551. **ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพกรมพัฒนาที่ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ปุ๋ยชีวภาพและผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กานต์มณี จันทร์ขาว และ พิกุล เกตุชาญวิทย์. 2561. **วิจัยรูปแบบและประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์เพิ่มมวลชีวภาพสำหรับปอเทือง.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, พิมพ์ธิดา เรืองไพศาล และ จันจิรา แสงสีเหลือง. 2552**. การแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมให้เป็นประโยชน์ต่อพืช**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

วุฒิชัย จันทรสมบัติ, นวลจันทร์ ชะบา และ จันจิรา แสงสีเหลือง. 2560. **ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบเป็นวัสดุรองรับจุลินทรีย์ เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

วุฒิชัย จันทรสมบัติ, นวลจันทร์ ภาสดา, มนต์ระวี พีราวัชร และ วีระ โรพันดุง. 2552. **การคัดเลือกจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต เพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2562. **ทะเบียนปุ๋ยชีวภาพ.** แหล่งที่มา: http://www.kasetservices.com/Search/BioFertilizer, 15 สิงหาคม 2562.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2564. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียน และการแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยชีวภาพ พ.ศ. 2552. ประกาศกรมวิชาการเกษตร.แหล่งที่มา: https://www.doa.go.th/ard/?page_id=171, 12 ,มกราคม 2564

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2564. พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. **พระราชบัญญัติ**. แหล่งที่มา: https://www.doa.go.th/ard/?page_id=171, 12 มกราคม 2564.

อาภารัตน์ มหาขันธ์. 2549. **ปุ๋ยชีวภาพจากจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตกับอนาคตการเกษตรของประเทศไทย.** สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

Ghosh, T.K., R.P. Singh., J.S. Duhan. and D.S. Yadav. 2001. A review on quality control of biofertilizer in India. **Fertilizer Marketing New.** 32: 1 - 9.

บทที่ 8

เทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยชีวภาพ

8.1 คำนำ

ปัจจุบันมีการวิจัยและคัดเลือกจุลินทรีย์จากธรรมชาติสายพันธุ์มีประสิทธิภาพสูงในการช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรกันอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศ โดยจุลินทรีย์เป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศดิน ทำหน้าที่ขับเคลื่อนวัฏจักรธาตุอาหาร และมีบทบาทสำคัญทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์อย่างยั่งยืน (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ซึ่งในประเทศไทย มีงานวิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพหลากหลายชนิด โดยเฉพาะหน่วยงานภาครัฐ เช่น กรมวิชาการเกษตร กรมพัฒนาที่ดิน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศ และมหาวิทยาลัยต่างๆ และมีการส่งเสริมเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยชีวภาพสู่เกษตรกรมากขึ้น โดยความหมายของคำว่าเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ประกอบด้วยคำว่า เทคโนโลยี และการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งความหมายจากพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตสถาน พ.ศ. 2554 เทคโนโลยี หมายถึง วิทยาการที่นำเอาความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางปฏิบัติ อุตสาหกรรม เป็นต้น และ ปุ๋ยชีวภาพ ตามความหมายพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช มาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือทางชีวเคมี และให้หมายความรวมถึงหัวเชื้อจุลินทรีย์

ดังนั้นเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยชีวภาพ หมายถึง วิทยาการนำปุ๋ยที่ได้จากจุลินทรีย์ที่มีชีวิตซึ่งสามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช มาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือทางเคมี ซึ่งปุ๋ยชีวภาพจะสามารถไปทดแทนปุ๋ยเคมีได้บางส่วน ใช้ได้กับบางพืช และบางพื้นที่ ซึ่งเกษตรกรที่ต้องการใช้ปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับพืชจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยโดยรวมด้วย

ดังนั้นข้อควรพิจารณาในการเลือกใช้ปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสมกับดินและพืชที่สำคัญมีดังนี้

8.1.1 สมบัติของดิน ซึ่งสมบัติของดินทั้งลักษณะทางกายภาพและชีวภาพ ต่างมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ก่อนใช้ปุ๋ยชีวภาพเกษตรกรควรรู้สมบัติของดินที่จะทำการปลูกพืช เช่น ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จุลินทรีย์บางชนิดหรือบางสายพันธุ์มีความทนทานทานต่อสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดินแตกต่างกัน ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในดิน ปริมาณน้ำในดินมีความสำคัญในการใช้ปุ๋ยชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในปุ๋ยชีวภาพ บางชนิดสามารถอยู่ได้ในสภาพน้ำขัง เช่น ปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเจริญได้ดีในน้ำหรือที่ขึ้นแฉะมีน้ำขัง แต่ไม่สามารถเจริญเติบโตและเกิดประโยชน์ได้ในที่แห้งแล้ง เป็นต้น โดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่มักจะเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนซุยมากกว่าดินแน่นทึบ ขณะเดียวกันยังต้องคำนึงถึงปริมาณธาตุอาหารในดินบางชนิด กล่าวคือ ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง หรือมีอินทรียวัตถุสูง มักจะมีธาตุไนโตรเจนอยู่ในปริมาณสูง การใส่ปุ๋ยชีวภาพที่มีธาตุไนโตรเจนจึง ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

8.1.2 ชนิดของปุ๋ยชีวภาพ ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของดิน ปุ๋ยชีวภาพแต่ละชนิดจะมีสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกันไป การใช้ปุ๋ยชีวภาพต้องเลือกชนิดของปุ๋ยชีวภาพให้เหมาะสมกับชนิดของพืชที่ปลูก ปุ๋ยชีวภาพแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการให้ธาตุอาหารแก่พืชแตกต่างกัน เช่น ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมจะใช้เฉพาะกับพืชตระกูลถั่วเท่านั้น และพืชตระกูลถั่วแต่ละชนิดก็จะต้องใช้สายพันธุ์แบคทีเรียสกุลไรโซเบียมที่มีความสามารถจำเพาะที่แตกต่างกัน เช่น ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับถั่วเขียวจะต้อง

ใช้แบคทีเรียไรโซเบียมชนิดสำหรับถั่วเขียว หรือปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับถั่วเหลืองก็จะต้องใช้แบคทีเรียสกุลไรโซเบียมชนิดสำหรับถั่วเหลืองจึงจะเกิดประสิทธิผลในการใช้ (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

8.1.3 ชนิดของธาตุอาหารที่ต้องการให้แก่พืช ปุ๋ยชีวภาพแต่ละชนิดจะมีสมบัติในการให้ธาตุอาหารแก่พืชที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้ใช้จะต้องทราบว่าต้องการให้ธาตุอาหารอะไรกับพืช ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตในปัจจุบันประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีสมบัติแตกต่างกัน เช่น ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมมีสมบัติช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้พืชนำไปใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนสามารถใช้ได้เฉพาะกับพืชตระกูลถั่วเท่านั้น ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต สามารถช่วยละลายฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟต เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

8.1.4 สารเคมีทางการเกษตร การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการผลิตพืชควรมีข้อควรระวังเกี่ยวกับการใช้สารเคมีทางการเกษตรบางชนิด เช่น สารป้องกันกำจัดวัชพืช สารกำจัดโรคพืช เพราะสารบางชนิดจะมีผลยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในปุ๋ยชีวภาพ เช่น ยากำจัดโรครากเน่าโคนเน่าบางชนิดซึ่งอาจจะมีผลยับยั้งและทำลายแบคทีเรียที่เป็นองค์ประกอบในปุ๋ยชีวภาพ เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มผลิตภาพของดิน (soil productivity) เพื่อการผลิตพืชทำได้ทั้งในดินที่ไม่มีปัญหาซึ่งใช้ผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ การบำรุงดินแบบผสมผสาน และในดินที่มีปัญหาต่างๆ ได้แก่ ดินเปรี้ยวจัด ดินกรด ดินอินทรีย์ ดินเค็ม ดินทราย และดินตื้น ดังรายละเอียดในข้อ 8.2 - 8.7

8.2 การใช้ปุ๋ยชีวภาพในระบบเกษตรอินทรีย์

8.2.1 ความหมายของเกษตรอินทรีย์

ความหมายของเกษตรอินทรีย์จากรายงานของสุพจน์ (2562) ตามที่คณะกรรมการพัฒนาเกษตรอินทรีย์ (2551) ได้รวบรวมเอาไว้มีดังนี้

1) เกษตรอินทรีย์ หมายถึง ระบบการเกษตรที่ผลิตอาหารและเส้นใยด้วยความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมและนิเวศการเกษตร เกษตรอินทรีย์จึงลดการใช้ปัจจัยการผลิตจากภายนอก และหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ เช่น ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืชและเวชภัณฑ์สำหรับสัตว์ แต่ในขณะเดียวกันก็พยายามประยุกต์ใช้ธรรมชาติในการเพิ่มผลผลิตและพัฒนาความต้านทานต่อโรคของพืช และสัตว์เลี้ยง หลักการทางเกษตรอินทรีย์เป็นหลักการสากลที่สอดคล้องกับเงื่อนไขทางเศรษฐกิจ สังคม ภูมิอากาศ และวัฒนธรรมของท้องถิ่นด้วย (International Federation of Organic Agriculture Movement, IFOAM)

2) เกษตรอินทรีย์ หมายถึง ระบบการจัดการการผลิตด้านการเกษตรแบบองค์รวม ที่เกื้อหนุนต่อระบบนิเวศ รวมถึงความหลากหลายทางชีวภาพ วงจรชีวภาพ โดยเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติ หลีกเลี่ยงการใช้วัตถุดิบจากการสังเคราะห์ และไม่ใช้พืช สัตว์หรือจุลินทรีย์ ที่ได้มาจากเทคนิคการดัดแปลงพันธุกรรมหรือพันธุวิศวกรรม มีการจัดการกับผลิตภัณฑ์ โดยเน้นการแปรรูปด้วยความระมัดระวัง เพื่อรักษาสภาพการเป็นเกษตรอินทรีย์ และคุณภาพที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ในทุกขั้นตอน สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.)

3) เกษตรอินทรีย์ คือ ระบบการเกษตรที่ใช้หลักการความสมดุลทางนิเวศวิทยาของธรรมชาติมาประยุกต์ใช้เพื่อจัดการผลิต โดยผสมผสานกิจกรรมความหลากหลายทางชีวภาพของพืช สัตว์ ปศุสัตว์ ประมง ป่าไม้ เป็นต้น ได้เกิดการเกื้อกูลและหมุนเวียนใช้ทรัพยากรในระบบนิเวศของไร่นาให้เกิดประโยชน์สูงสุด หลีกเลี่ยงการใช้ปัจจัยการผลิตที่นาเข้าจากฟาร์ม ปฏิเสธการใช้ปัจจัยที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์ เช่น ปุ๋ยเคมี สารกาจัดศัตรูพืช ฮอร์โมน สารปฏิชีวนะ เป็นต้น รวมทั้งไม่ใช้พันธุ์ที่ผ่านการปรับเปลี่ยนทางพันธุกรรม ทั้งนี้ เพื่อให้ผลผลิตที่เป็นอาหาร ยารักษาโรค และเครื่องนุ่งห่ม เป็นต้น ที่สะอาดและ

ปลอดภัยต่อสุขภาพผู้บริโภคอนุรักษ์และปรับปรุงสภาพแวดล้อมการเกษตรไปพร้อมๆ กับการพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน (ชนวน, 2550)

นอกจากนี้ยังมีการให้ความหมายจากรายงานอื่นๆ เช่น เกษตรอินทรีย์ คือระบบการปลูกพืชที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อมรักษาสมดุลของธรรมชาติ ระบบนิเวศ และความหลากหลายทางชีวภาพ เน้นการบำรุงดินใช้ปุ๋ยอินทรีย์และอนินทรียสารบางชนิด (ยงยุทธ และคณะ, 2551) และ Jackson *et al*. (2012) กล่าวว่า เกษตรอินทรีย์ หมายถึง ระบบการผลิตพืชอินทรีย์ที่อาศัยบทบาทของจุลินทรีย์ในระบบนิเวศมาเป็นต้นแบบของระบบนิเวศเกษตรในการทำเกษตรอินทรีย์ เป็นต้น

ดังนั้นความหมายของเกษตรอินทรีย์อาจสามารถสรุปได้ว่า เกษตรอินทรีย์ หมายถึง ระบบการผลิตพืชอาศัยบทบาทของจุลินทรีย์ในระบบนิเวศ เน้นความยั่งยืนของสุขภาพดิน ระบบนิเวศ อาศัยกระบวนการทางนิเวศวิทยา ความหลากหลายทางชีวภาพ และวงจรธรรมชาติ ผสมผสานองค์ความรู้พื้นบ้าน นวัตกรรม และความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ไม่ใช้สารเคมีทางการเกษตรและพืชจากการตัดต่อทางพันธุกรรม เน้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และการใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปรับปรุงบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ เพื่อให้พืชที่ปลูกมีความแข็งแรง ต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช และผลผลิตที่ได้มีความปลอดภัย ปราศจากสารพิษตกค้าง ทำให้ปลอดภัยทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค และไม่ทำให้สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมลง

8.2.2 ชนิดของปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสม

ปุ๋ยชีวภาพเป็นองค์ประกอบสำคัญของการทำเกษตรอินทรีย์ มีบทบาทสำคัญในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาวอย่างยั่งยืน โดยการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศเปลี่ยนให้เป็นธาตุไนโตรเจนที่พืชนำไปใช้ได้ ช่วยละลายฟอสเฟตในรูปที่ไม่ละลายให้เป็นประโยชน์ต่อพืช ลดความเป็นพิษของโลหะหนัก เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ปรับปรุงโครงสร้างของดินโดยการผลิตสารโกลมาลิน เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ เป็นต้น ดังนั้นชนิดของปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสม ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ปุ๋ยชีวภาพไซยาโนแบคทีเรีย ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา เป็นต้น (Mahdi, 2010) ซึ่งรายละเอียดของปุ๋ยชีวภาพแต่ละชนิดในบทที่ 4

8.2.3 วิธีการใช้ปุ๋ยชีวภาพกับพืชประเภทต่างๆ

1) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกพืชปุ๋ยสดเพื่อปรับปรุงบำรุงดิน

การบำรุงดินสำหรับการปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ ต้องปฏิบัติตามมาตรฐานการผลิตพืชอินทรีย์ในประเทศไทย โดยการบำรุงดินแบบเกษตรอินทรีย์มีข้อปฏิบัติ คือ (1) ใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพตลอดจนการคืนเศษซากพืชกลับลงสู่ดินมีการไถพรวนน้อยที่สุดเพื่อลดการรบกวนดิน (2) ใช้ระบบพืชหมุนเวียนโดยมีพืชตระกูลถั่วซึ่งเป็นพืชบำรุงดินในระบบอย่างเหมาะสมเพื่อให้แน่ใจว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพในระบบพืชหมุนเวียนดังกล่าวทำให้ดินสามารถให้ธาตุไนโตรเจนและธาตุอื่นๆ แก่พืชทั้งระบบอย่างเพียงพอ และ (3) ใช้วัสดุอินทรีย์สำหรับบำรุงดินเฉพาะวัสดุที่อนุญาตให้ใช้สำหรับเกษตรอินทรีย์เท่านั้น (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ดังนั้นการปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ ควรปรับปรุงบำรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอกและปุ๋ยพืชสด เป็นต้น โดยปุ๋ยพืชสดจะเป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับพืชได้ดี ซึ่งหน่วยงานภาครัฐ ได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน และกรมวิชาการเกษตร มีการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพสำหรับพืชปุ๋ยสด เช่น ปอเทือง โสนอัฟริกัน เป็นต้น โดยมีวิธีการใช้ดังนี้

1.1) จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 (สำหรับปอเทือง และโสนอัฟริกัน) ของกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วย ไรโซเบียมที่มีความเฉพาะเจาะจงกับพืช มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ และจุลินทรีย์ละลายสารประกอบฟอสเฟต วิธีการใช้จะต้องนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไป

ขยายเชื้อก่อนใช้ โดยผสมจุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 จำนวน 1 ซอง และรำข้าว 1 กิโลกรัม ในน้ำ 5 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายจุลินทรีย์ลงในกองปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม และคลุกเคล้าให้เข้ากัน ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 4 วัน โดยหว่านปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ พด.11 (ปอเทือง) ให้ทั่วพื้นที่ปลูก หรือโรยในแถวร่องปลูก 100 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วปลูกปอเทือง โดยใช้อัตราเมล็ดปอเทือง 5 กิโลกรัมต่อไร่ ไถกลบเมื่อปอเทืองออกดอก แล้วปล่อยให้ย่อยสลายประมาณ 2 สัปดาห์ แล้วจึงปลูกพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

1.2) ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับปอเทือง ของกรมวิชาการเกษตร ประกอบด้วย แบคทีเรียตระกูลไรโซเบียม (Rhizobiaceae) ที่จำเพาะกับปอเทือง วิธีการใช้ ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับปอเทือง 1 ถุง คลุกกับเมล็ดปอเทือง 2 กิโลกรัม แล้วนำไปหว่าน (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ไถกลบเมื่อปอเทืองออกดอก แล้วปล่อยให้ย่อยสลายประมาณ 2 สปดาห์ แล้วจึงปลูกพืช

2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าวอินทรีย์

สำหรับการใช้ปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ หน่วยงานภาครัฐได้มีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพหลายชนิด ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชระบบเกษตรอินทรีย์ได้

2.1) ปุ๋ยชีวภาพ พีจีพีอาร์-2 สำหรับข้าว ของกรมวิชาการเกษตร ประกอบด้วย แบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ *Azospirillum brasilense* และ *Burkholderia vietnamiensis* มีปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่ต่ำกว่า 1×10^6 โคโลนี ต่อปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2562) วิธีการใช้ แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ 1) คลุกเมล็ดก่อนปลูก ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-2 จำนวน 1 ถุง ใส่น้ำสะอาดผสมให้ข้นเหนียว ใส่เมล็ดข้าวปริมาณ 10 - 15 กิโลกรัม คลุกเคล้าจนเนื้อปุ๋ยเคลือบติดผิวเมล็ดข้าว แล้วจึงนำไปหว่าน 2) ใช้กับปุ๋ยหมัก ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-2 จำนวน 1 ถุง ผสมกับปุ๋ยที่หมัก 250 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 1 ไร่ หว่านรองพื้นพร้อมปลูก

2.2) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วย แบคทีเรีย 4 ชนิด ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ *Azotobacter tropicalis* แบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Burkholderia unamae* แบคทีเรียเพิ่มความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียม *Bacillus subtilis* และ แบคทีเรียที่สร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือฮอร์โมนพืช *A. chroococcum* วิธีการใช้ต้องนำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้น กองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที โดยใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูกข้าว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

2.3) ปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (อัลจินัว) เป็นผลิตภัณฑ์ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตให้กับบริษัท อัลโกเทค จำกัด ซึ่งปุ๋ยอัลจินัวเป็นปุ๋ยที่ได้จากจุลินทรีย์จำพวกสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่มีสมบัติในการเปลี่ยนไนโตรเจนในอากาศเป็นแอมโมเนีย ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดินและเพิ่มผลผลิตข้าว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินนี้เจริญได้ดีในดินชื้นแฉะหรือดินนาน้ำขังประกอบด้วย สาหร่ายในสกุล *Anabaena Calothrix Cylindrospermum Fischerella Hapalosiphon Nostoc Scytonema* และ *Tolypothric*

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเหล่านี้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศและนำลงสู่ดินได้ประมาณ 10 - 20 กิโลกรัมต่อไร่ และสามารถสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นข้าว ตลอดจนสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ทนต่อความแห้งแล้ง ทนต่อความร้อนได้ดี ใช้หว่านรองพื้นก่อนหว่าน หรือก่อนปักดำ อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2558; บริษัท ปฐมรรค จำกัด, มปป.)

3) การใช้ปุ๋ยชีวภาพสำหรับพืชไร่

3.1) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกถั่วเหลืองอินทรีย์

3.1.1) ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับถั่วเหลือง กรมวิชาการเกษตร ใช้คลุกเมล็ด 10 - 15 กิโลกรัม ด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับถั่วเหลือง 1 ถุง โดยนำเมล็ดถั่วเหลืองใส่ภาชนะ พรมน้ำเปล่าให้ทั่ว ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม 1 ถุง คลุกให้เมล็ดติดปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นนำเมล็ดถั่วไปปลูก (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

3.1.2) ไบโอฟอสก้า (Biophoska) เป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตให้กับบริษัท อัลโกเทค จำกัด ประกอบด้วยแบคทีเรียในกลุ่มบาซิลลัส และราในกลุ่มแอสเพอร์จิรัส ใช้อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ โดยรองก้นหลุม หรือโรยระหว่างแถวแล้วกลบดินทันที (อาภารัตน์, 2549; บริษัท ปฐมรรค จำกัด, มปป.)

3.2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าวโพดอินทรีย์

3.2.1) ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 สำหรับข้าวโพด ข้าวฟ่าง ของกรมวิชาการเกษตร ประกอบด้วยแบคทีเรีย 3 ชนิด ได้แก่ *A. Brasilense* *A. vinelandii* และ *B. mobilis* มีปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่ต่ำกว่า 1×10^6 โคโลนี ต่อ ปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2562) วิธีการใช้ แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ 1) คลุกเมล็ดก่อนปลูก ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-วัน จำนวน 1 ถุง ผสมน้ำให้ข้น แล้วนำเมล็ดข้าวโพด 3 - 4 กิโลกรัม คลุกเคล้าจนเนื้อปุ๋ยเคลือบติดผิวเมล็ด แล้วจึงนำไปปลูกทันที 2) ใช้รองก้นหลุม ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-วัน จำนวน 1 ถุง ละลายน้ำสะอาด 20 ลิตร ราดกองปุ๋ยที่หมักสมบูรณ์แล้ว ประมาณ 250 กิโลกรัม ปรับความชื้นในกองปุ๋ยหมักให้ได้ประมาณ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก คลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วบ่มไว้ 1 สัปดาห์ ใช้รองก้นหลุมก่อนปลูก อัตรา 250 กิโลกรัมต่อไร่

3.2.2) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต กรมวิชาการเกษตร ประกอบด้วยเชื้อรา *Penicillium pinophilum* การใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตกับการผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ร่วมกับหินฟอสเฟตได้ ซึ่งตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ หินฟอสเฟตถูกกำหนดเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสอย่างหนึ่งในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตสำหรับการปลูกข้าวโพดจะแนะนำให้คลุกเมล็ดแล้วนำปลูก (กรมวิชาการเกษตร, 2548; กรมวิชาการเกษตร, 2561)

3.2.3) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 กรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่ระหว่างแถวตามแนวปลูกพืช แล้วคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

3.2.4) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต (ไบโอฟอสก้า) ใช้อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ รองก้นหลุมหรือโรยระหว่างแถวแล้วกลบดินทันที (อาภารัตน์, 2549; บริษัท ปฐมรรค จำกัด, มปป.)

3.3) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกอ้อยอินทรีย์

3.3.1) ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 3 สำหรับอ้อย มันสำปะหลัง ของกรมวิชาการเกษตร ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ *A. brasilense* และ *Gluconacetobacter diazotrophicus* มีปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่ต่ำกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2562) วิธีการใช้ทำได้ 2 วิธี คือ (1) ฉีดพ่นท่อนพันธุ์ ใช้ปุ๋ยพีจีพีอาร์ละลายกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 100 ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ อัตรา 1 กิโลกรัม (2 ถุง) ต่อน้ำ 100 ลิตร ต่อ 1 ไร่ ฉีดพ่นเป็นฝอยละเอียดลงบนท่อนพันธุ์แล้วจึงกลบทับด้วยดินทันที Z2) ผสมปุ๋ยเคมี ใช้ปุ๋ยพีจีพีอาร์ผสมปุ๋ยเคมีแบบเม็ด และคลุกเคล้าให้ปุ๋ยชีวภาพเกาะเม็ดปุ๋ยเคมี แล้วจึงหว่านรองพื้นและต้องรีบหว่านให้หมด

3.3.2) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 กรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ต้องนำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยอ้อยปลูก หว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูก สำหรับอ้อยตอ ใส่ระหว่างแถวตามแนวปลูกพืช แล้วคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

8.2.4 การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกพืชผักอินทรีย์

1) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ของกรมวิชาการเกษตร มีคำแนะนำการใช้สำหรับการปลูกพืชผัก เช่น พริก และมะเขือเทศ จะใช้ผสมกับวัสดุปลูก (กรมวิชาการเกษตร, 2561) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (1) นำวัสดุเพาะคลุกกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ในอัตราส่วนวัสดุเพาะ 50 กิโลกรัมต่อปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 500 กรัม (หรือปริมาณ 1 ถุง) (2) เมื่อคลุกเข้ากันดีแล้ว นำวัสดุเพาะที่ได้ใส่ถาดเพาะ รดน้ำให้ชุ่ม (3) ใส่เมล็ดพริกลงในถาดเพาะจำนวน 1 - 2 เมล็ด ต่อหลุม และ (4) นำถาดเพาะเข้าเรือนเพาะชำ รดน้ำเช้าเย็น

2) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยหว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูก หรือใส่ระหว่างแถวตามแนวปลูกพืช แล้วคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

3) ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้สำหรับหน่อไม้ฝรั่ง พริก และกระเจี๊ยบเขียว การใช้ในระยะเพาะกล้า ใช้อัตรา 3 กรัมต่อต้น ใส่คลุกเคล้าผสมกับดินที่ใช้เพาะชำกล้า การใช้ในช่วงปลูกพืช ใช้อัตรา 10 กรัมต่อต้น โดยใส่รองก้นหลุม (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

8.2.5 การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกไม้ผล

1) ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา กรมวิชาการเกษตร ประกอบด้วยอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *Glomus* sp. และ *Acaulospora* sp. วิธีการใช้ คลุกผสมปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2 - 3 กรัมหรือครึ่งช้อนชาต่อต้นกับดินที่ใช้เพาะชำกล้าไม้ผลหรือโรยให้สัมผัสกับรากฝอยของพืชใส่ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 10 กรัมหรือ 1 ช้อนแกงปาดต่อต้นรองก้นหลุมก่อนปลูก สำหรับพืชที่ปลูกแล้วให้ขุดเป็นร่องบริเวณทรงพุ่มหรือเกลี่ยดินออกจนพบรากฝอยจากนั้นโรย

ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 20 - 50 กรัมต่อต้น ให้สัมผัสกับรากแล้วจึงกลบดินทันที (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

2) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต กรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้ พืชปลูกใหม่ ใส่รองก้นหลุม ประมาณ 2 ช้อนแกงต่อหลุม สามารถแบ่งใช้ร่วมกับหินฟอสเฟต และปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกใส่ไม่ต้องลึก สำหรับพืชที่โตแล้วใส่รอบทรงพุ่มอัตรา 150 กรัมต่อทรงพุ่ม 0.5 เมตร โดยคลุกผสมกับหินฟอสเฟต และปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก แล้วสับกลบลงดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

3) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต (ไบโอฟอสก้า) ใช้กับไม้ผลขนาดกลางและขนาดใหญ่ โดยโรยรอบทรงพุ่ม อัตรา 1 - 2 กิโลกรัมต่อต้น (อาภารัตน์, 2549; บริษัท ปฐมรรค จำกัด, มปป.)

4) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 กรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 3 - 5 กิโลกรัมต่อต้น โดยคลุกเคล้ากับดินรองก้นหลุมในช่วงเตรียมหลุมปลูก สำหรับพืชที่เจริญแล้วใส่รอบทรงพุ่มหรือหว่านให้ทั่วภายใต้ทรงพุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

8.3 การใช้ปุ๋ยชีวภาพในระบบการบำรุงดินแบบผสมผสาน

8.3.1 ความหมายของการบำรุงดินแบบผสมผสาน

การบำรุงดินแบบผสมผสาน หมายถึง การใช้ปุ๋ยต่างชนิดกันทำให้ได้ระบบการจัดการดินที่ดี 2 ระบบ คือ (1) ระบบเกษตรอินทรีย์ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ผสมผสานกับปุ๋ยชีวภาพ และ (2) ระบบที่ใช้ปุ๋ยเคมีผสมผสานกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ โดยใช้ปุ๋ยแต่ละอย่างในช่วงเวลาและด้วยวิธีการที่เหมาะกับแต่ละพืช รวมทั้งการใส่วัสดุปรับปรุงดินที่จำเป็น สำหรับแก้ไขสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของดินบางอย่างที่บกพร่องให้ดีอีกด้วยทั้งสองระบบ การบำรุงดินแบบผสมผสานการบำรุงดินแบบผสมผสานใช้วิธีการที่ดีหลายวิธีร่วมกันอย่างเหมาะสม คือ (1) ใช้วัสดุปรับปรุงดินสำหรับดินปัญหา เช่น ใส่ปูนตามความต้องการปูน (lime requirement) ของดิน สำหรับการปลูกพืชในพื้นที่ดินกรด (2) ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสดเพื่อบำรุงดินในด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ อาจจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยหากธาตุอาหารในดินอยู่ในเกณฑ์ต่ำหรือปานกลาง ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ซึ่งการบำรุงดินแบบผสมผสานมีหลักการปฏิบัติ ดังนี้

1) ปรับปรุงดินทางเคมีด้วยสารปรับปรุงดิน เช่น ใส่ปูนในดินกรด เพื่อปรับพีเอชให้ใกล้กลาง ซึ่งจะช่วยให้ธาตุอาหารเดิมในดินและปุ๋ยที่ใช้มีความเป็นประโยชน์สูง

2) ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ ด้วยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการไถพรวนที่เหมาะสม เพื่อเอื้ออำนวยให้รากพืชแผ่ขยายได้ดีทั้งแนวราบและแนวดิ่ง

3) มีการอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างเหมาะสม ด้วยวิธีการทางพืช เช่น ใช้ระบบการปลูกพืชหมุนเวียนและปลูกพืชคลุมดินร่วมกับวิธีการเชิงกล เช่น การไถพรวนตามแนวระดับ และใช้มาตรการอื่นๆ ตามความจำเป็น เพื่อลดการสูญเสียดินและน้ำ

4) ใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเสริมธาตุอาหารบางธาตุที่ยังไม่เพียงพอ ช่วยให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินสูงเหมาะกับความต้องการของพืชที่ปลูก ซึ่งการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับการปลูกพืชแต่ละชนิดดูรายละเอียดในบทที่ 3

5) ใช้ปุ๋ยชีวภาพ เพื่อให้จุลินทรีย์เหล่านั้นเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร หรือเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารที่ไม่เป็นประโยชน์ให้เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งจะช่วยลดอัตราปุ๋ยหรือองดการใช้ปุ๋ยเคมีที่ให้บางธาตุ

8.3.2 ชนิดของปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสม

การใช้ปุ๋ยชีวภาพในระบบการบำรุงดินแบบผสมผสานนั้น สามารถเลือกชนิดของปุ๋ยชีวภาพให้เหมาะสมกับพืช และสมบัติดินได้หลายชนิด ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ปุ๋ยชีวภาพไซยาโนแบคทีเรีย ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา เป็นต้น ดูรายละเอียดของปุ๋ยชีวภาพแต่ละชนิดในบทที่ 4

8.3.3 วิธีการใช้ปุ๋ยชีวภาพในระบบการบำรุงดินแบบผสมผสาน กับพืชประเภทต่างๆ

การบำรุงดินแบบผสมผสาน เมื่อเกษตรกรทราบสมบัติดินที่จะปลูกพืช อาจต้องมีการปรับปรุงดินทางเคมีด้วยสารปรับปรุงดิน เช่น ปูนทางการเกษตร หรือการปรับปรุงดินทางกายภาพ เช่น การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน หรือปุ๋ยอินทรีย์ จะช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ในดินด้านอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารในดินที่ทำให้ผลผลิตสูงขึ้น (กัญญาพร และคณะ,2559) โดยวิธีการใช้ปุ๋ยชีวภาพในระบบการบำรุงดินแบบผสมผสาน มีรายงานการวิจัย และการส่งเสริมการใช้ให้กับเกษตรกรสำหรับปลูกพืชแต่ละชนิดในประเทศไทย ดังนี้

1) การใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าว

1.1) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ต้องนำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้น กองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที โดยใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูกข้าว ใช้ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราปุ๋ยเคมีที่แนะนำ (ชุติมาและทรายแก้ว, 2554; กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ง)

1.2) ปุ๋ยชีวภาพ พีจีพีอาร์ 2 สำหรับข้าว ของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้ ทำได้ 2 วิธี คือ (1) คลุกเมล็ดก่อนปลูก ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 2 จำนวน 1 ถุง ใส่น้ำสะอาดผสมให้ข้นเหนียว ใส่เมล็ดข้าวปริมาณ 10 - 15 กิโลกรัม คลุกเคล้าจนเนื้อปุ๋ยเคลือบติดผิวเมล็ดข้าว แล้วจึงนำไปหว่าน (2) ใช้กับปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยเคมีรองพื้น ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 2 จำนวน 1 ถุง ผสมกับปุ๋ยที่หมัก 250 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ไร่ หรือใช้คลุกกับปุ๋ยเคมีรองพื้นพร้อมปลูก

2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชไร่

2.1) ข้าวโพด ใช้ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก (วิธีการขยายเชื้อ ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3) อัตรา 175 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15 - 15 - 15 อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีสูตร 46 - 0 - 0 อัตรา 7.5 กิโลกรัมต่อไร่ (คำนึง และคณะ, 2555)

2.2) มันสำปะหลัง ใช้ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 กรมพัฒนาที่ดิน ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก (วิธีการขยายเชื้อ ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3) อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ช่วงเตรียมดิน ร่วมกับ การปลูกถั่วพร้า เมื่อมันสำปะหลัง อายุ 1 เดือน บริเวณร่องปลูกมันแล้วสับกลบที่มันอายุ 3 เดือน ฉีดพ่นน้ำหมักชีวภาพ และใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราครึ่งหนึ่งตามค่าวิเคราะห์ดิน (นวลจันทร์ และ ฎานุภา, 2556) ทั้งนี้อาจใช้ปุ๋ยชีวภาพ จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 (ถั่วพร้า) ของกรมพัฒนาที่ดิน ร่วมด้วย เพื่อเพิ่มมวลชีวภาพของถั่วพร้า ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ประกอบด้วยไรโซเบียม 3 สายพันธุ์ วิธีการใช้ จุลินทรีย์สำหรับ พืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 (ถั่วพร้า) 1 ซอง ใช้คลุกเมล็ดถั่วพร้า 10 กิโลกรัม โดยนำเมล็ดถั่วพร้า

ใส่ในภาชนะแล้วใส่น้ำมันพืชในอัตรา 5 มิลลิลิตร (ครึ่งช้อนโต๊ะ) เคลือบผิวเมล็ดให้ทั่วทุกเมล็ด จากนั้นนำจุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด. 1 (ถั่วพร้า) มาปรับความชื้นโดยการใส่น้ำสะอาดประมาณ 40 มิลลิลิตร (4 ช้อนโต๊ะ) ให้ได้ความชื้นประมาณ 40 - 50 เปอร์เซ็นต์ ใส่จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 (ถั่วพร้า) ที่ปรับความชื้นแล้วคลุกเคล้าเบา ๆ จนกระทั่งทุกเมล็ดมีผงเชื้อไรโซเบียมถั่วพร้าติดอย่างสม่ำเสมอแล้วจึงนำไปปลูก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562)

2.3) อ้อย ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 3 สำหรับอ้อย มันสำปะหลัง กรมวิชาการเกษตร อัตรา 1 กิโลกรัม ผสมร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านตามร่องเมื่ออ้อยอายุ 2 - 4 เดือน (พิกุลทอง และคณะ, 2561) นอกจากนี้ยังมีการการใช้ปุ๋ยชีวภาพพีเอสบี แบคทีเรียละลายฟอสเฟต อัตรา 36 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15 - 7.5 - 15 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้อ้อยมีผลผลิตสูงสุด (สิรินภา และชัยสิทธิ์, 2020)

2.4) พืชอื่นๆ เช่น หญ้าเนเปียร์ ใช้ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ของกรมพัฒนาที่ดิน ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก (วิธีการขยายเชื้อ ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3) อัตรา 150 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และแกลบอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นการบำรุงดินแบบผสมผสานสำหรับการปลูกหญ้าเนเปียร์ในพื้นที่ดินเค็ม ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 32 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพเพียงอย่างเดียว (สุวรรณภา และคณะ, 2558)

3) การใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีในการปลูกไม้ผล

3.1) มะละกอ ใช้ปุ๋ยชีวภาพปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก (วิธีการขยายเชื้อ ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3) อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้น ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราตามคำแนะนำ ให้ผลผลิตมะละกอสูง (ฎานุภา และคณะ, 2559)

3.2) สับปะรด ใช้ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก (วิธีการขยายเชื้อ ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3) อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 12 - 7 - 14 อัตรา 48 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้สับปะรดมีผลผลิตสูง (ฎานุภา และคณะ, 2554)

8.4 การใช้ปุ๋ยชีวภาพในดินเปรี้ยวจัด ดินกรด และดินอินทรีย์

8.4.1 สภาพของดินเปรี้ยวจัด ดินกรด และดินอินทรีย์ที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพได้ผลดี

1) ดินเปรี้ยวจัด

ปัญหาของดินเปรี้ยวจัด คือ ดินมีความเป็นกรดรุนแรงมากถึงเป็นกรดจัดมาก มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ต่ำกว่า 4.0 - 5.0 ทำให้ดินขาดธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสขาดอย่างรุนแรง เนื่องจากฟอสฟอรัสถูกตรึงให้อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ ซึ่งมีผลทำให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชต่ำ มีเหล็กและอะลูมิเนียม ละลายออกมามากจนเป็นพิษต่อพืชที่ปลูก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ก) การใช้ปุ๋ยชีวภาพให้ได้ผลดีสำหรับการปลูกพืชในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด จึงควรมีการจัดการดินด้วยการใส่ปูนทางการเกษตร เช่น ปูนมาร์ล โดโลไมท์ หินปูนฝุ่น และปูนขาว เป็นต้น เพื่อยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เนื่องจากความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิด จะเจริญเติบโตในช่วงความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสม ซึ่งถ้าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ จุลินทรีย์อาจไม่เจริญเติบโต หรือเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าในช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสม (จุรีย์รัตน์, 2550) โดยการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินระหว่าง 5 - 7 เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นอินทรีย์คาร์บอน ไนโตเจนทั้งหมดและอะลูมินัมมีน้อย (Pie tri and Brookes, 2008) การใส่ปูนทางการเกษตรร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพจะช่วยยกระดับ pH ของดิน ลดความเป็นพิษของอะลูมินัม และช่วยส่งเสริม

การเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Panhwar *et al*. (2015) กล่าวว่า การใส่หินปูนแมกนีเซียม (magnesium limestone) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย *Bacillus* sp. *Burkholderia thailandensis B. seminalis* และ *Stenotrophomonas maltophila* ในดินเปรี้ยวจัดสำหรับการปลูกข้าวในประเทศมาเลเซีย จะช่วยยกระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจาก 3.8 เป็น 5.27 ลดความเป็นพิษของอะลูมินัมเนื่องจากแบคทีเรียในปุ๋ยชีวภาพดังกล่าวสามารถผลิตฮอร์โมนออกซิน (Indole - 3 - Acetic Acid; IAA) และกรดอินทรีย์ (oxalic malic salicylic และ propionic) ซึ่งเป็นโมเลกุลคีเลตจับกับอะลูมินั่ม และส่งเสริมให้มีผลผลิตข้าวสูงถึง 6.82 ตันต่อเฮคตาร์ นอกจากนี้ดินเปรี้ยวจัด ควรมีการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินโดยใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอกปุ๋ยพืชสด เป็นต้น โดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต หรือการเพิ่มปริมาณฟอสเฟตให้กับดินเปรี้ยวจัดเป็นสิ่งที่จำเป็นในการปลูกพืชช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้นและให้ผลผลิตสูงขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ก)

2) ดินกรด

ดินกรดที่มีปัญหาทางการเกษตรคือ ดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 5.5 ซึ่งจะทำให้ธาตุอาหารโดยเฉพาะฟอสฟอรัสถูกตรึงในดินซึ่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ และจุลธาตุบางชนิดปลดปล่อยมามากจนทำให้เป็นพิษต่อพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) ดังนั้นการใช้ปุ๋ยชีวภาพให้ได้ผลดีสำหรับการปลูกพืชในพื้นที่ดินกรด จึงควรมีการจัดการดินด้วยการใส่ปูนทางการเกษตรเช่นเดียวกับดินเปรี้ยวจัด รวมทั้งต้องเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน และการคลุมดินจะช่วยรักษาความชื้นในดินป้องกันการชะล้างหน้าดิน เป็นต้น

3) ดินอินทรีย์

สภาพปัญหาของดินอินทรีย์ คือ อินทรียวัตถุจะเกาะตัวกันอย่างหลวมๆ ยืดหยุ่นและลอยน้ำเมื่อระบายน้ำออกไป และดินแห้ง ทำให้ดินยุบตัวมาก จะพบปัญหาดินเปรี้ยวจัดด้วย ดินและน้ำเป็นกรดจัดมาก เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารขาดธาตุอาหาร และเกิดความเป็นพิษของเหล็ก และอะลูมินั่ม ในทำนองเดียวกันการใช้ปุ๋ยชีวภาพในดินอินทรีย์ จึงควรมีการปรับปรุงดินในลักษณะเดียวกับปัญหาดินเปรี้ยว โดยการควบคุมระดับน้ำเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น การใส่ปูน การใส่ปุ๋ย เป็นต้น

8.4.2 ชนิดของปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสม

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นดินเปรี้ยวจัด ดินกรด และดินอินทรีย์ ดินมักขาดธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส เนื่องจากฟอสฟอรัสถูกตรึงให้อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ นอกจากนี้ยังขาดธาตุไนโตรเจนด้วยเช่นกัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ก) ดังนั้นชนิดของปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการปลูกพืชในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช (ดูรายละเอียดในบทที่ 4) หากเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ทนต่อสภาพความเป็นกรดของดินก็จะทำให้ได้ผลดีมากขึ้น

8.4.3 วิธีการใช้ปุ๋ยชีวภาพกับพืชประเภทต่างๆ

1) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าว

ข้าวมีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.8 - 7.0 (ตารางที่ 8.1) ดังนั้น หากดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าช่วงดังกล่าวจึงควรมีการจัดการดินด้วยการใส่ปูนทางการเกษตร ร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าว

1.1) ปุ๋ยชีวภาพ พีจีพีอาร์ 2 สำหรับข้าว ของกรมวิชาการเกษตร โดยวิธีการใช้ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3

1.2) จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด ดินเปรี้ยว กรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วย แบคทีเรีย *Burkholderia* sp. วิธีการใช้ต้องนำจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยหมักและรำละเอียดให้เข้ากัน ละลายจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 1 ซอง ในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที โดยใช้อัตรา 100 กิโลกรัมต่อต้น หว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูกคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

1.3) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 กรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการใช้ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3

1.4) ปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (อัลจินัว) ใช้หว่านรองพื้นก่อนหว่าน หรือก่อนปักดำ อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ (บริษัท ปฐมรรค จำกัด, มปป.)

2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกพืชไร่

โดยพืชไร่แต่ละชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมแตกต่างกัน เช่น อ้อย มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.0 -7.5 ถั่วเหลือง และข้าวโพด มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5.5 - 7.0 เป็นต้น (ตารางที่ 1) หากดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าช่วงดังกล่าวจึงควรมีการจัดการดินด้วยการใส่ปูนทางการเกษตร ร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกพืช

2.1) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกถั่วเหลือง

2.1.1) ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับถั่วเหลือง กรมวิชาการเกษตร โดยวิธีการใช้ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3

2.1.2) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต (ไบโอฟอสก้า) ใช้อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ รองก้นหลุมหรือโรยระหว่างแถวแล้วกลบดินทันที (อาภารัตน์, 2549; บริษัท ปฐมรรค จำกัด, มปป.)

2.2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าวโพด

2.2.1) ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 สำหรับข้าวโพด ข้าวฟ่าง ของกรมวิชาการเกษตร โดยวิธีการใช้ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3

2.2.2) จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด ดินเปรี้ยว ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยหมักและรำละเอียดให้เข้ากัน ละลายจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 1 ซอง ในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 100 กิโลกรัมต่อต้น โดยโดยหว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูก หรือใส่ระหว่างแถวตามแนวปลูกพืช แล้วคลุกเคล้ากับดิน

2.2.3) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต (ไบโอฟอสก้า) ใช้อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ รองก้นหลุมหรือโรยระหว่างแถวแล้วกลบดินทันที (อาภารัตน์, 2549; บริษัท ปฐมรรค จำกัด, มปป.)

2.2.4) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการใช้ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3

2.3) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกอ้อย

2.3.1) ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 3 สำหรับอ้อย มันสำปะหลัง ของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ 1) ฉีดพ่นท่อนพันธุ์ ใช้ปุ๋ยพีจีพีอาร์ละลายกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 100 ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์อัตรา 1 กิโลกรัม (2 ถุง) ต่อน้ำ 100 ลิตร ต่อ 1 ไร่ ฉีดพ่นเป็นฝอยละเอียดลงบนท่อนพันธุ์แล้วจึงกลบทับด้วยดินทันที 2) ผสมปุ๋ยเคมี ใช้ปุ๋ยพีจีพีอาร์ผสมปุ๋ยเคมีแบบเม็ด และคลุกเคล้าให้ปุ๋ยชีวภาพเกาะเม็ดปุ๋ยเคมี แล้วจึงหว่านรองพื้นและต้องรีบหว่านให้หมด (กรมวิชาการเกษตร, 2562)

2.3.2) จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด ดินเปรี้ยว กรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยหมักและรำละเอียดให้เข้ากัน ละลายจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 1 ซอง ในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 100 กิโลกรัมต่อต้น โดยหว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูก หรือใส่ระหว่างแถวตามแนวปลูกพืช แล้วคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

2.3.3) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยอ้อยปลูก หว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูก สำหรับอ้อยตอ ใส่ระหว่างแถวตามแนวปลูกพืช แล้วคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

3) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกพืชผัก

ซึ่งพืชผักแต่ละชนิดมีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมแตกต่างกัน เช่นเดียวกับพืชอื่นๆ เช่น ผักบุ้ง คะน้า และพริก มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5.5 - 7.0 ผักกาดเขียวปลี มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.0 - 7.0 และกะหล่ำปลี ช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.5 - 7.0 เป็นต้น (ตารางที่ 8.1) หากดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าช่วงดังกล่าวจึงควรมีการจัดการดินด้วยการใส่ปูนทางการเกษตร ร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกพืช

3.1) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ของกรมวิชาการเกษตร โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตสำหรับการปลูกพืชผัก เช่น พริก และมะเขือเทศ จะใช้ผสมกับวัสดุปลูก (กรมวิชาการเกษตร, 2561) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.1.1) นำวัสดุเพาะคลุกกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ในอัตราส่วนวัสดุเพาะ 50 กิโลกรัม ต่อปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 500 กรัม (หรือปริมาณ 1 ถุง)

3.1.2) เมื่อคลุกเข้ากันดีแล้ว นำวัสดุเพาะที่ได้ใส่ถาดเพาะ รดน้ำให้ชุ่ม

3.1.3) ใส่เมล็ดพริกลงในถาดเพาะจำนวน 1 - 2 เมล็ด ต่อหลุม

3.1.4) นำถาดเพาะเข้าเรือเพาะชำ รดน้ำเช้าเย็น

3.2) จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด ดินเปรี้ยว ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และ

รำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยหมักและรำละเอียดให้เข้ากัน ละลายจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 1 ซอง ในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 100 กิโลกรัมต่อต้น โดยโดยหว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูก หรือใส่ระหว่างแถวตามแนวปลูกพืช แล้วคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

3.3) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยหว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูก หรือใส่ระหว่างแถวตามแนวปลูกพืช แล้วคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

4) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกไม้ผล ไม้ยืนต้น เช่น ส้มโอ ส้มเขียวหวาน มะม่วง มังคุด ปาล์มน้ำมัน ยางพารา โดยช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 1

4.1) ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้ คลุกผสมปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ในคอร์ไรซา 2 - 3 กรัมหรือครึ่งช้อนชาต่อต้นก็บดินที่ใช้เพาะชำกล้าไม้ยืนต้นไม้ผล หรือโรยให้สัมผัสกับรากฝอยของพืชใส่ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 10 กรัมหรือ 1 ช้อนแกงปาดต่อต้นรองก้นหลุมก่อนปลูก สำหรับพืชที่ปลูกแล้วให้ขุดเป็นร่องบริเวณทรงพุ่มหรือเกลี่ยดินออกจนพบรากฝอยจากนั้นโรยปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์โมคอร์ไรซา 20 - 50 กรัมต่อต้นให้สัมผัสกับรากแล้วจึงกลบดินทันที (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

4.2) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้ พืชปลูกใหม่ ใส่รองก้นหลุมประมาณ 2 ช้อนแกงต่อหลุม สามารถแบ่งใช้ร่วมกับหินฟอสเฟต และปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกใส่ไม่ต้องลึก สำหรับพืชที่โตแล้วใส่รอบทรงพุ่มอัตรา 150 กรัมต่อทรงพุ่ม 0.5 เมตร โดยคลุกผสมกับหินฟอสเฟตและปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก แล้วสับกลบลงดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

4.3) จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด ดินเปรี้ยว ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยหมักและรำละเอียดให้เข้ากัน ละลายจุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 1 ซอง ในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 3 กิโลกรัมต่อต้น โดยคลุกเคล้ากับดินรองก้นหลุมก่อนปลูกพืช ส่วนพืชที่เจริญแล้วใส่รอบทรงพุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

5) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้

อัตรา 3 - 5 กิโลกรัมต่อต้น โดยคลุกเคล้ากับดินรองก้นหลุมในช่วงเตรียมหลุมปลูก สำหรับพืชที่เจริญแล้วใส่รอบทรงพุ่มหรือหว่านให้ทั่วภายใต้ทรงพุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

ตารางที่ 8.1 ช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด

ชนิดพืช	pH ที่เหมาะสม	ชนิดพืช	pH ที่เหมาะสม
ข้าว	4.8 - 7.0	มะพร้าว	6.4 - 7.0
ข้าวโพด	5.5 - 7.0	อ้อย	6.0 - 7.0
กระท้อน	5.5 - 7.0	ปาล์มน้ำมัน	4.5 - 7.0
ชมพู่	6.5 - 7.0	ยางพารา	4.0 - 7.0
ฝรั่ง	4.5 - 7.5	ผักกาดเขียวปลี	6.0 - 7.0
ละมุด	5.5 - 6.5	กระเจี๊ยบเขียว	6.0 - 7.0
ส้มเขียวหวาน	4.5 - 6.0	พริก	5.5 - 7.0
ส้มโอ	5.5 - 7.0	มะเขือเทศ	6.0 - 6.8
กล้วย	6.5 - 7.0	คะน้า	5.5 - 7.0
น้อยหน่า	5.5 - 7.0	ผักบุ้ง	5.5 - 7.0
มะม่วง	5.5 - 6.5	แตงโม	5.5 - 6.5
มังคุด	5.5 - 6.5	หน่อไม้ฝรั่ง	6.0 - 7.5
กะหล่ำปลี	6.5 - 7.0	ถั่วเหลือง	5.5 - 7.0
สับปะรด	4.5 - 5.5	เผือก	5.5 - 6.5

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543

8.5 การใช้ปุ๋ยชีวภาพในดินเค็ม

8.5.1 สภาพของดินเค็มที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพได้ผลดี

สภาพปัญหาของดินเค็มมีผลกระทบต่อการปลูกพืช คือ เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารมีความเป็นพิษของธาตุโซเดียมและคลอไรด์ พืชที่ปลูกไม่เจริญเติบโต ลำต้นแคระแกร็น ให้ผลผลิตต่ำ โดยในประเทศไทย พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง ซึ่งดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินที่มีการสะสมเกลือจากการละลายของหินเกลือหรือจากระดับน้ำใต้ดินที่มีเกลือละลายน้ำอยู่มาก ทำให้พบชั้นสะสมเกลือมากหรือพบคราบเกลือที่ผิวดินมาก สมบัติกายภาพและทางเคมีของดินเค็มไม่ดี อนุภาคดินฟุ้งกระจายง่าย ดินเนื้อหยาบ ธาตุอาหารและอินทรียวัตถุในดินถูกชะล้างออกไปได้ง่าย ดินแน่นทึบ เกิดชั้นดานรากพืชชอนไชได้ยาก ส่วนดินเค็มภาคกลาง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เคยมีน้ำทะเลท่วมถึงมาก่อน และเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำทะเลและตะกอนน้ำกร่อยอยู่ใต้ตะกอนน้ำจืด เมื่อมีการใช้

ประโยชน์ที่ดินอย่างไม่เหมาะสม เช่น การขุดหน้าดินขาย ทำให้เกลือที่อยู่ใต้ผิวดินได้เคลื่อนย้ายมาสู่ผิวดินแล้วเกิดการแพร่กระจายของพื้นทีดินเค็มอย่างกว้างขวาง (สมศรี, 2539) ดังนั้นสภาพของดินเค็มใช้ปุ๋ยชีวภาพได้ผลดี ควรเป็นพื้นที่ดินเค็มน้อยและเค็มปานกลางซึ่งเกษตรกรสามารถแก้ไขปัญหาด้วยตัวเองได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ค) โดยการปรับปรุงบำรุงดินเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชอย่างเหมาะสม เช่น การใส่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ขี้เถ้าแกลบ กากอ้อย แกลบ เป็นต้น ร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพ

8.5.2 ชนิดของปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสม

จากปัญหาของดินเค็มที่ได้กล่าวมาข้างต้น ปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสมในการนำมาใช้ ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช ปุ๋ยชีวภาพสร้างสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ปุ๋ยชีวภาพสร้าง ACC deaminase เป็นต้น หากเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ในกลุ่มทนเค็ม หรือชอบเค็ม ก็จะทำให้ได้ผลดีมากขึ้น

8.5.3 วิธีการใช้ปุ๋ยชีวภาพกับพืชชนิดต่างๆ ที่ปลูกในพื้นที่ดินเค็มน้อยและเค็มปานกลาง

การใช้ปุ๋ยชีวภาพกับพืชชนิดต่างๆ ที่ปลูกในพื้นที่ดินเค็มนั้นหากมีการจัดการดินเค็มที่เหมาะสมร่วมด้วยจะส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชได้ โดยการจัดการดินเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชมีรายละเอียดดังนี้

1) ข้าว

1.1) การเพิ่มผลผลิตข้าวที่ปลูกในพื้นที่ดินเค็ม

ข้าวเป็นพืชทนเค็มได้ปานกลางและเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินมีน้ำขัง ในพื้นที่ดินเค็มจะพบต้นข้าวตายเป็นหย่อมๆ ข้าวที่กำลังงอกค่อนข้างมีความทนทานต่อความเค็ม แต่จะอ่อนแอในระยะต้นกล้าระยะปักดำและระยะออกดอกอาการของข้าวที่ได้รับผลกระทบจากดินเค็ม คืออัตราความงอกลดลงแคระแกรนไม่แตกกอรากมีการเจริญเติบโตไม่ดีปลายใบสีขาวบางใบแห้งเป็นแถบๆ เกิดกับใบแก่ก่อนแล้วจึงลามมาที่ใบที่กำลังเจริญเติบโตต้นข้าวชะงักการเจริญเติบโตและการแตกกอลดลงเมล็ดข้าวลีบน้ำหนักเมล็ดและโปรตีนในเมล็ดลดลงผลผลิตต่ำ คำแนะนำการปลูกข้าวในพื้นที่ดินเค็ม ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ค)

1.1.1) ปรับรูปแปลงนาด้วยระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ

1.1.2) เมื่อฝนตกขังน้ำในนาให้น้ำชะล้างเกลือที่ผิวหาดินซึมลงไปในดินชั้นล่างและระบายน้ำเค็มออกจากนา

1.1.3) ปลูกโสนอัฟริกันและสับกลบเป็นปุ๋ยพืชสดปรับปรุงบำรุงดิน โสนอัฟริกันเป็นพืชตระกูลถั่วที่ทนเค็มขึ้นได้ทั้งสภาพน้ำขังและไม่มีน้ำขังมีปมทั้งที่รากและลำต้นทำให้สามารถตรึงไนโตรเจนได้จากดินและอากาศเจริญเติบโตเร็วให้มวลชีวภาพสูงให้ในโตรเจนปริมาณสูงง่ายต่อการสับกลบช่วยปรับปรุงบำรุงดินและส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นประมาณ 30 - 35 เปอร์เซ็นต์และมีส่วนช่วยลดความเค็มของดินโดยทางอ้อมคือปรับปรุงสมบัติของดินให้ร่วนซุยโปร่งขึ้นทำให้การชะล้างเกลือจากหน้าดินลงด้านล่างง่ายขึ้นความเค็มของดินลดลง

1.1.4) ใช้อินทรียวัตถุปรับปรุงบำรุงดิน เช่น ปุ๋ยคอก แกลบ ฟางข้าว

1.1.5) ใช้พันธุ์ข้าวทนเค็ม

1.1.6) ปักดำต้นกล้าข้าวอายุ 30 - 35 วัน ทำให้อัตราการรอดตาย และผลผลิตข้าวที่รอดตายสูงขึ้น ใช้ 6 - 8 ต้นต่อจับ ระยะปลูก 20 x 20 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มจำนวนต้น

1.2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าว

1.2.1) การปรับปรุงดิน การใช้ปุ๋ยพืชสดในการปรับปรุงดินก่อนปลูกข้าว ใช้จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 (โสนอัฟริกัน) กรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วย ไรโซเบียมที่มีความเฉพาะเจาะจงกับโสนอัฟริกัน และจุลินทรีย์ละลายสารประกอบฟอสเฟต วิธีการใช้ ทำการขยายเชื้อเช่นเดียวกับจุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด. 11 (ปอเทือง) ในหัวข้อ 8.2 โดยหว่านปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ พด.11 (โสนอัฟริกัน) ให้ทั่วพื้นที่ปลูก หรือโรยในแถวร่องปลูก 100 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วปลูกโสนอัฟริกัน ให้หว่านเมล็ดโสนอัฟริกันที่แช่น้ำแล้ว 1 คืน อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ไถกลบเมื่อโสนอัฟริกันระยะออกดอก แล้วปล่อยให้ย่อยสลายประมาณ 2 สัปดาห์ แล้วจึงปลูกข้าว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

1.2.2) การเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และสร้างความทนทานต่อสภาพความเค็มให้กับพืช โดยมีรายงานวิจัยการใช้แบคทีเรียทนเค็มที่มีประสิทธิภาพละลายฟอสเฟต ผลิตออกซิน และจิบเบอเรลลิน ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกอัตรา 1 ตันต่อไร่ และปุ๋ยเคมีอัตราครึ่งหนึ่งตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ดีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวคิดเป็น 24.14 - 42.58 เปอร์เซ็นต์ (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2561) นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยการใช้จุลินทรีย์สร้าง 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase ซึ่งความเครียดจากสิ่งไม่มีชีวิตและมีชีวิต เช่น ความเค็ม ความแห้งแล้ง น้ำท่วม โลหะหนัก และเชื้อโรคพืช เป็นปัญหาที่สำคัญของการทางเกษตรกรรม ก่อให้เกิดความเครียดออกซิเดชันและการสะสมเอทิลีนในพืช ส่งผลทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต อย่างไรก็ตาม การเจริญเติบโตของพืชภายใต้สภาวะเครียดสามารถปรับปรุงได้ด้วยการใช้แบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในกลุ่มของไรโซแบคทีเรียช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชหรือพีจีพีอาร์ (PGPR, plant growth promoting rhizobacteria) ซึ่งมีสมบัติในการส่งเสริมและป้องกันพืชผ่านกลไกทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยการผลิตฮอร์โมนพืช ละลายธาตุอาหาร ควบคุมการดูดซึมสารอาหาร และชักนำระบบความต้านทานในพืช นอกจากนี้พีจีพีอาร์ยังสามารถสร้างเอนไซม์ 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase เพื่อย่อยสลาย ACC ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิถีการสังเคราะห์เอทิลีน ทำให้ระดับเอทิลีนในพืชลดน้อยลง ช่วยป้องกันพืชภายใต้สภาวะเครียดได้ (ธนากร, 2557) รายงานการวิจัยของ Sujunya *et al.* (2009) พบว่าการใช้จุลินทรีย์ผลิต ACC deaminase เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินเค็ม โดยใช้ *Bacillus megaterium* (A12ag) *B. licheniformis* (B2r) และเชื้อผสมระหว่าง *B. megaterium* กับ *B. licheniformis* ทดลองการงอกของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 ในห้องปฏิบัติการที่ระดับค่าการนำไฟฟ้า 0 5 10 15 และ 20 เดซิซีเมนต่อเมตร พบว่า *B. megaterium* (A12ag) มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงสุดทุกระดับความเค็ม จากนั้นนำจุลินทรีย์ดังกล่าวมาทดลองในกระถางร่วมกับการปุ๋ยเคมี และหินฟอสเฟต พบว่าตำรับที่ใช้ *B. megaterium* (A12ag) มีค่าองค์ประกอบของผลผลิตสูงสุด

2) ข้าวโพด

การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ดินเค็มนั้น มีรายงานวิจัยการใช้จุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ในการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ดินเค็ม พบว่าการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมักแล้ว อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน โดยให้ผลผลิตข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ (นวลจันทร์ และคณะ, 2562)

3) พืชผัก

3.1) การเพิ่มผลผลิตพืชผัก

การปรับปรุงบำรุงดินเค็มเพื่อปลูกพืชผักทนเค็มในพื้นที่ดินเค็มน้อยและเค็มปานกลางที่น้ำไม่ท่วมหรือหลังเก็บเกี่ยวข้าวแล้วมีน้ำพอเพียงสามารถปรับปรุงบำรุงดินแล้วปลูกพืชเศรษฐกิจทนเค็มได้โดยดำเนินการดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ค)

3.1.1) ปรับปรุงดินบำรุงด้วยอินทรียวัตถุ คือ แกลบปุ๋ยคอกปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด

3.1.2) เลือกปลูกพืชทนเค็มที่เหมาะสมกับระดับความเค็มของดิน (ตารางที่ 2) เช่น หน่อไม้ฝรั่ง มะเขือเทศ กุ่ยช่าย แตงร้าน แคนตาลูป คะน้า

3.1.3) ให้น้ำระบบน้ำหยดจะช่วยควบคุมความชื้นดินความเค็มดินและประหยัดน้ำได้ดี

3.1.4) ควรมีการคลุมดินหลังปลูกเพื่อรักษาความชื้นและป้องกันการสะสมของเกลือที่ผิวดิน

ตารางที่ 8.2 การคัดเลือกปลูกพืชผักในดินเค็ม

ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมน/เมตร)	**2 - 4**	**4 - 8**	**8 - 16**	**มากกว่า 16**
เปอร์เซ็นต์เกลือ (โดยประมาณ)	**0.12 - 0.2**	**0.2 - 0.4**	**0.4 - 0.8**	**มากกว่า 0.8**
ชั้นคุณภาพของดิน	**เค็มน้อย**	**เค็มปานกลาง**	**เค็มมาก**	**เค็มจัด**
พืชผัก				
หมายเหตุ ช่องที่ลงพืชตรงกับค่าความเค็มข้างบนแสดงว่าพืชนั้นสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงความเค็มนั้นและให้ผลผลิตลดลงไม่เกิน	ถั่วฝักยาว ผักกาดคื่นฉ่าย พริกไทย แตงร้าน	บวบ พริกยักษ์ กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี มันฝรั่ง น้ำเต้า กระเทียม หอมใหญ่ หอมแดง ผักกาดหอม	ผักโขม ผักกาดหัว มะเขือเทศ ถั่วพุ่ม แคนตาลูป	หน่อไม้ฝรั่ง คะน้า กระเพรา ชะอม

ที่มา : ดัดแปลงจากกรมพัฒนาที่ดิน, 2556

3.2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกพืชผัก

มีรายงานการวิจัยสำหรับการใช้จุลินทรีย์สร้าง ACC deaminase สำหรับการปลูกผัก เช่น มะเขือเทศ โดยนำแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ 5 สายพันธุ์ ที่มีประสิทธิภาพในการสร้าง ACC deaminase มาทดสอบการเจริญเติบโตภายใต้อุณหภูมิ 30 35 และ 45 องศาเซลเซียส และความเค็มที่มีโซเดียมคลอไรด์ 0.2 0.4 0.8 1.2 และ 1.6 M พบว่า *Bacillus licheniformis* สามารถเจริญได้ดี เมื่อนำมาทดสอบความงอกกับเมล็ดมะเขือเทศที่มีค่าการนำไฟฟ้า 0 30 6090 และ 120 mM NaCl พบว่าเปอร์เซ็นต์ความงอก ดัชนีความงอก ความยาวราก น้ำหนักแห้งเมล็ดของตำรับที่ใส่เชื้อสูงกว่าตำรับควบคุม (Chookietwattana and Maneewan, 2012)

8.6 การใช้ปุ๋ยชีวภาพในดินทราย

8.6.1 สภาพของดินทรายที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพได้ผลดี

สภาพปัญหาของดินทราย ได้แก่ การชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งจะเริ่มเกิดขึ้นรุนแรงในพื้นที่ที่มีความลาดชันตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปที่ใช้ปลูกพืชโดยไม่มีมาตรการด้านอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสม และจะรุนแรงมากขึ้นในพื้นที่ลาดชันสูงหรือพื้นที่ภูเขา การชะล้างพังทลายทำให้เกิดการสูญเสียหน้าดิน สมบัติทางเคมีและกายภาพของดินเสื่อมโทรมลงกลายเป็นพื้นที่เสื่อมโทรมที่ไม่สามารถเพาะปลูกพืชได้ และความอุดมสมบูรณ์ของดินทรายต่ำ ปริมาณอินทรียวัตถุ ธาตุโพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงต่ำมาก ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารต่ำมาก เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีลงไปทำให้เกิดการสูญเสียไปจากดินได้ง่าย ทำให้การตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยเคมีของพืชน้อย รวมทั้งการปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานานโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดินหรือเพิ่มความอุดมสมบูรณ์แก่ดินเท่าที่ควร ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง นอกจากนี้ดินทรายยังมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ และเก็บน้ำไว้ไม่อยู่ ง่ายต่อการขาดแคลนความชื้น ทำให้พืชที่ปลูกมีการเจริญเติบโตไม่ดีและให้ผลผลิตน้อยกว่าดินปกติ จึงควรมีปรับปรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วยอินทรียวัตถุ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือปลูกพืชตระกูลถั่วแล้วไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชและความสามารถในการอุ้มน้ำแก่ดิน ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินทำให้ดินมีการเกาะยึดตัวดีขึ้น และการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสม ปลูกพืชคลุมดิน เพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน การใช้วัสดุคลุมดินเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและรักษาความชื้นไว้ในดิน ร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพจึงจะได้ผลดี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ข)

8.6.2 ชนิดของปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสม

ชนิดของปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสนในการนำมาใช้ในการปลูกพืชในดินทราย เช่น ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมเพิ่มไนโตรเจนและอินทรียวัตถุให้กับดินรวมทั้งปุ๋ยชีวภาพที่เพิ่มธาตุอาหาร ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ง) ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ปุ๋ยชีวภาพผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ปรับปรุงกายภาพดิน เพิ่มความเสถียรเม็ดดิน การอุ้มน้ำของดิน (นวลจันทร์ และคณะ, 2556) เป็นต้น

8.6.3 วิธีการใช้ปุ๋ยชีวภาพกับพืชประเภทต่างๆ

1) การใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับการจัดการดินทรายเพื่อปลูกข้าว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ข)

ดินทรายในพื้นที่ลุ่ม ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเลว มีน้ำท่วมขังในช่วงฤดูฝน สามารถปลูกข้าวได้ โดยมีการปรับปรุงและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น การใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก โดยปุ๋ยหมัก ใช้อัตรา 4 - 6 ตันต่อไร่ ใส่แบบหว่านทั่วแปลงแล้วไถกลบช่วง

เตรียมดิน สำหรับปุ๋ยคอก ใช้อัตรา 1.5 - 3 ตันต่อไร่ ใส่แบบหว่านทั่วแปลงเช่นเดียวกับปุ๋ยหมัก ในดินที่มีลักษณะเป็นทรายจัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์แล้ว จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย การใช้ปุ๋ยพืชสด พืชตระกูลถั่วที่เหมาะสมปลูกเป็นปุ๋ยพืชสดในนาดินทราย ได้แก่ ถั่วพร้า ปอเทือง ถั่วพุ่ม และโสนอัฟริกัน โดยหว่านหรือหยอดเมล็ดพันธุ์ลงในแปลงนาทั่วแปลง อัตราเมล็ดพันธุ์ที่แนะนำ คือ ถั่วพร้า 10 กิโลกรัมต่อไร่ ปอเทือง และโสนอัฟริกัน 5 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับถั่วพุ่มใช้เมล็ดพันธุ์อัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่ ไถกลบลงดินในระยะพืชกำลังออกดอก ทิ้งไว้ให้ย่อยสลายประมาณ 15 วัน แล้วปลูกข้าวตาม นอกจากนี้การไถกลบตอซังก็เป็นการเพิ่มอินทรีวัตถุให้กับดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มมากขึ้นและมีผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นเช่นกัน

โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าว ได้แก่

1.1) จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด. 11 (ปอเทือง และโสนอัฟริกัน) ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการใช้ดูรายละเอียดในข้อ 8.2

1.2) ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับปอเทือง ของกรมวิชาการเกษตร โดยวิธีการใช้ดูรายละเอียดในข้อ 8.2

1.3) ปุ๋ยชีวภาพ พีจีพีอาร์-ทู สำหรับข้าว ของกรมวิชาการเกษตร โดยวิธีการใช้ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3

1.4) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการใช้ดูรายละเอียดในข้อ 8.2 และ 8.3

1.5) ปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกรมน้ำเงิน (อัลจินัว) ใช้หว่านรองพื้นก่อนหว่าน หรือก่อนปักดำ อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ (บริษัท ปฐมรรค จำกัด, มปป.)

2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับการจัดการดินทรายเพื่อปลูกพืชผัก พืชไร่ ไม้ผลและไม้ยืนต้นบางชนิด

ดินทรายในพื้นที่ดอน ที่มีการระบายน้ำดีหรือดีปานกลาง ไม่มีน้ำแช่ขังในฤดูฝน สามารถปลูกพืชได้หลายชนิด เช่น ข้าวไร่ ปอแก้ว ถั่วลิสง มันสำปะหลัง สับปะรด ข้าวโพด แตงโม ไม้ผลและไม้ยืนต้นบางชนิด เช่น มะม่วง มะขาม น้อยหน่า พุทรา นุ่น สะเดา ไผ่ ยูคาลิปตัส กระถินณรงค์และกระถินเทพา รวมทั้งใช้ปลูกพืชผักบางชนิด เช่น แตงกวา ผักกาดเขียวปลี ผักกาดหอม และพริกขี้หนู เป็นต้น เลือกชนิดพืชปลูกที่เหมาะสมทำการปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วยอินทรียวัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก หรือปลูกพืชตระกูลถั่วแล้วไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด เพื่อเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดินร่วมกับใช้น้ำหมักชีวภาพ หรือใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสมตามคำแนะนำของชนิดพืชที่ปลูก และควรใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ หรือใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ข)

การปลูกพืชผักหรือพืชไร่ ควรปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 - 4 ตันต่อไร่ หรือปลูกพืชตระกูลถั่วแล้วไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด ร่วมกันการใช้ปุ๋ยเคมีสูตรและอัตราที่เหมาะสมสำหรับพืชผักแต่ละชนิด หรือใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน การใช้วัสดุคลุมดินเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและเก็บรักษาความชื้นไว้ในดิน สำหรับพืชไร่ เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มันสำปะหลัง การใช้ปุ๋ยพืชสด เกษตรกรอาจหว่านเมล็ดพืชตระกูลถั่วแล้วไถกลบก่อนปลูกพืชหลัก หรือปลูกแซมระหว่างแถวแล้วสับกลบ โดยปลูกหลักจากพืชหลักเจริญเติบโตแล้ว เพื่อป้องกันการแย่งน้ำและธาตุอาหาร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ข)

การปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้น ขุดหลุมปลูกให้กว้างกว่าปกติ ใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกรองก้นหลุมอัตรา 25 - 30 กิโลกรัมต่อต้น ปลูกพืชคลุมดินหรือใช้วัสดุคลุมโคนต้นเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ

และรักษาความชื้นไว้ในดิน และมีการจัดการน้ำที่เหมาะสม เช่น การฝังกระบอกดินเผาหรือตุ่มดินบริเวณโคนต้น หรือการให้น้ำแบบหยด เป็นต้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ข)

2.1) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการพืชไร่

2.1.1) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกถั่วลิสง

- ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับถั่วลิสง กรมวิชาการเกษตร ใช้คลุกเมล็ด 10 - 15 กิโลกรัม ด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสำหรับถั่วเหลือง 1 ถุง โดยนำเมล็ดถั่วเหลืองใส่ภาชนะ พรมน้ำเปล่าให้ทั่ว ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม 1 ถุง คลุกให้เมล็ดติดปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นนำเมล็ดถั่วไปปลูก (กรมวิชาการการเกษตร, 2548)

- ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต (ไบโอฟอสก้า) ใช้อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ รองก้นหลุมหรือโรยระหว่างแถวแล้วกลบดินทันที (อาภารัตน์, 2549; บริษัท ปฐมรรค จำกัด, มปป.)

2.1.2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าวโพด

- ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 สำหรับข้าวโพด ข้าวฟ่าง ของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ 1) คลุกเมล็ดก่อนปลูก ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 จำนวน 1 ถุง ผสมน้ำให้ข้น แล้วนำเมล็ดข้าวโพด 3 - 4 กิโลกรัม คลุกเคล้าจนเนื้อปุ๋ยเคลือบติดผิวเมล็ด แล้วจึงนำไปปลูกทันที 2) ใช้รองก้นหลุม ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 จำนวน 1 ถุง ละลายน้ำสะอาด 20 ลิตร ราดกองปุ๋ยที่หมักสมบูรณ์แล้ว ประมาณ 250 กิโลกรัม ปรับความชื้นในกองปุ๋ยหมักให้ได้ประมาณ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วบ่มไว้ 1 สัปดาห์ ใช้รองก้นหลุมก่อนปลูก อัตรา 250 กิโลกรัมต่อไร่

- ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ของกรมวิชาการเกษตร โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตสำหรับการปลูกข้าวโพด แนะนำให้คลุกเมล็ดแล้วนำปลูก

- ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ต้องนำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่ระหว่างแถวตามแนวปลูกพืช แล้วคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

2.1.3) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกมันสำปะหลัง

- ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 3 สำหรับอ้อย มันสำปะหลัง ของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ 1) ฉีดพ่นท่อนพันธุ์ ใช้ปุ๋ยพีจีพีอาร์ละลายกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 100 ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์อัตรา 1 กิโลกรัม (2 ถุง) ต่อน้ำ 100 ลิตร ต่อ 1 ไร่ ฉีดพ่นเป็นฝอยละเอียดลงบนท่อนพันธุ์แล้วจึงกลบทับด้วยดินทันที 2) ผสมปุ๋ยเคมี ใช้ปุ๋ยพีจีพีอาร์ผสมปุ๋ยเคมีแบบเม็ด และคลุกเคล้าให้ปุ๋ยชีวภาพเกาะเม็ดปุ๋ยเคมี แล้วจึงหว่านรองพื้นและต้องรีบหว่านให้หมด

- ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้นำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา

4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยหว่านให้ทั่วแปลงแล้วยกร่องปลูกมันสำปะหลัง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

2.2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการพืชผัก

2.2.1) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ของกรมวิชาการเกษตร โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตสำหรับการปลูกพืชผัก เช่น พริก จะใช้ผสมกับวัสดุปลูก (กรมวิชาการเกษตร, 2561) โดยนำวัสดุเพาะคลุกกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ในอัตราส่วนวัสดุเพาะ 50 กิโลกรัมต่อปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 500 กรัม (หรือปริมาณ 1 ถุง) เมื่อคลุกเข้ากันดีแล้ว นำวัสดุเพาะที่ได้ใส่ถาดเพาะ รดน้ำให้ชุ่ม ใส่เมล็ดพริกลงในถาดเพาะจำนวน 1 - 2 เมล็ด ต่อหลุม นำถาดเพาะเข้าเรือเพาะชำ รดน้ำเช้าเย็น

2.2.2) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยหว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูก หรือใส่ระหว่างแถวตามแนวปลูกพืช แล้วคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

2.2.3) ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้สำหรับหน่อไม้ฝรั่ง พริก และกระเจี๊ยบเขียว การใช้ในระยะเพาะกล้า ใช้อัตรา 3 กรัมต่อต้น ใส่คลุกเคล้าผสมกับดินที่ใช้เพาะชำกล้า การใช้ในช่วงปลูกพืช ใช้อัตรา 10 กรัมต่อต้น โดยใส่รองก้นหลุม

2.3) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้น

2.3.1) ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ของกรมวิชาการเกษตร คลุกผสมปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 2 - 3 กรัมหรือครึ่งช้อนชาต่อต้นกับดินที่ใช้เพาะชำกล้าไม้ผลหรือโรยให้สัมผัสกับรากฝอยของพืชใส่ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 10 กรัมหรือ 1 ช้อนแกงปาดต่อต้น รองก้นหลุมก่อนปลูก สำหรับพืชที่ปลูกแล้วให้ขุดเป็นร่องบริเวณทรงพุ่มหรือเกลี่ยดินออกจนพบรากฝอย จากนั้นโรยปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 20 - 50 กรัมต่อต้นให้สัมผัสกับรากแล้วจึงกลบดินทันที

2.3.2) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้ พืชปลูกใหม่ ใส่รองก้นหลุมประมาณ 2 ช้อนแกงต่อหลุม สามารถแบ่งใช้ร่วมกับหินฟอสเฟต และปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก ใส่ไม่ต้องลึก สำหรับพืชที่โตแล้วใส่รอบทรงพุ่มอัตรา 150 กรัมต่อทรงพุ่ม 0.5 เมตร โดยคลุกผสมกับหินฟอสเฟต และปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก แล้วสับกลบลงดิน

2.3.3) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 3-5 กิโลกรัมต่อต้น โดยคลุกเคล้ากับดินรองก้นหลุมในช่วงเตรียมหลุมปลูก สำหรับพืชที่เจริญแล้วใส่รอบทรงพุ่มหรือหว่านให้ทั่วภายใต้ทรงพุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

8.7 การใช้ปุ๋ยชีวภาพในดินตื้น

8.7.1 สภาพของดินตื้นที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพได้ผลดี

สภาพปัญหาดินตื้น คือ มีชั้นลูกรัง ก้อนกรวด หรือเศษหินปะปน ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการชอนไชของรากพืช และการไถพรวน และการเกษตรกรรมอื่นๆ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำและธาตุอาหารต่ำ เนื้อดินเหนียวมีน้อยทำให้การเกาะยึดตัวของเม็ดดินไม่ดี เกิดการชะล้างพังทลายได้ง่าย ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ร่วมกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ข)

8.7.2 ชนิดของปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสม

ชนิดของปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสนในการนำมาใช้ในการปลูกพืชในดินตื้นเป็นลักษณะเดียวกันกับดินทราย เนื่องจากปัญหาจะคล้ายกันแต่จะเป็นการจัดการเฉพาะหลุมในการปลูกไม้ยืนต้น เช่น ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช ปุ๋ยชีวภาพผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ เป็นต้น

8.7.3 วิธีการใช้ปุ๋ยชีวภาพกับพืชประเภทต่างๆ

1) การใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับการจัดการดินตื้นในพื้นที่ลุ่มเพื่อปลูกข้าว

ในพื้นที่ราบต่ำหรือที่ลุ่มที่มีหน้าดินหน้าประมาณ 15 เซนติเมตร สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการปลูกข้าวได้ โดยมีการปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก อัตรา 1.5 - 2.0 ตันต่อไร่ หรือปลูกพืชตระกูลถั่วแล้วไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและน้ำให้แก่ดิน และใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย โดยเลือกปุ๋ยเคมีสูตรและอัตราที่เหมาะสมกับชนิดของข้าวที่ปลูก หรือใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าว ได้แก่

1.1) จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด. 11 (ปอเทือง) ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ทำโดยผสมจุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 และรำข้าวในน้ำ 5 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายจุลินทรีย์ ลงในกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 4 วัน โดยหว่านปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ พด.11 (ปอเทือง) ให้ทั่วพื้นที่ปลูก หรือโรยในแถวร่องปลูก 100 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วปลูกปอเทืองอัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ไถกลบเมื่อปอเทืองระยะออกดอก แล้วปล่อยให้ย่อยสลายประมาณ 2 สปดาห์ แล้วจึงปลูกข้าว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

1.2) ปุ๋ยชีวภาพ พีจีพีอาร์ 2 สำหรับข้าว กรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้ แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ (1) คลุกเมล็ดก่อนปลูก ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 2 จำนวน 1 ถุง ใส่น้ำสะอาดผสมให้ข้นเหนียว ใส่เมล็ดข้าวปริมาณ 10 - 15 กิโลกรัม คลุกเคล้าจนเนื้อปุ๋ยเคลือบติดผิวเมล็ดข้าว แล้วจึงนำไปหว่าน (2) ใช้กับปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยเคมีรองพื้น ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 2 จำนวน 1 ถุง ผสมกับปุ๋ยที่หมัก 250 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ไร่ หรือใช้คลุกกับปุ๋ยเคมีรองพื้นพร้อมปลูก

1.3) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้นำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด.12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

1.4) ปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (อัลจินัว) ใช้หว่านรองพื้นก่อนหว่าน หรือก่อนปักดำ อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ (บริษัท ปฐมรรค จำกัด, มปป.)

2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับการจัดการดินตื้นในพื้นที่ดอนเพื่อปลูกพืชผัก พืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น

พื้นที่ดอนที่มีหน้าดินมากกว่า 15 เซนติเมตร ขึ้นไป สามารถปลูกพืชผักได้หลายชนิด โดยเลือกพืชที่มีระบบรากตื้น อายุเก็บเกี่ยวสั้น มาปลูกโดยปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมักอัตรา ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามชนิดของพืชผักที่ปลูกในอัตราครึ่งหนึ่งที่แนะนำ และฉีดพ่นด้วยน้ำหมักชีวภาพร่วมด้วยนอกจากพืชผักแล้ว สามารถนำมาพัฒนาเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ที่มีคุณภาพโดยการปลูกหญ้าผสมถั่ว

สำหรับพื้นที่ดอนที่มีหน้าดินหนามากกว่า 25 เซนติเมตร สามารถปลูกพืชไร่ได้หลายชนิด โดยเน้นการรักษาความชุ่มชื้นในดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมักหรือพืชตระกูลถั่วแล้วไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด ร่วมกับการใช้น้ำปุ๋ยหมักชีวภาพ เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและน้ำ และใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยตามความเหมาะสมกับชนิดของพืชที่ปลูก ส่วนการปลูกไม้ผล ไม้ยืนต้น ควรมีการจัดการเฉพาะหลุม ขุดหลุมปลูกให้กว้างและลึก นำหน้าดินหรือดินจากที่อื่นผสมกับปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักรองก้นหลุม หลังปลูกใช่วัสดุ เช่น ฟางข้าว เศษหญ้าแห้ง หรือใบหญ้าแฝก คลุมบริเวณโคนต้นเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและเก็บรักษาความชื้นไว้ในดิน รวมทั้งการจัดการน้ำที่เหมาะสม เช่น การฝังกระบอกดินเผาหรือตุ่มดินบริเวณโคนต้น หรือการให้น้ำแบบหยด โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกพืชผัก พืชไร่ ไม้ผลและไม้ยืนต้น ได้แก่

2.1) ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ของกรมวิชาการเกษตร โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตสำหรับการปลูกพืชผัก เช่น พริก จะใช้ผสมกับวัสดุปลูก (กรมวิชาการเกษตร, 2561) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.1.1) นำวัสดุเพาะคลุกกับปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ในอัตราส่วนวัสดุเพาะ 50 กิโลกรัม ต่อ ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต 500 กรัม (หรือปริมาณ 1 ถุง)

2.1.2) เมื่อคลุกเข้ากันดีแล้ว นำวัสดุเพาะที่ได้ใส่ถาดเพาะ รดน้ำให้ชุ่ม

2.1.3) ใส่เมล็ดพริกลงในถาดเพาะจำนวน 1-2 เมล็ด ต่อหลุม

2.1.4) นำถาดเพาะเข้าเรือเพาะชำ รดน้ำเช้าเย็น

2.2) ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ นำปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 1 ซอง และรำละเอียดในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที ใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยหว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูก หรือใส่ระหว่างแถวตามแนวปลูกพืชแล้วคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554)

2.3) ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้สำหรับหน่อไม้ฝรั่ง พริก และกระเจี๊ยบเขียว การใช้ในระยะเพาะกล้า ใช้อัตรา 3 กรัมต่อต้น ใส่คลุกเคล้าผสมกับดินที่ใช้เพาะชำกล้า การใช้ในช่วงปลูกพืช ใช้อัตรา 10 กรัมต่อต้น โดยใส่รองก้นหลุม

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. **สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2554. **การใช้ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพ กรมพัฒนาที่ดิน เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2556ก. **การจัดการดินเปรี้ยวจัด ดินกรด และดินอินทรีย์.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2556ข. **การจัดการดินทราย ดินตื้น ดินลูกรัง ดินดาน และดินปนเปื้อน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2556ค. **การจัดการดินเค็ม และด่าง.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2556ง. **เทคโนโลยีชีวภาพทางดิน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2562. **การใช้ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพ กรมพัฒนาที่ดิน เพื่อส่งเสริมการใช้สารอินทรีย์ลดใช้สารเคมี**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ปุ๋ยชีวภาพและผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ.** กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2561. **การใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต เพาะเมล็ดพริก.** แหล่ที่มา: https://youtu.be/G-uwLVWlKRM, 26 มิถุนายน 2563.

___. 2562. **การผลิตและการใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์.** แหล่งที่มา: http://www.oard4.org/region4/images/Document/25-09-62/การผลิตและการใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์. pdf, 20 มิถุนายน 2563

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2543. **คู่มือพืชสวนเศรศฐกิจ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. 2561. การคัดเลือกและประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ทนเค็มเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ดินเค็ม, น. 233 - 234. ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2561**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กัญญาพร สังข์แก้ว, วรรณา สุวรรณวิจิตร และ ภัคจิรา หนูมโน. 2559. **การใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับเทคโนโลยีชีวภาพ ในการทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี สำหรับมันสำปะหลัง.** กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ. 2551. **แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2551 - 2554 และแผนปฏิบัติการพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ พ.ศ. 2551 - 2554**. สหมิตรพริ้นติ้ง แอนด์ พับลิสชิ่ง, กรุงเทพฯ.

คำนึง แสงขำ, หฤษฎี ภัทรดิลก และ อัจฉรา จิตตลดากร. 2555. ผลการใช้ปุ๋ยอนินทรีย์คุณภาพสูง ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตทางเศรษฐกิจของข้าวโพดหวาน พันธุ์อินทรีย์ 2. ใน **การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 2**, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

จุรีย์รัตน์ ลีสมิทธิ์. 2550. **ระบบพันธุกรรมของจุลินทรีย์.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชนวน รัตนวราหะ. 2550. **เกษตรอินทรีย์**. สำนักวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ชุติมา จันทร์เจริญ และ ทรายแก้ว อนากาศ. 2554. **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องการใช้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ในการปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในชุดดินอุตรดิตถ์**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ฏานุภา อยู่อุ่นพะเนา, โสพส แซ่ลิ้ม และ สิรินภา ชินอ่อน. 2559. **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องการจัดการปุ๋ยหมักและปุ๋ยชีวภาพร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ เพื่อเพิ่มผลผลิตมะละกอฮอลแลนด์ในดินทราย**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___, อนุชิต พรแดง และ สิรินภา ชินอ่อน. 2554. **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องระบบการจัดการดินที่เหมาะสมร่วมกับการใช้พืชปุ๋ยสดและปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตสับปะรดในกลุ่มชุดดินที่ ชุดดินปราณบุรี จ. ประจวบคีรีขันธ์**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ธนากร แสงสง่า. 2557. พีจีพีอาร์: บทบาทในการส่งเสริมและป้องกันพืชภายใต้สภาวะเครียด. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 22: 553 - 570.

บริษัท ปฐมรรค จำกัด. มปป. **อัลจินัว (ALGINURE).** แหล่งที่มา https://www.patamak.co.th/fertilizer-product/alginure, 26 มิถุนายน 2563

นวลจันทร์ ชะบา และ ฏานุภา อยู่อุ่นพะเนา. 2556. ศึกษาอัตราและระยะเวลาการใช้ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และผลผลิตมันสำปะหลัง, น. 233 - 246. ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการกึ่งศตวรรษ กรมพัฒนาที่ดิน ปี 2556**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___, จันจิรา แสงสีเหลือง, พนิดา ปรีเปรมโมทย์ และ วุฒิชัย จันทรสมบัติ. 2562. วิจัยคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เพื่อใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินเค็ม ดินกรด, น. 13 - 27. ใน **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ กรมพัฒนาที่ดิน ปี 2562**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. **ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนที่ 7 ก. วันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2551.**

พิกุลทอง สุอนงค์, วนิดา แหชัยภูมิ และ สวัสดิ์ สมสะอาด. 2561. การเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิตอ้อยโดยใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในพื้นที่นาไม่เหมาะสมในจังหวัดบุรีรัมย์. **แก่นเกษตร** 46: 70 - 76.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร, 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์. มปป. **ลดต้นทุน เพิ่มผลผลิตข้าวโพด ด้วยปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-วัน**. แหล่งที่มา http://www.doa.go.th/fc/nakhonsawan/?p=790, 20 มิถุนายน 2563

สมศรี อรุณินท์. 2539. **ดินเค็มในประเทศไทย.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2558. **ปุ๋ยชีวภาพจากจุลินทรีย์เชิงอุตสาหกรรม อัลจินัว.** แหล่งที่มาhttps://www.tistr.or.th/tistrblog/?p=2494, 26 มิถุนายน 2563.

สิรินภา ช่วงโอภาส และ ชัยสิทธิ์ ทองจู. 2563. ผลของการใช้บาซิลัสละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยในชุดดินปากช่อง. **วารสารเกษตร** 36(2): 1 - 10.

สุพจน์ บุญแรง. 2562. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกษตรอินทรีย์ เล่มที่ 1 ดิน จุลินทรีย์ และชีวภัณฑ์**. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สุวรรณภา บุญจงรักษ์, วรรณา สุวรรณวิจิตร และ กัญญพร สังข์แก้ว. 2558. **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องผลของการใช้วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ในการปรับปรุงดินเค็มเพื่อปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5. 2562. **ปุ๋ ยชีวภาพ พีจีพีอาร์ทู (PGPR-2) สำหรับข้าว.** แหล่งที่มา http://www.doa.go.th/oard5/?p=631, 20 มิถุนายน 2563.

สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์. มปป. **เกษตรอินทรีย์คือ.** แหล่งที่มา: http: //www. actorganic-cert. or. th, 28 มิถุนายน 2563.

อาภารัตน์ มหาขันธ์. 2549. **ปุ๋ยชีวภาพจากจุลินทรีย์ละลายฟอสเพตกับอนาคตการเกษตรของประเทศไทย.** บริษัท เซเว่น พริ้นติ้ง กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพฯ.

Chookietwattana, K. and K. Maneewan, 2012. Selection of efficient salt-tolerant bacteria containing ACC deaminase for promoting of tomato growth under salinity stress. **Soil Environ.** 31: 30 - 36.

Jackson, L.E., T.M. Bowles, A.K. Hodson and C. Lazcano. 2012. Soil microbial-root and microbial-rhizosphere processes to increase nitrogen availability and retention in agroecosystems. Curr. Opin. **Environ. Sustain**. 4: 517 - 522.

Mahdi, S.S., G.I. Hassan, S.A. Samoon, H.A. Rather, A. Dar Showkat and B. Zehra. 2010. Bio-fertilizers in organic agriculture. **Phyt**. 2: 42 - 54.

Panhwar, Q.A., U. A. Naher, O. Radziah, J. Shamshuddin and I. M. Razi. 2015. Eliminating aluminum toxicity in an acid sulfate soil for rice cultivation using plant growth promoting bacteria. **Molecules.** 20: 3628 - 3646.

Pietri, J.C. and P.C. Brookes. 2008. Relationships between soil pH and microbial properties in a Uk Arable soil. **Soil Biol Biochem** 40: 1856 - 1861.

Sujunya, S., , K. Chookietwattana, K. Maneewam, and P. Khaengkhan, 2009. Effect of salt tolerant Bacillus inoculum on rice KDML 105 cultivated in saline soil. **As. J. Food Ag-Ind.**: 69-74.

บทที่ 9

ยุทธศาสตร์ในการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย

9.1 กรอบแนวคิด

การทำเกษตรกรรมของประเทศไทยตลอดระยะเวลา 50 ปีที่ผ่านมา ขาดการปรับปรุงบำรุงดินที่ถูกต้อง จึงต้องมีการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมากเพื่อเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอกับความต้องการของประชากร ซึ่งจากสถิติการนำเข้าปุ๋ยเคมีปี 2552 มีปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมี 3,798.26 พันตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2562 มีปริมาณการนำเข้า 5,629.70 พันตัน (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2562) เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีมากเกินไปก็จะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต รวมทั้งส่งผลทำให้พืชอ่อนแอ การทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืชก็จะเกิดได้ง่าย แต่ในขณะเดียวกันภาคเกษตรกรรมมีบทบาทต่อการเติบโตของเศรษฐกิจไทย เนื่องจากเป็นแหล่งทรัพยากรการผลิตและการจ้างงานที่สำคัญของประเทศ โดย GDP ของภาคเกษตรกรรมไทยเติบโตอย่างมั่นคงนับตั้งแต่ปี 2500 (พัชรา, 2554) รวมทั้งกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้กำหนดประเด็นสำคัญของภาคการเกษตรไทยที่ควรได้รับการพัฒนาและมีแนวทางรองรับอย่างต่อเนื่องในระยะยาว จากการพิจารณาสถานการณ์และแนวโน้มของประชากรโลก เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการเกษตรที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจ เช่น การนำเครื่องจักรกลมาใช้ในการเกษตรทดแทนแรงงาน การนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ เป็นต้น ประกอบกับปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกสนใจกระบวนการบริหารจัดการเกษตรแบบยั่งยืนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นระบบการเกษตรกรรมที่สอดคล้องกับกรอบหลักการพัฒนาในช่วงปี พ.ศ. 2559 - 2573 ของที่ประชุมสหประชาชาติ โดยกำหนดเป็นเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development goals, SDGs) ของประเทศสมาชิกเพื่อแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนและระบบนิเวศของโลกที่เสื่อมโทรมลงดังที่มนุษยชาติกำลังเผชิญอยู่ การทำเกษตรยั่งยืนให้ความสำคัญกับความสมบูรณ์ของดินที่ประกอบด้วยอินทรียสาร อนินทรียสาร แร่ธาตุ และน้ำ นอกจากนี้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มีการพิจารณาสถานการณ์ภาคการเกษตรของไทยที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน สรุปประเด็นที่น่าสนใจที่จะนาไปสู่การวางแผนพัฒนาในระยะยาว ประเด็นที่สำคัญอย่างหนึ่ง ก็คือ ความจำเป็นในการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการพัฒนาสินค้าเกษตรอินทรีย์ ทั้งนี้ การผลิตภาคเกษตรยังจำเป็นต้องพึ่งทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ต้องมีการฟื้นฟูและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และส่งเสริมให้เกษตรกรทาการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559) นอกจากนี้องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้ตระหนักถึงความสำคัญของอาหารปลอดภัยจึงได้ร่วมมือกับสำนักส่งเสริมและสนับสนุนอาหารปลอดภัย กระทรวงสาธารณสุข จัดประชุมเชิงปฏิบัติการระดับภูมิภาคเรื่อง Regional Consultation Workshop on Guidelines for Development of Food Safety Policy for Countries in Asia เมื่อวันที่ 17 - 19 ธันวาคม พ.ศ. 2555 เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ในการพัฒนานโยบายความปลอดภัยด้านอาหารของแต่ละประเทศในภูมิภาคเอเชีย ดังนั้นรัฐบาลไทยควรตระหนักถึงความสำคัญของอาหารปลอดภัย (food safety) รวมถึงการขับเคลื่อนนโยบายด้านอาหารปลอดภัย (food safety policy) เพื่อผลักดันหน่วยงานที่รับผิดชอบงาน คุ้มครองผู้บริโภค และอาหารปลอดภัยให้เกิดการทำงานอย่างบูรณาการ เพื่อพัฒนาระบบการควบคุมอาหารและจัดการความปลอดภัยด้านอาหารของประเทศ โดยมีความเชื่อมโยงอย่างเป็นระบบตลอดทั้งห่วงโซ่อาหาร รวมทั้งการนำเข้าส่งออก และประสานความร่วมมือระหว่างประเทศในประชาคมอาเซียน (จงกลนี และคณะ, 2556)

ดังนั้นภาคการเกษตรของประเทศไทยจึงจำเป็นอย่างยิ่งในการให้ความสำคัญกับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรวมทั้งเทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรดิน และนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตพืช ความมั่นคงของอาหาร และการผลิตอาหารปลอดภัย ซึ่งเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่งที่จะเข้ามามีบทบาทในระบบการเกษตรของประเทศไทย จึงควรมีปุ๋ยชีวภาพที่ดีมีประสิทธิภาพสูงในการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย ประกอบด้วย ความหมาย ชนิดปุ๋ยชีวภาพ สถานการณ์การใช้ปุ๋ย กิจกรรมกลไก ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย และการใช้ประโยชน์ในดินชนิดต่างๆ (รายละเอียดในบทที่ 1 - 8) จะเห็นได้ว่าปุ๋ยชีวภาพมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ในระบบเกษตรกรรมของประเทศไทย จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดยุทธศาสตร์ ในการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสมกับระบบการผลิตพืชของประเทศไทยในระยะ 5 ปี ซึ่งจะต้องเกิดจากความร่วมมือของทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ (2560 - 2564) ยุทธศาสตร์เกษตรและสหกรณ์ระยะ 20 ปี (2560 - 2579) ซึ่งประกอบด้วยประเด็นยุทธศาสตร์ 3 ด้าน ได้แก่ ยุทธศาสตร์ด้านการวิจัย ด้านการผลิต และการส่งเสริม

9.2 ยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย

การวิเคราะห์ความเชื่อมโยงของยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย ซึ่งได้นำเป้าหมายการพัฒนาระดับประเทศ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และกรมพัฒนาที่ดินมาใช้ในการวิเคราะห์กับกรอบ แนวคิดในพัฒนาปุ๋ยชีวภาพ 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการวิจัยปุ๋ยชีวภาพ ด้านการผลิตปุ๋ยชีวภาพ และด้านการส่งเสริม ทำให้ได้แนวคิดในการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพเพื่อตอบสนองเป้าหมายระดับประเทศ ดังนี้

9.2.1 ยุทธศาสตร์ชาติ ระยะ 20 ปี

1) ยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน โดยมีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย คือ การพัฒนาต่อยอดโครงสร้างธุรกิจการเกษตรด้วยการสร้างมูลค่าเพิ่ม เน้นเกษตรคุณภาพสูงและการขับเคลื่อนการเกษตรด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม ให้ความสำคัญกับการเพิ่มผลิตภาพการผลิตทั้งเชิงปริมาณและมูลค่า ทั้งเกษตรปลอดภัย และเกษตรชีวภาพ เพื่อให้เกษตรกรมีรายได้สูงขึ้น

2) ยุทธศาสตร์การเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยมีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย คือ อนุรักษ์และใช้ประโยชน์ความหลากหลายทางชีวภาพอย่างยั่งยืน สนับสนุนการผลิตภาคเกษตรไปสู่เกษตรกรรมที่ยั่งยืน อาทิ เกษตรธรรมชาติ เกษตรผสมผสาน เกษตรอินทรีย์ วนเกษตร และเกษตรทฤษฎีใหม่

3) ยุทธศาสตร์การพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัยและนวัตกรรม โดยมีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย คือ พัฒนาข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม และฐานข้อมูลวิจัยที่ทันสมัย สะดวกต่อการเข้าถึง และใช้งานได้ง่าย

9.2.2 ยุทธศาสตร์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

1) ยุทธศาสตร์เพิ่มความสามารถในการแข่งขันภาคการเกษตรด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม โดยมีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย ได้แก่

- ส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัย เทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านการเกษตร
- ส่งเสริมการนำงานวิจัย เทคโนโลยี และนวัตกรรมไปใช้ประโยชน์

2) ยุทธศาสตร์การบริหารทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อมอย่างสมดุลและยั่งยืน โดยมีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย ได้แก่

- อนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรการเกษตร
- ส่งเสริมการเกษตรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

9.2.3 ยุทธศาสตร์กรมพัฒนาที่ดิน

1) ยุทธศาสตร์เพิ่มความสามารถในการแข่งขันภาคการเกษตรด้วยงานวิจัยและเทคโนโลยีด้านการพัฒนาที่ดินเชิงนวัตกรรม โดยมีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย ได้แก่

- ส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัย เทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านการพัฒนาที่ดินที่เกษตรกรนำไปปฏิบัติได้ง่าย ลงทุนต่ำ เพื่อเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุนทางการผลิตทางการเกษตร
- พัฒนางานวิจัยและส่งเสริมเทคโนโลยีด้านการพัฒนาที่ดินเชิงนวัตกรรมและสามารถนำไปถ่ายทอดให้แก่เกษตรกรได้

2) ยุทธศาสตร์บริหารจัดการทรัพยากรดินอย่างสมดุลและยั่งยืนด้วยการฟื้นฟู ปรับปรุงดินและอนุรักษ์ดินและน้ำ โดยมีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย คือ

- ส่งเสริมและสนับสนุนเทคโนโลยีด้านการฟื้นฟูปรับปรุงบำรุงดินให้เหมาะสมกับสภาพปัญหาของพื้นที่

จากการศึกษาสถานการณ์ด้านปุ๋ยชีวภาพของโลกและประเทศไทย รวมทั้งความสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ยุทธศาสตร์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ยุทธศาสตร์กรมพัฒนาที่ดิน จึงนำมากำหนดวิสัยทัศน์ พันธกิจ และวัตถุประสงค์ของยุทธศาสตร์ในการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย ดังนี้

วิสัยทัศน์

“ ประเทศไทยเป็นผู้นำในระดับภูมิภาค ด้านการวิจัย การผลิต และการใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพในระบบการผลิตพืชปลอดภัย เกษตรอินทรีย์ เพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านอาหาร ”

พันธกิจ

1) สนับสนุนการวิจัยและการพัฒนาเพื่อสร้างองค์ความรู้เรื่องปุ๋ยชีวภาพให้เป็นระบบ
2) สนับสนุนการวิจัยและการพัฒนาการตรวจสอบปุ๋ยชีวภาพที่มีคุณภาพและทันสมัย
3) ส่งเสริม พัฒนาการผลิตปุ๋ยชีวภาพที่ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับสากล
4) ส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการผลิตและการใช้ปุ๋ยชีวภาพผ่านช่องทางต่างๆ อย่างเป็นระบบ

วัตถุประสงค์

1) เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ และจัดทำฐานข้อมูลปุ๋ยชีวภาพให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล
2) เพื่อพัฒนาวิธีการในการตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยชีวภาพ
3) เพื่อส่งเสริม สนับสนุน การผลิตปุ๋ยชีวภาพชนิดต่างๆที่มีประสิทธิภาพ และได้มาตรฐาน
4) เพื่อส่งเสริมการใช้ปุ๋ยชีวภาพในระบบการผลิตพืชปลอดภัย และเกษตรอินทรีย์
5) เพื่อสร้างระบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตและการใช้ปุ๋ยชีวภาพให้สามารถตอบสนองความต้องการของเกษตรกร

9.3 เป้าหมาย 5 ปี

1) ประเทศไทยมีองค์ความรู้ เทคโนโลยี และขีดความสามารถด้านการวิจัยเป็นประเทศแนวหน้าในภูมิภาคเอเชีย

2) พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยชีวภาพที่มีมาตรฐาน

3) พัฒนาฐานข้อมูลและเสริมสร้างการถ่ายทอด และส่งเสริมปุ๋ยชีวภาพสู่เกษตรกรอย่างเป็นระบบ

4) พื้นที่เกษตรกรรมเป้าหมายของการใช้ปุ๋ยชีวภาพไม่น้อยกว่า 600,000 ไร่ (ภายในระยะเวลา 5 ปี)

5) พื้นที่เกษตรกรรมเป้าหมายของการใช้ปุ๋ยชีวภาพสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีและหรือสารเคมีทางการเกษตรไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

9.4 ประเด็นยุทธศาสตร์

9.4.1 ยุทธศาสตร์ที่ 1 ด้านการวิจัยปุ๋ยชีวภาพ

1) หลักการ

1.1) วิจัยและพัฒนาสร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมการผลิตปุ๋ยชีวภาพที่มีประสิทธิภาพให้กับเกษตรกรในการเพิ่มผลผลิต ลดการใช้ปุ๋ยเคมี สารเคมีทางการเกษตร และลดต้นทุนการผลิตพืช รวมทั้งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อความมั่นคงทางอาหาร และอาหารปลอดภัย

1.2) การส่งเสริมเพื่อสร้างความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพในการผลิตพืชให้กับเกษตรกร

1.3) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพมูลค่าเพิ่ม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพืชเศรษฐกิจ 13 ชนิด

1.4) การวิจัยพัฒนาศักยภาพของความหลากหลายทางชีวภาพที่มีอยู่ โดยอาศัยองค์ความรู้จากภูมิปัญญาท้องถิ่นผสมผสานกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ รวมทั้งสนับสนุนให้มีการนำผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้ความหลากหลายทางชีวภาพและภูมิปัญญาท้องถิ่นมาใช้ประโยชน์

2) เป้าหมาย

2.1) สนับสนุนให้ดำเนินงานวิจัยปุ๋ยชีวภาพชนิดใหม่ๆ โดยเพิ่มงบประมาณด้านการวิจัยของประเทศ

2.2) จัดทำฐานข้อมูลวิชาการด้านปุ๋ยชีวภาพของประเทศไทย

2.3) สนับสนุนความร่วมมือการวิจัยของภาครัฐ และเอกชน เพื่อนำไปสู่การลงทุนการผลิตปุ๋ยชีวภาพเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น

9.4.2 ยุทธศาสตร์ที่ 2 ด้านการผลิตปุ๋ยชีวภาพ

1) หลักการ

1.1) พัฒนาระบบการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่เป็นต้นแบบ เป็นที่ยอมรับและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ครอบคลุมกลุ่มเป้าหมาย

1.2) พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการผลิตปุ๋ยชีวภาพรูปแบบต่างๆ ที่ได้มาตรฐาน

1.3) สนับสนุนและส่งเสริมการผลิตปุ๋ยชีวภาพของภาคเอกชน เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตและการเข้าถึงผลิตภัณฑ์ของเกษตรกร

1.4) สนับสนุนความร่วมมือในการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยชีวภาพจากภาครัฐสู่ภาคเอกชน เพื่อไปสู่เศรษฐกิจฐานนวัตกรรมที่ใช้กระบวนการผลิต/เทคโนโลยีการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไปสู่การพัฒนาและการผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงอย่างยั่งยืน

2) เป้าหมาย

2.1) เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพอย่างมีระบบและได้มาตรฐาน

2.2) ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพชนิดใหม่ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของเกษตรกร สอดคล้องกับปัญหาดิน และพืชของประเทศ

2.3) พัฒนาห้องปฏิบัติการ และการตรวจสอบปุ๋ยชีวภาพที่ทันสมัยและได้มาตรฐาน

2.4) สนับสนุน ผลักดันให้มีโรงงานผลิตปุ๋ยชีวภาพอย่างกว้างขวาง

9.4.3 ยุทธศาสตร์ที่ 3 ด้านการส่งเสริม

1) หลักการ

1.1) ส่งเสริม สนับสนุนให้มีกิจกรรมการเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจและการสร้างความตระหนักถึงคุณค่าและความสำคัญของการใช้ประโยชน์จากปุ๋ยชีวภาพควบคู่ไปกับการอนุรักษ์ และฟื้นฟูดินในพื้นที่การเกษตร และสิ่งแวดล้อมให้แก่เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง เยาวชน ชุมชนท้องถิ่น ภาคธุรกิจ และสาธารณชน

1.2) สนับสนุนให้มีศูนย์รวบรวมองค์ความรู้ให้เป็นแหล่งเรียนรู้และจัดแสดง สาธิต ทดสอบการใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพ

1.4) ส่งเสริม ถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านปุ๋ยชีวภาพให้เป็นระบบโดยผ่านศูนย์เรียนรู้ของหน่วยงานในกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พร้อมทั้งประชาสัมพันธ์ในช่องทางต่างๆ เช่น ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ สิ่งพิมพ์ และแหล่งเรียนรู้ เป็นต้น

1.5) สนับสนุนการยกระดับภาคการเกษตรไทยให้เป็นการเกษตรสมัยใหม่โดยการใช้เทคโนโลยีชีวภาพ นำไปสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิต และสิ่งแวดล้อม

2) เป้าหมาย

2.1) พัฒนาศักยภาพเจ้าหน้าที่ภาครัฐหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้มีความรู้และความสามารถที่จะถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับปุ๋ยชีวภาพให้กับเกษตรกร

2.2) สร้างเกษตรกรต้นแบบ และชุมชนต้นแบบการใช้ปุ๋ยชีวภาพ เพื่อเป็นตัวอย่าง และการถ่ายทอดสู่ชุมชน

2.3) สนับสนุนปุ๋ยชีวภาพเพื่อเป็นปัจจัยการผลิตหลักของเกษตรกรในการผลิตพืชปลอดภัยและเกษตรอินทรีย์

2.4) ส่งเสริมการรวมกลุ่มเกษตรกรเพื่อผลิตปุ๋ยชีวภาพในชุมชน

9.5 แผนปฏิบัติราชการของกรมพัฒนาที่ดิน ระยะ 5 ปี (2560 - 2564) ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยชีวภาพ

แผนปฏิบัติราชการของกรมพัฒนาที่ดิน ระยะ 5 ปี (2560 - 2564) ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยชีวภาพ ภายใต้ยุทธศาสตร์ที่ 2 เพิ่มความสามารถในการแข่งขันภาคการเกษตรด้วยงานวิจัยและเทคโนโลยีด้านการพัฒนาที่ดินเชิงนวัตกรรม กิจกรรมการวิจัยพัฒนาที่ดินและเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช ดังนี้

ตารางที่ 9.1 แผนปฏิบัติราชการของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2560 - 2564 ด้านการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยชีวภาพ

ยุทธศาสตร์ กรมพัฒนาที่ดิน	กิจกรรม	โครงการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยชีวภาพ	ปีที่ดำเนินการ
ยุทธศาสตร์ที่ 2 เพิ่มความสามารถในการแข่งขันภาคการเกษตรด้วยงานวิจัยและเทคโนโลยีด้านการพัฒนาที่ดินเชิงนวัตกรรม	การวิจัยพัฒนาที่ดินและเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช	1. วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพสำหรับนาข้าวเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าว	2560
		2. การพัฒนาจุลินทรีย์ชอบเค็มเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพสำหรับการปลูกพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ดินเค็ม	2560
		3. ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ พด.11 สำหรับถั่วพร้าปรับปรุงบำรุงดินปลูกพืชเศรษฐกิจในเนื้อดินต่างๆ	2560
		4. การจัดการดินที่มีปัญหาด้วยปุ๋ยชีวภาพร่วมกับเพอร์ไลท์ส่งเสริมกิจกรรมจุลินทรีย์เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช	2560
		5. วิจัยจุลินทรีย์และพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมวลชีวภาพสำหรับปอเทืองและโสนอัฟริกัน	2560 - 2562
		6. วิจัยและพัฒนาจุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เพื่อใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินที่มีปัญหา และเพิ่มผลผลิตพืชเศรษฐกิจ	2560 - 2562
		7. วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืชกรด 5-อะมิโนลีวูลินิก (ALA) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าว	2560 - 2562
		8. การพัฒนาเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์สำหรับพืชเศรษฐกิจ	2560 - 2563

ตารางที่ 9.1 (ต่อ)

ยุทธศาสตร์ กรมพัฒนาที่ดิน	กิจกรรม	โครงการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยชีวภาพ	ปีที่ดำเนินการ
		9. วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกำมะถัน และไซยาโนแบคทีเรียเพื่อเพิ่มธาตุอาหาร สร้างสารเสริมการเจริญเติบโต กำจัดวัชพืช และเพิ่มผลผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์	2560 - 2564
		10. อิทธิพลของความเป็นกรดเป็นด่างของดินต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชาการแบคทีเรียบริเวณราก และผลผลิตของข้าวในดินเปรี้ยวจัด	2561
		11.การศึกษาประสิทธิภาพแบคทีเรียทนเค็มที่ผลิตเอนไซม์ ACC deaminase ส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ดินเค็ม	2561 - 2562
		12. วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิต และควบคุมโรคอ้อย	2561 - 2564
		13. อิทธิพลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตร่วมกับปูนต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชาการแบคทีเรียบริเวณรากและผลผลิตของข้าวในดินเปรี้ยวจัด	2562
		14. วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพเพิ่มสารสำคัญลดการปนเปื้อนสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในสมุนไพรเพื่อผลิตสมุนไพรขมิ้นชันและบัวบกที่มีคุณภาพและปลอดภัย	2564
		15. วิจัยและพัฒนาจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในสภาวะแห้งแล้ง	2564

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. **ยุทธศาสตร์เกษตรและสหกรณ์ ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560 - 2579)**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กองแผนงาน. 2559. **ยุทธศาสตร์กรมพัฒนาที่ดิน ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ .ศ. 2560 – 2564)**. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ. 2560. **ยุทธศาสตร์การพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ (2560 - 2564)**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กรุงเทพฯ.

จงกลนี วิทยารุ่งเรืองศรี, จุฑามาศ กลิ่นโซดา และ วราลักษณ์ ตังคณะกุล. 2556. การวิเคราะห์นโยบายอาหารปลอดภัยระดับชาติของกลุ่มประเทศในเอเชีย. **วารสารอาหารและยา** 20: 47- 61.

พัชรา โล่จินดารัตน์. 2554. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรภาคการเกษตรและผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารของไทย, น. 1 - 9. ใน พัชรา โล่ห์จินดารัตน์, ภาคภูมิ ทิพคุณ, แพรว ศิริพรกิตติ, จิราพร ธิโสภา, บรรณาธิการ. **โครงการวิจัยผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรภาคการเกษตรที่มีต่อความมั่นคงในการผลิตอาหารของภาคเกษตรของไทย**. คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บทที่ 10

สรุปและข้อเสนอแนะ

10.1 สรุป

ปุ๋ยชีวภาพ มีความหมายตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 คือ ปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช มาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือทางชีวเคมี ซึ่งปุ๋ยชีวภาพมีหลายประเภทจำแนกตามการให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืช ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน เป็นจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตเจนซึ่งสามารถเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนจากอากาศให้อยู่ในรูปแอมโมเนียที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยกิจกรรมเอนไซม์ไนโทรจีเนส ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน เป็นการตรึงก๊าซไนโตรเจนของจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกับพืชในลักษณะที่ต่างฝ่ายต่างก็ได้รับประโยชน์จากการอาศัยอยู่ร่วมกัน เช่น การดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันระหว่างไรโซเบียมกับพืชตระกูลถั่ว หรือการมีชีวิตอยู่ร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์อื่นบางชนิดกับพืชอย่างอื่นที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว ตัวอย่างจุลินทรีย์ เช่น *Rhizobium* sp. *Frankia* sp. *Anabaena azollae* *Azotobacter paspali* *Azospirillum* sp. *Klebsiella* sp. และ *Nostoc* sp. สำหรับอีกกลุ่มหนึ่ง คือ จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระ จุลินทรีย์พวกนี้จะอาศัยอยู่อย่างอิสระในดินและบริเวณรากพืช ซึ่งการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะเกิดภายในเซลล์ และส่วนใหญ่จะมีกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนต่ำกว่ากลุ่มแรก ตัวอย่างจุลินทรีย์กลุ่มนี้ ได้แก่ *Azotobacte*r sp. *Beijerinckai* sp. และ *Azospirillum* sp. เป็นต้น แต่ก็จะมีข้อดีก็คือถ้าต้องการใช้จุลินทรีย์กลุ่มนี้เพื่อเพิ่มไนโตรเจนในดินสามารถใช้ได้กับพืชทั่วไปไม่จำเพาะเจาะจงเหมือนจุลินทรีย์กลุ่มแรก สำหรับการเพิ่มฟอสฟอรัสในดินโดยผ่านกิจกรรมจุลินทรีย์ในกลุ่มปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสฟอรัสและเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสนั้น เนื่องจากพืชมักจะได้รับธาตุฟอสฟอรัสไม่เพียงพอทั้งที่ในดินมีธาตุนี้อยู่ในปริมาณมาก สาเหตุจากฟอสฟอรัสละลายไม่ดีและมักจะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์กับพืช หากดินมีความเป็นกรดเป็นด่างต่ำหรือสูงเกินไป นอกจากนี้ธาตุฟอสฟอรัสมีการเคลื่อนที่ในดินได้น้อยมาก รากพืชจะต้องชอนไชไปยังแหล่งที่มีธาตุนี้ละลายอยู่จึงจะได้รับประโยชน์ ซึ่งพืชที่มีระบบรากไม่ดีมักได้รับธาตุนี้ไม่เพียงพอ ดังนั้นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟตจึงมีบทบาทในการละลายฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์กับพืชให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยการผลิตกรดอินทรีย์บางชนิดขึ้นมา เช่น กรดฟอร์มิค อะซิติค โปรปิโอนิค แลคติค ไกลโคลิค ฟูมาริค และซัคซินิค เป็นต้น หรือมีการผลิตกรดอนินทรีย์ และ chelator เมื่อแคลเซียมฟอสเฟต เหล็กฟอสเฟต อะลูมินัมฟอสเฟต อะปาไทต์ และหินฟอสเฟตถูกละลายก็จะปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืช จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีทั้งแบคทีเรียและเชื้อรา เช่น *Burkholderia Bacillus* *Aspergillus* *Thiobacillus* และ *Penicillium* เป็นต้น สำหรับจุลินทรีย์ที่เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสนั้นจะเป็นปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา เป็นเชื้อราที่สร้างเส้นใยอยู่รอบๆ รากพืชอาศัยร่วมกันกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน รากพืชที่มีเชื้อราไมคอร์ไรซาจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากให้ไปสัมผัสกับธาตุอาหาร ทำให้ช่วยดูดน้ำและแร่ธาตุโดยเฉพาะฟอสฟอรัส สำหรับการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมโดยใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียมนั้น จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะมีบทบาทสำคัญต่อความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการ mobilization

โดยการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติค กรดซิตริค กรดออกซาลิค เป็นต้น หรือกรดอนินทรีย์ เช่น กรดคาร์บอนิค กรดไนตริค และกรดซัลฟูริค เป็นต้น ในการละลายแร่และวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ โดยสามารถละลายได้จากแร่ในกลุ่มไมก้า เช่น biotite muscovite และแร่ในกลุ่มของเฟลด์สปาร์ เช่น microcline nephelite leucite และ orthoclase เป็นต้น ตัวอย่างจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ เช่น *Bacillus Pseudomonas* และ *Aspergillus* เป็นต้น ปุ๋ยชีวภาพละลายซิลิเกต กลุ่มนี้จะมีกลไกในการละลายแร่ธาตุจากหินและแร่ในลักษณะเดียวกันกับจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม และปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ พีจีพีอาร์ เป็นแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตอย่างอิสระอาศัยอยู่ในดินบริเวณรอบรากพืช ที่ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่มเดียวกันหรือต่างกลุ่มกัน โดยกลไกการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางตรง ประกอบด้วย การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช หรือการผลิตสารกระตุ้น ได้แก่ การตรึงไนโตรเจน การละลายฟอสเฟต การละลายโพแทสเซียม การผลิตซิเดอโรฟอร์ และ การผลิตฮอร์โมนพืช สำหรับกลไกการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทางอ้อมเป็นการใช้จุลินทรีย์เพื่อควบคุมเชื้อโรคพืช ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมแบบชีววิธี สามารถใช้จุลินทรีย์ที่อาศัยบริเวณรอบรากพืช ในการแก่งแย่งอาหารและที่อยู่อาศัย และการเหนี่ยวนำภูมิต้านทานของพืช ตัวอย่างจุลินทรีย์พีจีพีอาร์ เช่น *Azotobacter Bacillus Pseudomonas* และ *Rhizobium* เป็นต้น

เทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยชีวภาพจากจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆนี้ มุ่งเน้นการใช้เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารในดิน เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตพืช ซึ่งสามารถนำมาใช้ทั้งในระบบการปลูกพืชแบบเกษตรอินทรีย์ การบำรุงดินแบบผสมผสาน และในดินที่มีปัญหาต่างๆ ซึ่งปุ๋ยชีวภาพที่มีการนำไปใช้ประโยชน์กับพืชแต่ละชนิดในประเทศไทยก็จะแตกต่างกัน เช่น นาข้าว มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมกับปุ๋ยพืชสด โดยเฉพาะโสนอัฟริกัน ซึ่งเป็นพืชปุ๋ยสดที่นิยมใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินในพื้นที่ลุ่ม นอกจากนี้ก็จะมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพื่อเพิ่มไนโตรเจนให้กับดินในนาข้าวซึ่งสามารถเจริญได้ดีในสภาพน้ำขัง สำหรับการใช้ปุ๋ยชีวภาพในพืชไร่ เช่น การใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมในพืชไร่ตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และถั่วเขียว และการใช้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์สำหรับข้าวโพดและข้าวฟ่าง เป็นต้น นอกจากนี้มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพในไม้ผล และไม้ยืนต้น เช่น การใช้ปุ๋ยชีวภาพีจีพีอาร์ ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ซึ่งแหล่งของปุ๋ยชีวภาพที่จะนำไปใช้ในพื้นที่ของการเกษตรของประเทศไทยนั้นได้จากผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตจากทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชน สำหรับหน่วยงานภาครัฐที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพและส่งเสริมสู่เกษตรกรนั้น เช่น กรมพัฒนาที่ดิน และกรมวิชาการเกษตร เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพของกรมพัฒนาที่ดิน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ซุปเปอร์ พด.9 เป็นแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในดินกรด และดินเปรี้ยว ประกอบด้วย *Burkholderia* sp. ที่สามารถละลายฟอสฟอรัสเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด และดินเปรี้ยวจัด จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 สำหรับปอเทือง โสนอัฟริกัน ถั่วพร้า ประกอบด้วย *Rhizobium* ที่มีความจำเพาะเจาะจงกับพืชตระกูลถั่วทั้ง 3 ชนิด และปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ประกอบด้วย แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ *A. tropicalis* แบคทีเรียละลายฟอสเฟต *B. unamae* แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม *B. subtilis* และแบคทีเรียสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือฮอร์โมนพืช *Azotobacter* sp. สำหรับผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพของกรมวิชาการเกษตร ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 สำหรับข้าวโพด ข้าวฟ่าง พีจีพีอาร์ 2 สำหรับข้าว พีจีพีอาร์ 3 สำหรับอ้อย มันสำปะหลัง ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตโดยเอกชน ซึ่งเป็นการผลิตเพื่อการค้า ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นต้น

ซึ่งผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่มีจำหน่ายในท้องตลาดนั้นเป็นการผลิตเพื่อการค้าจะต้องขึ้นทะเบียนขออนุญาตผลิตปุ๋ยชีวภาพ และต้องมีฉลากกำกับตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ซึ่งเจตนารมณ์ของพระราชบัญญัติปุ๋ยฉบับนี้ เพื่อควบคุมการขาย นำเข้า ส่งออก นำผ่าน การผลิตเพื่อการค้า ทั้งปุ๋ยเคมี ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการควบคุมปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด และเพื่อรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกรและภาคการเกษตรของประเทศไทย ซึ่งใบสำคัญการขึ้นทะเบียนจะต้องผ่านการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ตามที่กำหนดในพระราชบัญญัติ นอกจากนี้ยังมีการควบคุมปุ๋ยชีวภาพโดยมีสาระสำคัญ 2 ประการ คือ กำหนดให้ปุ๋ยชีวภาพเป็นปุ๋ยที่ต้องขึ้นทะเบียน และกำหนดลักษณะของปุ๋ยชีวภาพที่ห้ามผลิตและขายด้วย โดยในการกำหนดปริมาณจุลินทรีย์นั้น เช่น ปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ และปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่น้อยกว่า 10^6 เซลล์ต่อกรัม ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตจากเชื้อรา และแบคทีเรียมีปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่น้อยกว่า 10^7 และ 10^8 เซลล์ต่อกรัม ตามลำดับ ปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียมกำหนดให้มีปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่น้อยกว่า 10^7 เซลล์ต่อกรัม และปุ๋ยชีวภาพอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีปริมาณจุลินทรีย์รับรองไม่น้อยกว่า 25 สปอร์ต่อกรัม โดยมีเกณฑ์คลาดเคลื่อนขั้นต่ำ 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามเกษตรกรที่จะเลือกใช้ปุ๋ยชีวภาพให้เกิดประสิทธิภาพนอกจากจะต้องมีความรู้และความเข้าใจประเภทของปุ๋ยชีวภาพเพื่อให้สามารถใช้แก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องแล้ว เกษตรกรก็จะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณจุลินทรีย์ ปัญหาของดิน ชนิดของพืช และสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น อากาศ อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง อินทรียวัตถุ และสารอนินทรีย์ในดิน ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์มีชีวิตรอดและเกิดกิจกรรมในดินตลอดระยะการเพาะปลูกพืช ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และผลผลิตพืช

10.2 ข้อเสนอแนะ

ปุ๋ยชีวภาพเป็นปุ๋ยที่มีจุลินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งในการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อให้มีประสิทธิภาพนั้น สิ่งสำคัญก็คือ จุลินทรีย์จะต้องยังคงมีชีวิตรอดในสภาพแปลงและเกิดกิจกรรมตามชนิดของจุลินทรีย์นั้นๆ ดังนั้นเกษตรกรจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยที่จะส่งผลต่อจุลินทรีย์ เช่น สมบัติดินที่แตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค เนื่องจากจุลินทรีย์ที่จัดอยู่ในกลุ่มปุ๋ยชีวภาพส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอโรโทรพ ซึ่งใช้อินทรียวัตถุเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน ดังนั้นพื้นที่ที่จะนำจุลินทรีย์ไปใช้ประโยชน์จะต้องมีแหล่งอาหารดังกล่าว ซึ่งเกษตรกรก็จะต้องมีความรู้ในการปรับปรุงบำรุงดินเพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุในดินด้วย นอกจากนี้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมก็ส่งผลต่อจุลินทรีย์เช่นกันซึ่งในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะลักษณะและปัญหาของดิน เช่น ดินทรายจะมีการระบายอากาศดี แต่ความสามารถในการอุ้มน้ำไม่ดี เกษตรกรจะต้องรักษาความชื้นในดินโดยใช้วิธีต่างๆ เช่น วัสดุคลุมดิน หรือการอนุรักษ์ดินและน้ำ เป็นต้น เพื่อช่วยให้จุลินทรีย์เกิดกิจกรรมและดำรงชีวิตอยู่ได้ นอกจากนี้วิธีการใช้ปุ๋ยชีวภาพแต่ละชนิดก็จะช่วยทำให้การใช้ปุ๋ยชีวภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การคลุกเมล็ด การหว่าน หรือ การใช้ในสภาพน้ำขัง สภาพพื้นที่ดอน เป็นต้น รวมทั้งการใช้ปุ๋ยชีวภาพให้ตรงตามสมบัติของปุ๋ยชีวภาพ เช่น การเพิ่มธาตุไนโตรเจน ใช้ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน การเพิ่มฟอสฟอรัสใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และไมคอร์ไรซา แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพจากทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชนยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ประเภทของปุ๋ยชีวภาพไม่หลากหลาย ยังไม่เฉพาะเจาะจงกับดินปัญหาต่างๆ วิธีการนำไปใช้ประโยชน์ยังมีความยุ่งยากในการปฏิบัติเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี เกษตรกรเข้าถึงผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพได้ยาก เนื่องจากภาครัฐมีการผลิตในปริมาณจำกัดและภาคเอกชนที่ผ่านการขึ้นทะเบียนยังมีไม่มากจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดยังไม่แพร่หลายมากนัก รวมทั้งองค์ความรู้ในเรื่องปุ๋ยชีวภาพของ

เกษตรกรและทัศนคติของเกษตรกรในการปรับเปลี่ยนจากการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวมาใช้ปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสมในการผลิตแต่ละระบบ อาจเนื่องจากเกษตรกรไม่เห็นผลชัดเจนในการแก้ปัญหาของพื้นที่เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว

อย่างไรก็ตามเพื่อให้ประเทศไทยมีการผลิตและใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพมากยิ่งขึ้น เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยชีวภาพอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อใช้เป็นปัจจัยการผลิตในระบบการผลิตพืชต่างๆ ทั้งช่วยในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพิ่มผลผลิตพืช และลดต้นทุนการผลิตโดยเฉพาะจากการใช้ปุ๋ยเคมีซึ่งเป็นปัจจัยที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศ ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดยุทธศาสตร์ในการพัฒนาปุ๋ยชีวภาพในประเทศไทย 3 ด้าน คือ ด้านการวิจัย ด้านการผลิต และด้านการส่งเสริม

ยุทธศาสตร์ด้านการวิจัย ควรให้ความสำคัญในการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพมากขึ้น เพิ่มทางเลือกให้เกษตรกรในการเลือกใช้ปุ๋ยชีวภาพได้อย่างทั่วถึงและเหมาะสมกับปัญหาดินในแต่ละพื้นที่ โดยเพิ่มงบประมาณด้านการวิจัยของประเทศ จัดทำฐานข้อมูลงานวิจัยด้านปุ๋ยชีวภาพของประเทศไทย โดยการสนับสนุนความร่วมมือการวิจัยของภาครัฐ และเอกชน เพื่อนำไปสู่การลงทุนการผลิตปุ๋ยชีวภาพเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น เช่น การจัดทำแผนงานวิจัยและพัฒนาเรื่องปุ๋ยชีวภาพตามแผนปฏิบัติราชการกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2560 – 2564 เช่น การวิจัยผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพตามปัญหาดิน ประกอบด้วย วิจัยและพัฒนาจุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เพื่อใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินที่มีปัญหาและเพิ่มผลผลิตพืชเศรษฐกิจ การพัฒนาจุลินทรีย์ชอบเค็มเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพสำหรับการปลูกพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ดินเค็ม การศึกษาประสิทธิภาพแบคทีเรียทนเค็มที่ผลิตเอนไซม์ ACC deaminase ส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ดินเค็ม การจัดการดินที่มีปัญหาด้วยปุ๋ยชีวภาพร่วมกับเพอร์ไลท์ส่งเสริมกิจกรรมจุลินทรีย์เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช เป็นต้น งานวิจัยปุ๋ยชีวภาพตามชนิดพืชเศรษฐกิจ ประกอบด้วย วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืชกรด 5 - อะมิโนลีวูลินิก (ALA) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าว การพัฒนาเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์สำหรับพืชเศรษฐกิจ วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพสำหรับนาข้าวเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าว วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิต และควบคุมโรคอ้อย เป็นต้น สำหรับงานวิจัยปุ๋ยชีวภาพสำหรับพืชปรับปรุงดินและเกษตรอินทรีย์ เช่น วิจัยจุลินทรีย์และพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมวลชีวภาพสำหรับปอเทืองและโสนอัฟริกัน ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ พด.11 สำหรับถั่วพร้า ปรับปรุงบำรุงดินปลูกพืชเศรษฐกิจในเนื้อดินต่างๆ และวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกำมะถัน และไซยาโนแบคทีเรียเพื่อเพิ่มธาตุอาหาร สร้างสารเสริมการเจริญเติบโต กำจัดวัชพืช และเพิ่มผลผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ เป็นต้น

ยุทธศาสตร์ด้านการผลิตปุ๋ยชีวภาพ ควรมุ่งเน้นการส่งเสริมให้มีเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพอย่างมีระบบและได้มาตรฐาน อาจจะต้องมุ่งเน้นการพัฒนาห้องปฏิบัติการและการตรวจสอบปุ๋ยชีวภาพที่ทันสมัย และสนับสนุน ผลักดันให้มีโรงงานผลิตปุ๋ยชีวภาพมากขึ้น ซึ่งก็จะทำให้เกษตรกรได้เข้าถึงปุ๋ยชีวภาพ จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะนำไปสู่การใช้ประโยชน์ในพื้นที่การเกษตรของประเทศไทยอย่างกว้างขวางขึ้น

ยุทธศาสตร์ด้านการส่งเสริม ภาครัฐควรมีบทบาทในการแนะนำให้ความรู้และส่งเสริมเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพ เช่น การสร้างเครือข่ายเกษตรกรใช้ปุ๋ยชีวภาพ การจัดการฝึกอบรมให้ความรู้ให้แก่เกษตรกรอย่างทั่วถึง ซึ่งการเผยแพร่องค์ความรู้ให้กับเกษตรกร จะทำให้เกษตรกรได้เข้าใจถึงประโยชน์ของปุ๋ยชีวภาพ ก็จะเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจในการเลือกใช้ปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งปัจจุบันองค์ความรู้

เหล่านี้ยังอยู่ในแวดวงนักวิชาการ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการสร้างระบบในการถ่ายทอด ตั้งแต่ต้นทาง กลางทาง และปลายทาง โดยการพัฒนาศักยภาพเจ้าหน้าที่ภาครัฐหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้มีความรู้และความสามารถที่จะถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับปุ๋ยชีวภาพให้กับเกษตรกร สร้างเกษตรกรต้นแบบปุ๋ยชีวภาพเพื่อเป็นตัวอย่าง และการถ่ายทอดสู่ชุมชน และสนับสนุนปุ๋ยชีวภาพเพื่อเป็นปัจจัยการผลิตหลักของเกษตรกรในการผลิตพืชปลอดภัยและเกษตรอินทรีย์ รวมทั้งส่งเสริมการรวมกลุ่มเกษตรกรเพื่อผลิตปุ๋ยชีวภาพในชุมชน

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

หน้า ๑
เล่ม ๑๒๕ ตอนที่ ๗ ก ราชกิจจานุเบกษา ๑๑ มกราคม ๒๕๕๑

พระราชบัญญัติ

ปุ๋ย (ฉบับที่ ๒)

พ.ศ. ๒๕๕๐

ภูมิพลอดุลยเดช ป.ร.

ให้ไว้ ณ วันที่ ๓๐ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๕๐

เป็นปีที่ ๖๒ ในรัชกาลปัจจุบัน

พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช มีพระบรมราชโองการโปรดเกล้า ฯ ให้ประกาศว่า

โดยที่เป็นการสมควรแก้ไขเพิ่มเติมกฎหมายว่าด้วยปุ๋ย

พระราชบัญญัตินี้มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๓ มาตรา ๔๑ มาตรา ๔๓ และมาตรา ๔๕ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย

จึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้า ฯ ให้ตราพระราชบัญญัติขึ้นไว้โดยคำแนะนำและยินยอมของสภานิติบัญญัติแห่งชาติ ดังต่อไปนี้

มาตรา ๑ พระราชบัญญัตินี้เรียกว่า "พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๕๐"

มาตรา ๒ พระราชบัญญัตินี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

มาตรา ๓ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๓ และมาตรา ๔ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๓ ในพระราชบัญญัตินี้

"ปุ๋ย" หมายความว่า สารอินทรีย์ อินทรียสังเคราะห์ อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช

"ปุ๋ยเคมี" หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรียสังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม ปุ๋ยเชิงประกอบ และปุ๋ยอินทรีย์เคมี แต่ไม่รวมถึง

(๑) ปูนขาว ดินมาร์ล ปูนปลาสเตอร์ ยิปซัม โดโลไมต์ หรือสารอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๒) สารอนินทรีย์หรืออินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตามที่มุ่งหมายสำหรับใช้ในการอุตสาหกรรมหรือกิจการอื่นตามที่รัฐมนตรีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

"ปุ๋ยชีวภาพ" หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช มาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพหรือทางชีวเคมี และให้หมายความรวมถึงหัวเชื้อจุลินทรีย์

"ปุ๋ยอินทรีย์" หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ

"ปุ๋ยอินทรีย์เคมี" หมายความว่า ปุ๋ยที่มีปริมาณธาตุอาหารรับรองแน่นอนโดยมีปริมาณอินทรียวัตถุตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

"ปุ๋ยเชิงเดี่ยว" หมายความว่า ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารหลักธาตุเดียว ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟต หรือปุ๋ยโพแทช

"ปุ๋ยเชิงผสม" หมายความว่า ปุ๋ยเคมีที่ได้จากการผสมปุ๋ยเคมี ชนิดหรือประเภทต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ธาตุอาหารตามต้องการ

"ปุ๋ยเชิงประกอบ" หมายความว่า ปุ๋ยเคมีที่ทำขึ้นด้วยกรรมวิธีทางเคมี และมีธาตุอาหารหลักอย่างน้อยสองธาตุขึ้นไป

"ธาตุอาหาร" หมายความว่า ธาตุที่มีอยู่ในปุ๋ยและสามารถเป็นอาหารแก่พืชได้

"ธาตุอาหารหลัก" หมายความว่า ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือโพแทสเซียม

"ธาตุอาหารรอง" หมายความว่า ธาตุอาหารแมกนีเซียม แคลเซียม หรือกำมะถัน

"ธาตุอาหารเสริม" หมายความว่า ธาตุอาหารเหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม คลอรีน หรือธาตุอาหารอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

"ปริมาณธาตุอาหารรับรอง" หมายความว่า ปริมาณขั้นต่ำของธาตุอาหารหลักที่ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าปุ๋ยเคมีรับรองในฉลากว่ามีอยู่ในปุ๋ยเคมีที่ตนผลิตหรือนำเข้า แล้วแต่กรณี โดยคิดเป็นจำนวนร้อยละของน้ำหนักสุทธิของปุ๋ยเคมี

"ชนิดของจุลินทรีย์" หมายความว่า กลุ่มหรือสกุลของจุลินทรีย์เป็นภาษาทางวิทยาศาสตร์ของจุลินทรีย์

"หัวเชื้อจุลินทรีย์" หมายความว่า จุลินทรีย์ชีวภาพที่มีจำนวนเซลล์ต่อหน่วยสูงซึ่งถูกเพาะเลี้ยงโดยกรรมวิธีทางวิทยาศาสตร์

"วัสดุรองรับ" หมายความว่า สิ่งที่นำมาใช้ในการผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตปุ๋ยชีวภาพ

"ปริมาณจุลินทรีย์รับรอง" หมายความว่า ปริมาณขั้นต่ำที่ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้ารับรองถึงจำนวนเซลล์รวม หรือจำนวนสปอร์รวม หรือจำนวนตามหน่วยวัดอื่นที่รัฐมนตรีกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา ของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่มีอยู่ในปุ๋ยชีวภาพหรือหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ตนผลิตหรือนำเข้า แล้วแต่กรณี

"จุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรค" หมายความว่า จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์หรือพืช และให้หมายความรวมถึงจุลินทรีย์ที่ทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ไม่ว่าด้วยประการใด ๆ

"ปริมาณอินทรียวัตถุรับรอง" หมายความว่า ปริมาณขั้นต่ำของอินทรียวัตถุที่ผู้ผลิต หรือผู้นำเข้าปุ๋ยอินทรีย์รับรองในฉลากว่ามีอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์ที่ตนผลิตหรือนำเข้า แล้วแต่กรณี โดยคิดเป็นจำนวนร้อยละของน้ำหนักสุทธิของปุ๋ยอินทรีย์

"สารเป็นพิษ" หมายความว่า สารเคมีหรือสิ่งอื่นที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ สัตว์ พืช จุลินทรีย์ สิ่งแวดล้อม หรือทรัพย์อื่นได้

"ปุ๋ยเคมีมาตรฐาน" หมายความว่า ปุ๋ยเคมีที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดสูตรและปริมาณขั้นต่ำหรือขั้นสูงของธาตุอาหารหรือสารเป็นพิษ และลักษณะจำเป็นอย่างอื่นของปุ๋ยเคมีดังกล่าวแต่ละชนิด

"ปุ๋ยเคมีเสื่อมคุณภาพ" หมายความว่า ปุ๋ยเคมีที่ล่วงอายุ หรือถูกกระทบกระเทือนด้วยปัจจัยใด ๆ อันทำให้เสื่อมคุณภาพ โดยธาตุอาหารลดน้อยลง หรือเปลี่ยนสภาพไป

"ฉลาก" หมายความรวมถึงรูป รอยประดิษฐ์ หรือข้อความใด ๆ ซึ่งแสดงไว้ที่ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ย

"เอกสารกำกับปุ๋ย" หมายความว่า กระดาษหรือวัตถุอื่นใดที่ทำให้ปรากฏความหมายด้วยรูป รอยประดิษฐ์ เครื่องหมาย หรือข้อความใด ๆ อันเกี่ยวกับปุ๋ย ซึ่งสอดแทรกหรือรวมไว้กับ หรือเป็นส่วนหนึ่งของภาชนะหรือหีบห่อที่บรรจุปุ๋ย และให้หมายความรวมถึงคู่มือประกอบการใช้ปุ๋ยด้วย

"ผลิต" หมายความว่า ทำ เพาะเลี้ยงเชื้อ รวบรวม ผสม แปรสภาพ ปรุงแต่ง เปลี่ยนภาชนะบรรจุหรือหีบห่อบรรจุ หรือแบ่งบรรจุซึ่งปุ๋ย

"ขาย" หมายความว่า จำหน่าย จ่าย แจก แลกเปลี่ยน โอนสิทธิ หรือโอนการครอบครองให้แก่บุคคลอื่น ทั้งนี้ เพื่อประโยชน์ในทางการค้า และให้หมายความรวมถึงการมีไว้เพื่อขายด้วย

"นำเข้า" หมายความว่า นำหรือสั่งเข้ามาในราชอาณาจักร

"ส่งออก" หมายความว่า นำหรือส่งออกไปนอกราชอาณาจักร

"นำผ่าน" หมายความว่า นำหรือส่งผ่านราชอาณาจักรโดยมีการขนถ่ายหรือเปลี่ยนยานพาหนะ

"พนักงานเจ้าหน้าที่" หมายความว่า ผู้ซึ่งรัฐมนตรีแต่งตั้งให้ปฏิบัติการตามพระราชบัญญัตินี้

"อธิบดี" หมายความว่า อธิบดีกรมวิชาการเกษตร

"รัฐมนตรี" หมายความว่า รัฐมนตรีผู้รักษาการตามพระราชบัญญัตินี้

มาตรา ๔ ให้รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์รักษาการตามพระราชบัญญัตินี้ และให้มีอำนาจแต่งตั้งพนักงานเจ้าหน้าที่ ออกกฎกระทรวงกำหนดอัตราค่าธรรมเนียมไม่เกินอัตราท้ายพระราชบัญญัตินี้ ยกเว้นค่าธรรมเนียม กำหนดกิจการอื่นและออกประกาศเพื่อปฏิบัติการตามพระราชบัญญัตินี้

กฎกระทรวงและประกาศนั้น เมื่อได้ประกาศในราชกิจจานุเบกษาแล้วให้ใช้บังคับได้"

มาตรา ๔ ให้ยกเลิกความในวรรคหนึ่งของมาตรา ๕ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๕ ให้มีคณะกรรมการคณะหนึ่งเรียกว่า "คณะกรรมการปุ๋ย" ประกอบด้วย ปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์เป็นประธานกรรมการ ผู้แทนกระทรวงพาณิชย์หนึ่งคน ผู้แทนกรมพัฒนาที่ดินหนึ่งคน ผู้แทนกรมวิชาการเกษตรสองคน ผู้แทนกรมวิทยาศาสตร์บริการหนึ่งคน ผู้แทนกรมส่งเสริมการเกษตรหนึ่งคน ผู้แทนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหนึ่งคน

ผู้แทนสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรหนึ่งคน และผู้ทรงคุณวุฒิอีกไม่เกินสิบคนซึ่งรัฐมนตรีแต่งตั้งโดยต้องเป็นเกษตรกรสี่คน ผู้แทนสมาคมที่มีกิจการเกี่ยวกับการผลิตและการค้าปุ๋ยสองคน ผู้ชำนาญการทางด้านสิ่งแวดล้อม ด้านกฎหมายและด้านปุ๋ย อีกไม่เกินสี่คน เป็นกรรมการ และให้ผู้แทนกรมวิชาการเกษตรคนหนึ่งเป็นเลขานุการ"

มาตรา ๕ ให้ยกเลิกความในวรรคสองของมาตรา ๗ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"ในกรณีที่กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพ้นจากตำแหน่งก่อนวาระ หรือในกรณีที่รัฐมนตรีแต่งตั้งกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิเพิ่มขึ้นในระหว่างที่กรรมการซึ่งแต่งตั้งไว้แล้วยังมีวาระอยู่ในตำแหน่ง ให้ผู้ได้รับแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งแทนหรือให้เป็นกรรมการเพิ่มขึ้นอยู่ในตำแหน่งเท่ากับวาระที่เหลืออยู่ของกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิซึ่งได้แต่งตั้งไว้แล้ว"

มาตรา ๖ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๑๐ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๑๐ ให้คณะกรรมการปุ๋ยมีอำนาจหน้าที่ให้คำแนะนำหรือความเห็นชอบแก่รัฐมนตรีหรืออธิบดี แล้วแต่กรณี ในเรื่อง

(๑) การอนุญาตการผลิตปุ๋ยเพื่อการค้า การขายปุ๋ย การนำเข้าปุ๋ย การส่งออกปุ๋ย การนำผ่านปุ๋ย การขึ้นทะเบียนปุ๋ย และการเพิกถอนทะเบียนปุ๋ย ตลอดจนการพักใช้ใบอนุญาตหรือเพิกถอนใบอนุญาต

(๒) การกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขเกี่ยวกับการผลิตปุ๋ยเพื่อการค้า การขายปุ๋ย การนำเข้าปุ๋ย การส่งออกปุ๋ย การนำผ่านปุ๋ย การนำปุ๋ยมาเป็นตัวอย่างเพื่อตรวจสอบกรรมวิธีการตรวจสอบหรือการวิเคราะห์ปุ๋ย การตรวจสอบสถานที่ผลิตปุ๋ย สถานที่ขายปุ๋ย สถานที่นำเข้าปุ๋ย สถานที่ส่งออกปุ๋ย และสถานที่เก็บปุ๋ย และการกำหนดห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ย

(๓) การออกประกาศตามมาตรา ๓๓/๒ หรือมาตรา ๓๔ และการกำหนดหลักเกณฑ์วิธีการ และเงื่อนไขตามมาตรา ๓๘

(๔) ปฏิบัติการอื่นตามที่กฎหมายกำหนด

(๕) เรื่องอื่น ๆ ตามที่รัฐมนตรีมอบหมาย"

มาตรา ๗ ให้ยกเลิกความซึ่งเป็นชื่อของหมวด ๒ และความในมาตรา ๑๒ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"หมวด ๒
การขออนุญาตและการออกใบอนุญาตเกี่ยวกับปุ๋ย

มาตรา ๑๒ ห้ามมิให้ผู้ใดผลิตเพื่อการค้า ขาย นำเข้า ส่งออก หรือนำผ่านปุ๋ยดังต่อไปนี้ เว้นแต่ได้รับใบอนุญาตจากพนักงานเจ้าหน้าที่

(๑) ปุ๋ยเคมี

(๒) ปุ๋ยชีวภาพยกเว้นปุ๋ยชีวภาพที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดตามมาตรา ๓๔ (๗)

(๓) ปุ๋ยอินทรีย์ยกเว้นปุ๋ยอินทรีย์ที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดตามมาตรา ๓๔ (๗)

การขออนุญาต การอนุญาต และการออกใบอนุญาตตามวรรคหนึ่ง ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย"

มาตรา ๘ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๑๔ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๑๔ บทบัญญัติมาตรา ๑๒ และมาตรา ๓๕ ไม่ใช้บังคับแก่

(๑) การนำเข้าหรือการส่งออกปุ๋ย เพื่อประโยชน์ในการค้นคว้า ทดลอง หรือวิจัย

(๒) การผลิต การนำเข้า หรือการส่งออกปุ๋ย เพื่อเป็นตัวอย่างสำหรับการขึ้นทะเบียนปุ๋ย หรือเพื่อพิจารณาในการสั่งซื้อ

(๓) การนำเข้าหรือการส่งออกปุ๋ยครั้งหนึ่งในปริมาณไม่เกินชนิดละห้าสิบกิโลกรัมหรือห้าสิบลิตร

ผู้ดำเนินการที่ได้รับการยกเว้นตามวรรคหนึ่งจะต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย"

มาตรา ๙ ให้ยกเลิกความในวรรคหนึ่งของมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๑๕ ให้พนักงานเจ้าหน้าที่ออกใบอนุญาตให้ผลิตเพื่อการค้า ขาย นำเข้า หรือส่งออกปุ๋ย เมื่อปรากฏว่าผู้ขอรับใบอนุญาต

(๑) เป็นเจ้าของกิจการ

(๒) มีถิ่นที่อยู่หรือสำนักงานในประเทศไทย

(๓) มีสถานที่ผลิตปุ๋ยเพื่อการค้า สถานที่ขายปุ๋ย สถานที่นำเข้าปุ๋ย สถานที่ส่งออกปุ๋ย หรือสถานที่เก็บปุ๋ย

(๔) ใช้ชื่อในการประกอบพาณิชยกิจไม่ซ้ำหรือคล้ายคลึงกับชื่อที่ใช้ในการประกอบพาณิชยกิจของผู้รับใบอนุญาตอยู่แล้ว หรือผู้ซึ่งอยู่ในระหว่างถูกสั่งพักใช้ใบอนุญาต หรือถูกเพิกถอนใบอนุญาตยังไม่ครบหนึ่งปี"

มาตรา ๑๐ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๑๖ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๑๖ ประเภทของใบอนุญาต มีดังต่อไปนี้

(๑) ใบอนุญาตผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้า

(๒) ใบอนุญาตผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้า

(๓) ใบอนุญาตผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้า

(๔) ใบอนุญาตขายปุ๋ย

(๕) ใบอนุญาตนำเข้าปุ๋ย

(๖) ใบอนุญาตส่งออกปุ๋ย

(๗) ใบอนุญาตนำผ่านปุ๋ย

ให้ถือว่าผู้ได้รับใบอนุญาตตาม (๑) (๒) หรือ (๓) เป็นผู้ได้รับใบอนุญาตตาม (๔) สำหรับปุ๋ยที่ตนผลิต และผู้ได้รับใบอนุญาตตาม (๕) เป็นผู้ได้รับใบอนุญาตตาม (๔) สำหรับปุ๋ยที่ตนนำเข้าแล้วแต่กรณี"

มาตรา ๑๑ ให้ยกเลิกความในวรรคหนึ่งของมาตรา ๑๘ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๑๘ ใบอนุญาตตามมาตรา ๑๖ ให้ใช้ได้ในระยะเวลาดังต่อไปนี้

(๑) ใบอนุญาตผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้า ใบอนุญาตผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้าหรือใบอนุญาตผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้า ให้ใช้ได้ห้าปีนับแต่วันที่ออกใบอนุญาต

(๒) ใบอนุญาตขายปุ๋ย ให้ใช้ได้หนึ่งปีนับแต่วันที่ออกใบอนุญาต

(๓) ใบอนุญาตนำเข้าปุ๋ย ให้ใช้ได้ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ในใบอนุญาตแต่ไม่เกินหนึ่งปีนับแต่วันที่ออกใบอนุญาต

(๔) ใบอนุญาตส่งออกปุ๋ย ให้ใช้ได้ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ในใบอนุญาตแต่ไม่เกินหนึ่งปีนับแต่วันที่ออกใบอนุญาต

(๕) ใบอนุญาตนำผ่านปุ๋ย ให้ใช้ได้ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ในใบอนุญาตแต่ไม่เกินหกเดือนนับแต่วันที่ออกใบอนุญาต"

มาตรา ๑๒ ให้ยกเลิกความซึ่งเป็นชื่อของหมวด ๓ และความในมาตรา ๒๐ และมาตรา ๒๑ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"หมวด ๓
หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตเกี่ยวกับปุ๋ย

มาตรา ๒๐ ห้ามมิให้ผู้รับใบอนุญาต

(๑) ผลิตหรือขายปุ๋ยนอกสถานที่ที่กำหนดไว้ในใบอนุญาต เว้นแต่เป็นการขายส่งตรงต่อผู้รับใบอนุญาตขายปุ๋ย

(๒) ผลิตหรือนำเข้าปุ๋ยไม่ตรงตามใบสำคัญการขึ้นทะเบียน

มาตรา ๒๑ ให้ผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้าปฏิบัติดังต่อไปนี้

(๑) จัดให้มีป้ายไว้ในที่เปิดเผยซึ่งเห็นได้ง่ายจากภายนอกอาคารแสดงว่าเป็นสถานที่ผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้า ทั้งนี้ ลักษณะ ขนาดของป้าย และข้อความที่แสดงในป้ายให้เป็นไปตามที่อธิบดีกำหนด

(๒) แสดงใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยเคมีไว้ในที่เปิดเผยซึ่งเห็นได้ง่าย ณ ที่ทำการที่ระบุไว้ในใบอนุญาต

(๓) จัดให้มีการวิเคราะห์ปุ๋ยเคมีทุกครั้งที่ผลิตขึ้นก่อนนำออกจากสถานที่ผลิตโดยมีหลักฐานแสดงรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ทุกครั้ง ซึ่งต้องเก็บรักษาไว้ไม่น้อยกว่าสิบปี

(๔) จัดให้มีฉลากภาษาไทยที่ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ยเคมีที่ผลิตขึ้น โดยผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้ารับรองความถูกต้องของข้อความในฉลาก และในฉลากต้องแสดง

(ก) ชื่อทางการค้า และมีคำว่า ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยเคมีมาตรฐาน หรือปุ๋ยอินทรีย์เคมี แล้วแต่กรณี

(ข) เครื่องหมายการค้า หรือเครื่องหมายอื่นใดซึ่งแสดงที่ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ยเคมี

(ค) ปริมาณธาตุอาหารรับรอง

(ง) น้ำหนักสุทธิหรือขนาดบรรจุของปุ๋ยเคมีตามระบบเมตริก

(จ) ชื่อผู้ผลิต และที่ตั้งสำนักงานและสถานที่ผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้า

(ฉ) ชื่อทางเคมีและปริมาณของสารเป็นพิษที่อยู่ในปุ๋ยเคมี

(ช) ข้อความอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดให้มีในฉลาก

(๕) จัดให้มีเอกสารกำกับปุ๋ยเคมีตามที่ขึ้นทะเบียนไว้ ทั้งนี้ ตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด

(๖) จัดให้มีคำชี้แจง วิธีใช้ และคำเตือน ตลอดจนการเก็บรักษาไว้ในเอกสารกำกับปุ๋ยเคมีในกรณีที่ปุ๋ยเคมีมีสารเป็นพิษผสมอยู่ด้วย

(๗) การอื่นตามที่รัฐมนตรีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ความใน (๔) และ (๕) ไม่ใช้บังคับแก่ผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้าซึ่งขายปุ๋ยเคมีที่ตนผลิตโดยมิได้บรรจุภาชนะหรือหีบห่อให้แก่ผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้ารายอื่น"

มาตรา ๑๓ ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นมาตรา ๒๑/๑ และมาตรา ๒๑/๒ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘

"มาตรา ๒๑/๑ ให้ผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้าปฏิบัติดังต่อไปนี้

(๑) จัดให้มีป้ายไว้ในที่เปิดเผยซึ่งเห็นได้ง่ายจากภายนอกอาคาร แสดงว่าเป็นสถานที่ผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้า ทั้งนี้ ลักษณะ ขนาดของป้าย และข้อความที่แสดงในป้ายให้เป็นไปตามที่อธิบดีกำหนด

(๒) แสดงใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพไว้ในที่เปิดเผยซึ่งเห็นได้ง่าย ณ ที่ทำการที่ระบุไว้ในใบอนุญาต

(๓) จัดให้มีการควบคุมคุณภาพปุ๋ยชีวภาพทุกครั้งที่ผลิตขึ้นก่อนนำออกจากสถานที่ผลิต โดยมีหลักฐานแสดงรายละเอียดของผลการตรวจสอบจุลินทรีย์ทุกครั้ง ซึ่งต้องเก็บรักษาไว้ไม่น้อยกว่าสิบปี

(๔) จัดให้มีฉลากภาษาไทยที่ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตขึ้น โดยผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้ารับรองความถูกต้องของข้อความในฉลาก และในฉลากต้องแสดง

(ก) ชื่อทางการค้า และมีคำว่า ปุ๋ยชีวภาพ

(ข) เครื่องหมายการค้า หรือเครื่องหมายอื่นใดซึ่งแสดงที่ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ยชีวภาพ

(ค) ปริมาณจุลินทรีย์รับรอง

(ง) วิธีการเก็บรักษา

(จ) น้ำหนักสุทธิหรือขนาดบรรจุของปุ๋ยชีวภาพตามระบบเมตริก

(ฉ) วัสดุรองรับของปุ๋ยชีวภาพ

(ช) ชื่อผู้ผลิต และที่ตั้งสำนักงานและสถานที่ผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้า

(ซ) วันที่ผลิตและวันสิ้นอายุของปุ๋ยชีวภาพ

(ฌ) ข้อความอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดให้มีในฉลาก

(๕) จัดให้มีเอกสารกำกับปุ๋ยชีวภาพตามที่ขึ้นทะเบียนไว้ ทั้งนี้ ตามหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด

(๖) จัดให้มีคำชี้แจง วิธีใช้ และคำเตือน ตลอดจนการเก็บรักษาไว้ในเอกสารกำกับปุ๋ยชีวภาพ ในกรณีที่ปุ๋ยชีวภาพมีสารเป็นพิษผสมอยู่ด้วย

(๗) การอื่นตามที่รัฐมนตรีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ความใน (๔) และ (๕) ไม่ใช้บังคับแก่ผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้าซึ่งขายปุ๋ยชีวภาพที่ตนผลิตโดยมิได้บรรจุภาชนะหรือหีบห่อให้แก่ผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้ารายอื่น

มาตรา ๒๑/๒ ให้ผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้าปฏิบัติดังต่อไปนี้

(๑) จัดให้มีป้ายไว้ในที่เปิดเผยซึ่งเห็นได้ง่ายจากภายนอกอาคาร แสดงว่าเป็นสถานที่ผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้า ทั้งนี้ ลักษณะ ขนาดของป้าย และข้อความที่แสดงในป้ายให้เป็นไปตามที่อธิบดีกำหนด

(๒) แสดงใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ไว้ในที่เปิดเผยซึ่งเห็นได้ง่าย ณ ที่ทำการที่ระบุไว้ในใบอนุญาต

(๓) จัดให้มีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ทุกครั้งที่ผลิตขึ้นก่อนนำออกจากสถานที่ผลิต โดยมีหลักฐานแสดงรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ทุกครั้ง ซึ่งต้องเก็บรักษาไว้ไม่น้อยกว่าสิบปี

(๔) จัดให้มีฉลากภาษาไทยที่ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตขึ้นโดยผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้ารับรองความถูกต้องของข้อความในฉลาก และในฉลากต้องแสดง

(ก) ชื่อทางการค้า และมีคำว่า ปุ๋ยอินทรีย์

(ข) เครื่องหมายการค้า หรือเครื่องหมายอื่นใดซึ่งแสดงที่ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ยอินทรีย์

(ค) ปริมาณอินทรียวัตถุรับรอง

(ง) น้ำหนักสุทธิหรือขนาดบรรจุของปุ๋ยอินทรีย์ตามระบบเมตริก

(จ) ชื่อผู้ผลิต และที่ตั้งสำนักงานและสถานที่ผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้า

(ฉ) ข้อความอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดให้มีในฉลาก

(๕) จัดให้มีเอกสารกำกับปุ๋ยอินทรีย์ตามที่ขึ้นทะเบียนไว้ ทั้งนี้ ตามหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด

(๖) จัดให้มีคำชี้แจง วิธีใช้ และคำเตือน ตลอดจนการเก็บรักษาไว้ในเอกสารกำกับปุ๋ยอินทรีย์ในกรณีที่ปุ๋ยอินทรีย์มีสารเป็นพิษผสมอยู่ด้วย

(๗) การอื่นตามที่รัฐมนตรีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ความใน (๔) และ (๕) ไม่ใช้บังคับแก่ผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้าซึ่งขายปุ๋ยอินทรีย์ที่ตนผลิตโดยมิได้บรรจุภาชนะหรือหีบห่อให้แก่ผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้ารายอื่น"

มาตรา ๑๔ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๒๒ และมาตรา ๒๓ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๒๒ ให้ผู้รับใบอนุญาตขายปุ๋ยปฏิบัติดังต่อไปนี้

(๑) จัดให้มีป้ายไว้ในที่เปิดเผยซึ่งเห็นได้ง่ายจากภายนอกอาคารหรือสถานที่ทำการ แสดงว่าเป็นสถานที่ขายปุ๋ย ทั้งนี้ ลักษณะ ขนาดของป้าย และข้อความที่แสดงในป้าย ให้เป็นไปตามที่อธิบดีกำหนด

(๒) จัดให้มีการแยกเก็บปุ๋ยเป็นส่วนสัดต่างหากจากสิ่งบริโภคตามสมควร

(๓) รักษาฉลากที่ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ยและเอกสารกำกับปุ๋ยตามที่กำหนดไว้ในมาตรา ๒๑ (๔) (๕) และ (๖) มาตรา ๒๑/๑ (๔) (๕) และ (๖) มาตรา ๒๑/๒ (๔) (๕) และ (๖) หรือมาตรา ๒๓ (๕) และ (๖) แล้วแต่กรณี ให้คงอยู่โดยครบถ้วนและชัดเจน

(๔) ในกรณีที่ผู้ขายแบ่งปุ๋ยเคมีจากภาชนะหรือหีบห่อบรรจุเพื่อขายปลีก ผู้ขายต้องระบุปริมาณธาตุอาหารรับรองให้ตรงกับปุ๋ยเคมีที่แบ่งขายนั้น

(๕) รักษาภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ยให้คงอยู่ในสภาพเรียบร้อย ถ้าภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ยชำรุด ให้เปลี่ยนภาชนะหรือหีบห่อบรรจุได้ แต่ต้องจัดให้มีข้อความตรงกับภาชนะหรือหีบห่อบรรจุเดิมที่ชำรุด

(๖) การอื่นตามที่รัฐมนตรีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

มาตรา ๒๓ ให้ผู้รับใบอนุญาตนำเข้าปุ๋ยปฏิบัติดังต่อไปนี้

(๑) แจ้งการนำเข้าปุ๋ยแต่ละชนิดต่อพนักงานเจ้าหน้าที่ทุกครั้งที่นำเข้า ตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด

(๒) จัดให้มีป้ายไว้ในที่เปิดเผยซึ่งเห็นได้ง่ายจากภายนอกอาคารหรือสถานที่ทำการแสดงว่าเป็นสถานที่นำเข้าปุ๋ย ทั้งนี้ ลักษณะ ขนาดของป้าย และข้อความที่แสดงในป้าย ให้เป็นไปตามที่อธิบดีกำหนด

(๓) แสดงใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยไว้ในที่เปิดเผยซึ่งเห็นได้ง่าย ณ ที่ทำการที่ระบุไว้ในใบอนุญาต

(๔) จัดให้มีใบรับรองของผู้ผลิตปุ๋ยซึ่งแสดงรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ปุ๋ยทุกครั้งที่นำเข้าปุ๋ย

(๕) จัดให้มีฉลากภาษาไทยที่ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ยที่กำหนดไว้ในมาตรา ๒๑ (๔) มาตรา ๒๑/๑ (๔) หรือมาตรา ๒๑/๒ (๔) แล้วแต่กรณี

(๖) จัดให้มีเอกสารกำกับปุ๋ยตามที่ขึ้นทะเบียนไว้ ทั้งนี้ ตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด

(๗) การอื่นตามที่รัฐมนตรีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ความใน (๕) และ (๖) ไม่ใช้บังคับแก่ผู้นำเข้าปุ๋ยที่มิได้บรรจุภาชนะหรือหีบห่อ"

มาตรา ๑๕ ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นมาตรา ๒๓/๑ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘

"มาตรา ๒๓/๑ ให้ผู้รับใบอนุญาตส่งออกปุ๋ยปฏิบัติดังต่อไปนี้

(๑) แจ้งการส่งออกปุ๋ยแต่ละชนิดต่อพนักงานเจ้าหน้าที่ทุกครั้งที่ส่งออกปุ๋ย

(๒) จัดให้มีฉลากตามที่อธิบดีกำหนด

(๓) การอื่นตามที่รัฐมนตรีประกาศในราชกิจจานุเบกษา"

มาตรา ๑๖ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๒๕ และมาตรา ๒๖ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๒๕ ผู้รับใบอนุญาตต้องแสดงใบอนุญาตหรือใบแทนใบอนุญาตไว้ในที่เปิดเผยซึ่งเห็นได้ง่าย ณ สถานที่ผลิตปุ๋ยเพื่อการค้า สถานที่ขายปุ๋ย สถานที่นำเข้าปุ๋ยหรือสถานที่ส่งออกปุ๋ย แล้วแต่กรณี

มาตรา ๒๖ ผู้รับใบอนุญาตซึ่งประสงค์จะย้ายสถานที่ผลิตปุ๋ยเพื่อการค้า สถานที่ขายปุ๋ย สถานที่นำเข้าปุ๋ย สถานที่ส่งออกปุ๋ย หรือสถานที่เก็บปุ๋ย แล้วแต่กรณี ต้องแจ้งย้ายสถานที่ดังกล่าวเป็นหนังสือต่อพนักงานเจ้าหน้าที่ภายในสิบห้าวันนับแต่วันที่ย้าย"

มาตรา ๑๗ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๒๘ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๒๘ ผู้รับใบอนุญาตซึ่งได้แจ้งการเลิกกิจการ ต้องขายปุ๋ยของตนที่เหลืออยู่ให้หมดภายในกำหนดหกสิบวันนับแต่วันเลิกกิจการ เว้นแต่พนักงานเจ้าหน้าที่จะผ่อนผันขยายกำหนดเวลาดังกล่าวให้

เมื่อครบกำหนดเวลาตามวรรคหนึ่ง หากปรากฏว่าผู้รับใบอนุญาตซึ่งได้แจ้งการเลิกกิจการยังจัดการขายปุ๋ยที่เหลืออยู่ไม่หมด ให้พนักงานเจ้าหน้าที่นำปุ๋ยที่เหลืออยู่นั้นออกขายทอดตลาด หรือขายโดยวิธีอื่นใดตามที่อธิบดีเห็นสมควร เงินที่ได้จากการขายปุ๋ยดังกล่าวเมื่อได้หักค่าใช้จ่ายแล้ว ให้คืนแก่เจ้าของปุ๋ยหรือผู้ซึ่งมีสิทธิรับเงินนั้น"

มาตรา ๑๘ ให้ยกเลิกความซึ่งเป็นชื่อของหมวด ๔ และความในมาตรา ๓๐ และมาตรา ๓๑ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"หมวด ๔
การควบคุมปุ๋ย

มาตรา ๓๐ ห้ามมิให้ผู้ใดผลิตเพื่อการค้า ขาย หรือนำเข้าปุ๋ยดังต่อไปนี้

(๑) ปุ๋ยปลอม

(๒) ปุ๋ยเคมีผิดมาตรฐาน

(๓) ปุ๋ยเคมีเสื่อมคุณภาพ เว้นแต่กรณีตามมาตรา ๓๑

(๔) ปุ๋ยชีวภาพต่ำกว่าเกณฑ์ หรือปุ๋ยอินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์

(๕) ปุ๋ยที่ต้องขึ้นทะเบียน แต่มิได้ขึ้นทะเบียนไว้

(๖) ปุ๋ยที่รัฐมนตรีสั่งเพิกถอนทะเบียน

(๗) ปุ๋ยที่มีสารเป็นพิษเกินกว่าที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด

มาตรา ๓๑ ผู้รับใบอนุญาตผู้ใดมีปุ๋ยเคมีเสื่อมคุณภาพไว้ในครอบครองต้องแจ้งต่อพนักงานเจ้าหน้าที่ และหากประสงค์จะขายต้องขออนุญาตต่อพนักงานเจ้าหน้าที่และต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด"

มาตรา ๑๙ ให้ยกเลิกความใน (๕) ของมาตรา ๓๒ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"(๕) ปุ๋ยเคมีที่ผลิตขึ้นโดยมีปริมาณธาตุอาหารรับรองธาตุใดธาตุหนึ่งต่ำกว่าร้อยละสิบตามที่ขึ้นทะเบียนไว้หรือที่ระบุไว้ในฉลาก"

มาตรา ๒๐ ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นมาตรา ๓๒/๑ และมาตรา ๓๒/๒ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘

"มาตรา ๓๒/๑ ปุ๋ยชีวภาพที่มีลักษณะดังต่อไปนี้ ให้ถือว่าเป็นปุ๋ยชีวภาพปลอม

(๑) ปุ๋ยชีวภาพที่แสดงชื่อหรือเครื่องหมายการค้าของผู้ผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้าหรือที่ตั้งสถานที่ผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้า ซึ่งไม่ตรงกับความจริง

(๒) ปุ๋ยชีวภาพที่แสดงว่าเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ขึ้นทะเบียนไว้ ซึ่งไม่ตรงกับความจริง

(๓) ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตขึ้นโดยมีชนิดของจุลินทรีย์ไม่ตรงตามที่ขึ้นทะเบียนไว้หรือที่ระบุไว้ในฉลาก

มาตรา ๓๒/๒ ปุ๋ยอินทรีย์หรือวัตถุที่มีลักษณะดังต่อไปนี้ ให้ถือว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ปลอม

(๑) วัตถุที่ทำเทียมทั้งหมดหรือแต่บางส่วนเพื่อให้ผู้อื่นหลงเชื่อหรือสำคัญผิดว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์

(๒) ปุ๋ยอินทรีย์ที่แสดงชื่อว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์อื่น ซึ่งไม่ตรงกับความจริง

(๓) ปุ๋ยอินทรีย์ที่แสดงชื่อหรือเครื่องหมายการค้าของผู้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้าหรือที่ตั้งสถานที่ผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้า ซึ่งไม่ตรงกับความจริง

(๔) ปุ๋ยอินทรีย์ที่แสดงว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ขึ้นทะเบียนไว้ ซึ่งไม่ตรงกับความจริง

(๕) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตขึ้นโดยมีปริมาณอินทรียวัตถุรับรองต่ำกว่าร้อยละสิบตามที่ขึ้นทะเบียนไว้หรือที่ระบุไว้ในฉลาก"

มาตรา ๒๑ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๓๓ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๓๓ ปุ๋ยเคมีที่มีลักษณะดังต่อไปนี้ ให้ถือว่าเป็นปุ๋ยเคมีผิดมาตรฐาน

(๑) ปุ๋ยเคมีที่ผลิตขึ้นโดยมีปริมาณธาตุอาหารรับรองธาตุใดธาตุหนึ่งต่ำกว่าที่ขึ้นทะเบียนไว้หรือตามเกณฑ์ของปุ๋ยเคมีมาตรฐาน แต่ไม่ถึงขนาดเป็นปุ๋ยเคมีปลอมตามมาตรา ๓๒ (๕)

(๒) ปุ๋ยเคมีที่ผลิตขึ้นโดยมีความบริสุทธิ์หรือมีลักษณะอย่างอื่นที่สำคัญต่อคุณภาพของปุ๋ยเคมีผิดไปจากเกณฑ์ที่ขึ้นทะเบียนไว้หรือผิดไปจากเกณฑ์ของปุ๋ยเคมีมาตรฐาน

(๓) ปุ๋ยอินทรีย์เคมีที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่าที่ขึ้นทะเบียนไว้หรือที่ระบุไว้ในฉลาก"

มาตรา ๒๒ ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นมาตรา ๓๓/๑ และมาตรา ๓๓/๒ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘

"มาตรา ๓๓/๑ ปุ๋ยชีวภาพที่มีลักษณะดังต่อไปนี้ ให้ถือว่าเป็นปุ๋ยชีวภาพต่ำกว่าเกณฑ์

(๑) ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตขึ้นโดยมีปริมาณจุลินทรีย์รับรองชนิดใดชนิดหนึ่งต่ำกว่าที่ได้ขึ้นทะเบียนไว้หรือที่ระบุไว้ในฉลาก

(๒) ปุ๋ยชีวภาพที่สิ้นอายุ

มาตรา ๓๓/๒ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ ให้อธิบดีโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ยมีอำนาจกำหนดเกณฑ์เกี่ยวกับปริมาณอินทรียวัตถุอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน หรือลักษณะจำเป็นอย่างอื่นของปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีลักษณะดังต่อไปนี้ ให้ถือว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์

(๑) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่อธิบดีกำหนดไว้ในวรรคหนึ่ง

(๒) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตขึ้นโดยมีปริมาณอินทรียวัตถุรับรองต่ำกว่าที่ขึ้นทะเบียนไว้หรือที่ระบุไว้ในฉลาก แต่ไม่ถึงขนาดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ปลอมตามมาตรา ๓๒/๒ (๕)"

มาตรา ๒๓ ให้ยกเลิกความซึ่งเป็นชื่อของหมวด ๕ และความในมาตรา ๓๔ มาตรา ๓๕ และมาตรา ๓๖ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"หมวด ๕
การประกาศ การขึ้นทะเบียน และการโฆษณาเกี่ยวกับปุ๋ย

มาตรา ๓๔ ให้รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการปุ๋ยมีอำนาจประกาศในราชกิจจานุเบกษา ดังต่อไปนี้

(๑) ปุ๋ยเคมีมาตรฐาน โดยกำหนด เปลี่ยนแปลง หรือยกเลิกสูตร ปริมาณขั้นต่ำหรือขั้นสูงของปริมาณธาตุอาหารรับรองหรือสารเป็นพิษที่ให้มีในปุ๋ยเคมีได้ และลักษณะจำเป็นอย่างอื่นของปุ๋ยเคมีมาตรฐานแต่ละชนิด ทั้งนี้ ให้การกำหนด เปลี่ยนแปลง หรือยกเลิกดังกล่าวข้างต้นมีผลใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดสามสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษา

(๒) วัตถุที่ใช้ทำเป็นภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ย รวมทั้งวิธีปิดผนึกหรือเย็บภาชนะหรือหีบห่อดังกล่าวข้างต้น

(๓) กำหนดน้ำหนักสุทธิหรือขนาดบรรจุในภาชนะหรือหีบห่อเพื่อการค้าของปุ๋ย

(๔) กำหนดกรรมวิธีการตรวจวิเคราะห์และเกณฑ์คลาดเคลื่อนสำหรับการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างปุ๋ย

(๕) กำหนดปุ๋ยที่ได้รับการยกเว้นไม่ต้องขึ้นทะเบียน โดยให้ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย

(๖) กำหนดปริมาณขั้นสูงของสารเป็นพิษที่ให้มีในปุ๋ยนอกจากปุ๋ยเคมีมาตรฐาน

(๗) กำหนดปุ๋ยชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้รับการยกเว้นไม่ต้องขออนุญาตในการผลิตเพื่อการค้า ขาย โดยให้ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย

(๘) ห้ามส่งออกปุ๋ยชนิดใด ๆ ในกรณีที่มีความจำเป็นเพื่อป้องกันและแก้ไขการขาดแคลนปุ๋ย

มาตรา ๓๕ ผู้รับใบอนุญาตผลิตปุ๋ยเพื่อการค้าหรือผู้รับใบอนุญาตนำเข้าปุ๋ยผู้ใดประสงค์จะผลิตหรือนำเข้าปุ๋ยชนิดอื่นใด นอกจากปุ๋ยเคมีมาตรฐานและปุ๋ยที่รัฐมนตรีกำหนดตามมาตรา ๓๔ (๕) ต้องนำปุ๋ยชนิดนั้นมาขอขึ้นทะเบียนต่อพนักงานเจ้าหน้าที่เสียก่อนและเมื่อได้รับใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยแล้ว จึงจะผลิตหรือนำเข้าปุ๋ยนั้นได้

มาตรา ๓๖ ผู้ขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยเคมีตามมาตรา ๓๕ ต้องส่งตัวอย่างปุ๋ยเคมีที่ขอขึ้นทะเบียนพร้อมทั้งแจ้งรายละเอียด ดังต่อไปนี้

(๑) ชื่อปุ๋ยเคมี

(๒) วัตถุอันเป็นส่วนประกอบของปุ๋ยเคมี

(๓) ปริมาณธาตุอาหารรับรอง

(๔) ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริม ต้องแจ้งชนิดและปริมาณธาตุอาหารดังกล่าว

(๕) น้ำหนักสุทธิหรือขนาดบรรจุและภาชนะหรือหีบห่อบรรจุ

(๖) ชื่อผู้ผลิตและสถานที่ผลิตปุ๋ยเคมี

(๗) วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยเคมี

(๘) วิธีการผลิตปุ๋ยเคมีโดยย่อ

(๙) ฉลาก

(๑๐) เอกสารกำกับปุ๋ยเคมี

(๑๑) รายงานการวิเคราะห์ปุ๋ยเคมีของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยของทางราชการหรือห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยอื่นที่อธิบดีกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย

(๑๒) รายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติและสรรพคุณ"

มาตรา ๒๔ ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นมาตรา ๓๖/๑ และมาตรา ๓๖/๒ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘

"มาตรา ๓๖/๑ ผู้ขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพตามมาตรา ๓๕ ต้องส่งตัวอย่างปุ๋ยชีวภาพที่ขอขึ้นทะเบียนพร้อมทั้งแจ้งรายละเอียด ดังต่อไปนี้

(๑) ประเภทหรือชนิดของปุ๋ยชีวภาพ

(๒) วัสดุรองรับของปุ๋ยชีวภาพ

(๓) ชนิดของจุลินทรีย์และปริมาณจุลินทรีย์รับรอง

(๔) น้ำหนักสุทธิหรือขนาดบรรจุและภาชนะหรือหีบห่อบรรจุ

(๕) ชื่อผู้ผลิตและสถานที่ผลิตปุ๋ยชีวภาพ

(๖) วิธีตรวจวิเคราะห์

(๗) วิธีการผลิตปุ๋ยชีวภาพโดยย่อ

(๘) ฉลาก

(๙) เอกสารกำกับปุ๋ยชีวภาพ

(๑๐) รายงานการวิเคราะห์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยของทางราชการ หรือห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยอื่นที่อธิบดีกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย

(๑๑) รายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติและสรรพคุณ

มาตรา ๓๖/๒ ผู้ขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรา ๓๕ ต้องส่งตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ขอขึ้นทะเบียนพร้อมทั้งแจ้งรายละเอียด ดังต่อไปนี้

(๑) ประเภทหรือชนิดของปุ๋ยอินทรีย์

(๒) วัตถุอันเป็นส่วนประกอบหลักของปุ๋ยอินทรีย์

(๓) ปริมาณอินทรียวัตถุรับรอง

(๔) น้ำหนักสุทธิหรือขนาดบรรจุและภาชนะหรือหีบห่อบรรจุ

(๕) ชื่อผู้ผลิตและสถานที่ผลิตปุ๋ยอินทรีย์

(๖) วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

(๗) วิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยย่อ

(๘) ฉลาก

(๙) เอกสารกำกับปุ๋ยอินทรีย์

(๑๐) รายงานการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยของทางราชการหรือห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ปุ๋ยอื่นที่อธิบดีกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย

(๑๑) รายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติและสรรพคุณ"

มาตรา ๒๕ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๓๗ และมาตรา ๓๘ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๓๗ การแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยจะกระทำได้เมื่อได้รับอนุญาตจากพนักงานเจ้าหน้าที่

มาตรา ๓๘ การขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียน หรือการแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ย ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย"

มาตรา ๒๖ ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นมาตรา ๓๘/๑ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘

"มาตรา ๓๘/๑ ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ปุ๋ย ให้ชำระตามอัตรา วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด"

มาตรา ๒๗ ให้ยกเลิกความในวรรคหนึ่งของมาตรา ๓๙ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๓๙ ห้ามมิให้พนักงานเจ้าหน้าที่รับขึ้นทะเบียนปุ๋ย เมื่อคณะกรรมการปุ๋ย เห็นว่า

(๑) รายละเอียดในการขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ในมาตรา ๓๖ มาตรา ๓๖/๑ หรือมาตรา ๓๖/๒ แล้วแต่กรณี หรือการขอแก้ไขรายการทะเบียนไม่ถูกต้องตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนดตามมาตรา ๓๘

(๒) เป็นปุ๋ยปลอม

(๓) เป็นปุ๋ยที่มีสารเป็นพิษ หรือที่มีจุลินทรีย์ที่ผลิตสารเป็นพิษหรือจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคเกินกว่าที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด

(๔) เป็นปุ๋ยที่ใช้ชื่อทำนองโอ้อวด ไม่สุภาพ หรืออาจทำให้เข้าใจผิดจากความจริง

(๕) ปุ๋ยที่ขอขึ้นทะเบียนนั้นไม่สามารถเชื่อถือในสรรพคุณได้

(๖) เป็นปุ๋ยที่รัฐมนตรีสั่งเพิกถอนทะเบียน เว้นแต่ระยะเวลาได้ล่วงพ้นไปแล้วไม่น้อยกว่าสามปีนับแต่วันที่ถูกสั่งเพิกถอนทะเบียน"

มาตรา ๒๘ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๔๐ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๔๐ ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ย ให้มีอายุห้าปีนับแต่วันออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน และสามารถต่ออายุได้ครั้งละห้าปี

ถ้าผู้รับใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยประสงค์จะขอต่ออายุใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ย จะต้องยื่นคำขอก่อนใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยนั้นสิ้นอายุ เมื่อได้ยื่นคำขอดังกล่าวแล้วให้ดำเนินการต่อไปได้จนกว่าพนักงานเจ้าหน้าที่จะสั่งไม่อนุญาตให้ต่ออายุ

การขอต่ออายุใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยและการอนุญาตให้ต่ออายุ ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด"

มาตรา ๒๙ ให้ยกเลิกความในวรรคหนึ่งของมาตรา ๔๑ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๔๑ ปุ๋ยที่ได้ขึ้นทะเบียนไว้แล้ว หากภายหลังปรากฏว่าปุ๋ยนั้นอาจไม่ปลอดภัยแก่ผู้ใช้ หรือเป็นปุ๋ยปลอม ปุ๋ยเคมีผิดมาตรฐาน ปุ๋ยชีวภาพต่ำกว่าเกณฑ์หรือปุ๋ยอินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์ ให้รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการปุ๋ยมีอำนาจสั่งเพิกถอนทะเบียนปุ๋ยนั้นได้ คำสั่งเพิกถอนทะเบียนปุ๋ยนั้น ให้แจ้งเป็นหนังสือให้ผู้ถูกสั่งเพิกถอนทะเบียนปุ๋ยทราบ และประกาศในราชกิจจานุเบกษา ผู้ถูกสั่งเพิกถอนทะเบียนปุ๋ยต้องส่งใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยนั้นต่อพนักงานเจ้าหน้าที่ภายในสิบห้าวันนับแต่วันที่ได้รับคำสั่งเพิกถอนทะเบียนปุ๋ย"

มาตรา ๓๐ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๔๒ มาตรา ๔๓ และมาตรา ๔๔ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๔๒ กรณีใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยสูญหายหรือถูกทำลายในสาระสำคัญ ให้ผู้รับใบอนุญาตแจ้งต่อพนักงานเจ้าหน้าที่และยื่นคำขอรับใบแทนใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยภายในสิบห้าวันนับแต่วันที่ทราบถึงการสูญหายหรือถูกทำลายดังกล่าว

การขอรับใบแทนใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยและการออกใบแทนใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ย ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด

มาตรา ๔๓ ผู้โฆษณาขายปุ๋ยจะต้อง

(๑) ไม่แสดงสรรพคุณปุ๋ยเป็นเท็จหรือเกินความจริง

(๒) ไม่ทำให้เข้าใจว่ามีวัตถุใดเป็นตัวปุ๋ยหรือเป็นส่วนประกอบของปุ๋ย ซึ่งความจริงไม่มีวัตถุหรือส่วนประกอบนั้นในปุ๋ย หรือมีแต่ไม่เท่าที่ทำให้เข้าใจ

(๓) ไม่มีการรับรองหรือยกย่องสรรพคุณปุ๋ยโดยบุคคลอื่น

มาตรา ๔๔ ในการปฏิบัติหน้าที่ตามพระราชบัญญัตินี้ พนักงานเจ้าหน้าที่มีอำนาจ

(๑) เข้าไปในสถานที่ผลิตปุ๋ยเพื่อการค้า สถานที่ขายปุ๋ย สถานที่นำเข้าปุ๋ย สถานที่ส่งออกปุ๋ย หรือสถานที่เก็บปุ๋ย ในระหว่างเวลาพระอาทิตย์ขึ้นจนถึงพระอาทิตย์ตกหรือในเวลาทำการของสถานที่นั้น เพื่อตรวจสอบควบคุมให้เป็นไปตามพระราชบัญญัตินี้

(๒) ค้นสถานที่หรือยานพาหนะใด ๆ ในระหว่างเวลาพระอาทิตย์ขึ้นถึงพระอาทิตย์ตกหรือในเวลาทำการ ในกรณีที่มีเหตุอันควรสงสัยว่ามีการกระทำความผิดตามพระราชบัญญัตินี้ เพื่อตรวจค้นปุ๋ย และอาจยึดหรืออายัดปุ๋ย ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุเครื่องมือ เครื่องใช้ หรือเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการกระทำความผิด

(๓) นำปุ๋ยหรือวัตถุที่สงสัยว่าเป็นปุ๋ยในปริมาณพอสมควรไปเป็นตัวอย่างเพื่อตรวจสอบหรือวิเคราะห์ ทั้งนี้ ให้ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ และวิธีการที่อธิบดีกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการปุ๋ย

ในการปฏิบัติหน้าที่ของพนักงานเจ้าหน้าที่ตามวรรคหนึ่ง ให้ผู้รับใบอนุญาตและผู้ซึ่งเกี่ยวข้องอำนวยความสะดวกตามสมควร"

มาตรา ๓๑ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๔๖ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๔๖ ปุ๋ยรวมทั้งภาชนะหรือหีบห่อบรรจุ เครื่องมือ เครื่องใช้ และเอกสารที่ได้ยึดหรืออายัดไว้ตามมาตรา ๔๔ ถ้าไม่ปรากฏเจ้าของหรือผู้ครอบครอง หรือพนักงานอัยการสั่งเด็ดขาดไม่ฟ้องคดี หรือศาลโดยคำพิพากษาถึงที่สุดไม่พิพากษาให้ริบ และผู้เป็นเจ้าของหรือผู้ครอบครองมิได้ร้องขอรับคืนภายในเก้าสิบวันนับแต่วันที่ยึดหรืออายัดหรือวันที่ทราบคำสั่งเด็ดขาดไม่ฟ้องคดี หรือวันที่ศาลพิพากษาถึงที่สุดไม่พิพากษาให้ริบ แล้วแต่กรณี ให้ตกเป็นของกรมวิชาการเกษตรเพื่อจัดการตามที่เห็นสมควร

ถ้าสิ่งที่ยึดหรืออายัดไว้นั้นเป็นของเสียง่าย หรือถ้าหน่วงช้าไว้จะเป็นการเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายหรือจะเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาเกินราคาตลาดของปุ๋ย พนักงานเจ้าหน้าที่โดยอนุมัติของอธิบดีจะจัดการขายทอดตลาดปุ๋ยนั้น รวมทั้งภาชนะหรือหีบห่อบรรจุ เครื่องมือ เครื่องใช้ หรือเอกสารเสียก่อนถึงกำหนดก็ได้ ได้เงินจำนวนสุทธิเท่าใดให้ยึดเงินนั้นไว้แทน"

มาตรา ๓๒ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๔๘ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๔๘ ในกรณีที่ผู้รับใบอนุญาตปฏิบัติการไม่ถูกต้องเกี่ยวกับฉลาก ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ย หรืออื่น ๆ ที่ผู้รับใบอนุญาตพึงปฏิบัติตามพระราชบัญญัตินี้ ให้พนักงานเจ้าหน้าที่ส่งคำเตือนเป็นหนังสือให้ผู้รับใบอนุญาตปฏิบัติการให้เป็นไปตามคำเตือนนั้นให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลาที่กำหนดในคำเตือนนั้น เมื่อพ้นระยะเวลาดังกล่าวแล้วหากไม่ปฏิบัติตามคำเตือนให้พนักงานเจ้าหน้าที่ดำเนินการเกี่ยวกับการกระทำอันเป็นความผิดตามพระราชบัญญัตินี้ต่อไป"

มาตรา ๓๓ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๕๑ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๕๑ คำสั่งพักใช้ใบอนุญาตและคำสั่งเพิกถอนใบอนุญาต ให้แจ้งเป็นหนังสือให้ผู้รับใบอนุญาตทราบ"

มาตรา ๓๔ ให้ยกเลิกความในมาตรา ๕๔ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"มาตรา ๕๔ ผู้ถูกเพิกถอนใบอนุญาตต้องขายปุ๋ยของตนที่เหลือให้หมดภายในกำหนดหกสิบวันนับแต่วันที่ได้ทราบคำสั่งเพิกถอนใบอนุญาตหรือวันที่ได้ทราบคำวินิจฉัยของรัฐมนตรี เว้นแต่พนักงานเจ้าหน้าที่จะผ่อนผันขยายกำหนดเวลาดังกล่าวให้

เมื่อครบกำหนดเวลาตามวรรคหนึ่ง หากปรากฏว่าผู้ถูกสั่งเพิกถอนใบอนุญาตยังจัดการขายปุ๋ยที่เหลืออยู่ไม่หมด ให้พนักงานเจ้าหน้าที่นำปุ๋ยที่เหลืออยู่นั้นออกขายทอดตลาดหรือขายโดยวิธีอื่นใดตามที่อธิบดีเห็นสมควร เงินที่ได้จากการขายปุ๋ยดังกล่าวเมื่อได้หักค่าใช้จ่ายแล้วให้คืนแก่เจ้าของปุ๋ยหรือผู้ซึ่งมีสิทธิรับเงินนั้น"

มาตรา ๓๕ ให้ยกเลิกหมวด ๘ ปุ๋ยอินทรีย์ มาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘

มาตรา ๓๖ ให้ยกเลิกความในหมวด ๙ บทกำหนดโทษ มาตรา ๕๖ ถึงมาตรา ๗๒ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"หมวด ๙
บทกำหนดโทษ

มาตรา ๕๖ ผู้ใดไม่ปฏิบัติตามคำสั่งของคณะกรรมการปุ๋ยตามมาตรา ๑๑ หรือขัดขวางหรือไม่อำนวยความสะดวกแก่พนักงานเจ้าหน้าที่ซึ่งปฏิบัติหน้าที่ตามมาตรา ๔๔ ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน และปรับไม่เกินสองหมื่นบาท

มาตรา ๕๗ ผู้ใดฝ่าฝืนมาตรา ๑๒ วรรคหนึ่ง ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินห้าปีหรือปรับไม่เกินสองแสนบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

มาตรา ๕๘ ผู้ใดฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนดตามมาตรา ๑๔ หรือมาตรา ๓๔ (๕) หรือ (๗) ต้องระวางโทษปรับไม่เกินห้าหมื่นบาท

มาตรา ๕๙ ผู้รับใบอนุญาตผู้ใดฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามมาตรา ๒๐ (๑) มาตรา ๒๖ หรือมาตรา ๒๗ หรือไม่ปฏิบัติตามคำเตือนของพนักงานเจ้าหน้าที่ตามมาตรา ๔๘ ต้องระวางโทษปรับตั้งแต่สี่พันบาทถึงสองหมื่นบาท

มาตรา ๖๐ ผู้รับใบอนุญาตผู้ใดผลิตหรือนำเข้าปุ๋ยเคมีโดยฝ่าฝืนมาตรา ๒๐ (๒) หรือไม่ปฏิบัติตามมาตรา ๒๑ ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินสองปี หรือปรับตั้งแต่แปดพันบาทถึงสี่หมื่นบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

ผู้รับใบอนุญาตขายปุ๋ยเคมี ผู้รับใบอนุญาตนำเข้าปุ๋ยเคมี หรือผู้รับใบอนุญาตส่งออกปุ๋ยเคมีผู้ใดไม่ปฏิบัติตามมาตรา ๒๒ มาตรา ๒๓ หรือมาตรา ๒๓/๑ ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินสองปี หรือปรับตั้งแต่สี่พันบาทถึงสองหมื่นบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

มาตรา ๖๑ ผู้รับใบอนุญาตผู้ใดไม่ปฏิบัติตามมาตรา ๒๑/๑ ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหนึ่งปี หรือปรับตั้งแต่สี่พันบาทถึงสองหมื่นบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

ผู้รับใบอนุญาตผู้ใดไม่ปฏิบัติตามมาตรา ๒๑/๒ ต้องระวางโทษกึ่งหนึ่งของโทษที่กำหนดตามวรรคหนึ่ง

มาตรา ๖๒ ผู้รับใบอนุญาตผู้ใดไม่ปฏิบัติตามมาตรา ๒๔ วรรคหนึ่ง มาตรา ๒๕ หรือมาตรา ๔๒ วรรคหนึ่ง ต้องระวางโทษปรับไม่เกินสี่พันบาท

มาตรา ๖๓ ผู้ใดผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้าโดยฝ่าฝืนมาตรา ๓๐ (๑) ต้องระวางโทษจำคุกตั้งแต่ห้าปีถึงสิบห้าปี และปรับตั้งแต่สองแสนบาทถึงสองล้านบาท

ถ้าผู้กระทำการตามวรรคหนึ่งกระทำโดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยเคมีปลอม ต้องระวางโทษปรับตั้งแต่หนึ่งแสนห้าหมื่นบาทถึงหนึ่งล้านห้าแสนบาท

มาตรา ๖๔ ผู้ใดขายหรือนำเข้าปุ๋ยเคมีโดยฝ่าฝืนมาตรา ๓๐ (๑) ต้องระวางโทษจำคุกตั้งแต่สามปีถึงสิบปี และปรับตั้งแต่หนึ่งแสนสองหมื่นบาทถึงสี่แสนบาท

ถ้าผู้กระทำการตามวรรคหนึ่งกระทำโดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยเคมีปลอม ต้องระวางโทษปรับตั้งแต่แปดพันบาทถึงแปดหมื่นบาท

มาตรา ๖๕ ผู้ใดผลิตเพื่อการค้า ขาย หรือนำเข้าปุ๋ยชีวภาพโดยฝ่าฝืนมาตรา ๓๐ (๑) (๕) (๖) หรือ (๗) โดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยชีวภาพปลอม ปุ๋ยชีวภาพที่ต้องขึ้นทะเบียนแต่มิได้ขึ้นทะเบียน ปุ๋ยชีวภาพที่รัฐมนตรีสั่งเพิกถอนทะเบียน หรือปุ๋ยชีวภาพที่มีสารเป็นพิษเกินกว่าที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด ต้องระวางโทษกึ่งหนึ่งของโทษที่กำหนดตามมาตรา ๖๓ วรรคสอง หรือมาตรา ๖๔ วรรคสอง มาตรา ๖๖ วรรคสอง มาตรา ๖๗ วรรคสอง มาตรา ๗๑ วรรคสอง หรือมาตรา ๗๒ วรรคสอง แล้วแต่กรณี

ผู้ใดผลิตเพื่อการค้า ขาย หรือนำเข้าปุ๋ยอินทรีย์โดยฝ่าฝืนมาตรา ๓๐ (๑) (๕) (๖) หรือ (๗) โดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ปลอม ปุ๋ยอินทรีย์ที่ต้องขึ้นทะเบียนแต่มิได้ขึ้นทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ที่รัฐมนตรีสั่งเพิกถอนทะเบียน หรือปุ๋ยอินทรีย์ที่มีสารเป็นพิษเกินกว่าที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด ต้องระวางโทษหนึ่งในสี่ของโทษที่กำหนดตามมาตรา ๖๓ วรรคสอง หรือมาตรา ๖๔ วรรคสอง มาตรา ๖๖ วรรคสอง มาตรา ๖๗ วรรคสอง มาตรา ๗๑ วรรคสอง หรือมาตรา ๗๒ วรรคสอง แล้วแต่กรณี

มาตรา ๖๖ ผู้ใดผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้าโดยฝ่าฝืนมาตรา ๓๐ (๒) (๖) หรือ (๗) ต้องระวางโทษจำคุกตั้งแต่สองปีถึงห้าปี และปรับตั้งแต่แปดหมื่นบาทถึงสองแสนบาท

ถ้าผู้กระทำการตามวรรคหนึ่งกระทำโดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยเคมีผิดมาตรฐานปุ๋ยที่รัฐมนตรีสั่งเพิกถอนทะเบียน หรือปุ๋ยเคมีที่มีสารเป็นพิษเกินกว่าที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด ต้องระวางโทษปรับตั้งแต่หกหมื่นบาทถึงหนึ่งแสนห้าหมื่นบาท

มาตรา ๖๗ ผู้ใดขายหรือนำเข้าปุ๋ยเคมีโดยฝ่าฝืนมาตรา ๓๐ (๒) (๖) หรือ (๗) ต้องระวางโทษจำคุกตั้งแต่หกเดือนถึงสามปี และปรับตั้งแต่สี่หมื่นบาทถึงสองแสนบาท

ถ้าผู้กระทำการตามวรรคหนึ่งกระทำโดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยเคมีผิดมาตรฐานปุ๋ยที่รัฐมนตรีสั่งเพิกถอนทะเบียน หรือปุ๋ยเคมีที่มีสารเป็นพิษเกินกว่าที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดต้องระวางโทษปรับตั้งแต่สี่พันบาทถึงสี่หมื่นบาท

มาตรา ๖๘ ผู้ใดขายหรือนำเข้าปุ๋ยเคมีโดยฝ่าฝืนมาตรา ๓๐ (๓) หรือไม่ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนดตามมาตรา ๓๑ ต้องระวางโทษจำคุกตั้งแต่หกเดือนถึงสองปี หรือปรับตั้งแต่สองหมื่นบาทถึงแปดหมื่นบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

มาตรา ๖๙ ผู้ใดผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้าโดยฝ่าฝืนมาตรา ๓๐ (๔) ต้องระวางโทษจำคุกตั้งแต่หนึ่งปีถึงสองปีหกเดือน และปรับตั้งแต่สี่หมื่นบาทถึงหนึ่งแสนบาท

ถ้าวัตถุแห่งการกระทำความผิดตามวรรคหนึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ผู้กระทำต้องระวางโทษกึ่งหนึ่งของโทษที่กำหนดตามวรรคหนึ่ง

ถ้าผู้กระทำการตามวรรคหนึ่งกระทำโดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยชีวภาพต่ำกว่าเกณฑ์ต้องระวางโทษปรับตั้งแต่สามหมื่นบาทถึงเจ็ดหมื่นห้าพันบาท

ถ้าผู้กระทำการตามวรรคสองกระทำโดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์ต้องระวางโทษกึ่งหนึ่งของโทษที่กำหนดตามวรรคสาม

มาตรา ๗๐ ผู้ใดขายหรือนำเข้าปุ๋ยชีวภาพโดยฝ่าฝืนมาตรา ๓๐ (๔) ต้องระวางโทษจำคุกตั้งแต่สามเดือนถึงหนึ่งปีหกเดือน และปรับตั้งแต่สองหมื่นบาทถึงหนึ่งแสนบาท

ถ้าวัตถุแห่งการกระทำความผิดตามวรรคหนึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ผู้กระทำต้องระวางโทษกึ่งหนึ่งของโทษที่กำหนดตามวรรคหนึ่ง

ถ้าผู้กระทำการตามวรรคหนึ่งกระทำโดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยชีวภาพต่ำกว่าเกณฑ์ต้องระวางโทษปรับตั้งแต่สองพันบาทถึงหนึ่งแสนบาท

ถ้าผู้กระทำการตามวรรคสองกระทำโดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์ต้องระวางโทษกึ่งหนึ่งของโทษที่กำหนดตามวรรคสาม

มาตรา ๗๑ ผู้ใดผลิตเพื่อการค้าหรือนำเข้าปุ๋ยเคมีโดยฝ่าฝืนมาตรา ๓๐ (๕) ต้องระวางโทษจำคุกตั้งแต่หนึ่งปีถึงห้าปี และปรับตั้งแต่สี่หมื่นบาทถึงสองแสนบาท

ถ้าผู้กระทำการตามวรรคหนึ่งกระทำโดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยเคมีที่ต้องขึ้นทะเบียนแต่มิได้ขึ้นทะเบียน ต้องระวางโทษปรับตั้งแต่สามหมื่นบาทถึงหนึ่งแสนห้าหมื่นบาท

มาตรา ๗๒ ผู้ใดขายปุ๋ยเคมีโดยฝ่าฝืนมาตรา ๓๐ (๕) ต้องระวางโทษจำคุกตั้งแต่หกเดือนถึงสามปี และปรับตั้งแต่สองหมื่นบาทถึงหนึ่งแสนสองหมื่นบาท

ถ้าผู้กระทำการตามวรรคหนึ่งกระทำโดยไม่รู้ว่าเป็นปุ๋ยเคมีที่ต้องขึ้นทะเบียนแต่มิได้ขึ้นทะเบียน ต้องระวางโทษปรับตั้งแต่สี่พันบาทถึงสี่หมื่นบาท

มาตรา ๗๒/๑ ผู้ใดโฆษณาขายปุ๋ยโดยฝ่าฝืนมาตรา ๔๓ ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินสี่หมื่นบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

มาตรา ๗๒/๒ ผู้รับใบอนุญาตผู้ใดผลิต ขาย หรือนำเข้าปุ๋ยภายหลังที่ใบอนุญาตสิ้นอายุแล้วโดยมิได้ยื่นคำขอต่ออายุใบอนุญาต ต้องระวางโทษปรับวันละไม่เกินสี่ร้อยบาทตลอดเวลาที่ใบอนุญาตสิ้นอายุ

มาตรา ๗๒/๓ บรรดาความผิดกรณีไม่ปฏิบัติตามมาตรา ๒๒ มาตรา ๒๓ หรือมาตรา ๒๓/๑ หากผู้กระทำความผิดนั้นเป็นผู้รับใบอนุญาตเกี่ยวกับปุ๋ยชีวภาพ ต้องระวางโทษกึ่งหนึ่งของโทษที่กำหนดตามมาตรา ๖๐ วรรคสอง

ในกรณีที่ผู้กระทำความผิดตามวรรคหนึ่ง เป็นผู้รับใบอนุญาตเกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์ต้องระวางโทษหนึ่งในสี่ของโทษที่กำหนดตามมาตรา ๖๐ วรรคสอง

มาตรา ๗๒/๔ บรรดาความผิดกรณีฝ่าฝืนมาตรา ๒๐ (๒) หรือมาตรา ๓๐ (๑) (๕) (๖) หรือ (๗) หากวัตถุแห่งการกระทำความผิดเป็นปุ๋ยชีวภาพ ผู้กระทำความผิดต้องระวางโทษกึ่งหนึ่งของโทษที่กำหนดตามมาตรา ๖๐ มาตรา ๖๓ วรรคหนึ่ง มาตรา ๖๔ วรรคหนึ่ง มาตรา ๖๖ วรรคหนึ่ง มาตรา ๖๗ วรรคหนึ่ง มาตรา ๗๑ วรรคหนึ่ง หรือมาตรา ๗๒ วรรคหนึ่ง แล้วแต่กรณี

ในกรณีที่วัตถุแห่งการกระทำความผิดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ผู้กระทำความผิดต้องระวางโทษหนึ่งในสี่ของโทษที่กำหนดตามมาตรา ๖๐ มาตรา ๖๓ วรรคหนึ่ง มาตรา ๖๔ วรรคหนึ่ง มาตรา ๖๖ วรรคหนึ่ง มาตรา ๖๗ วรรคหนึ่ง มาตรา ๗๑ วรรคหนึ่ง หรือมาตรา ๗๒ วรรคหนึ่ง แล้วแต่กรณี

มาตรา ๗๒/๕ ในกรณีที่ผู้กระทำความผิดซึ่งต้องรับโทษตามพระราชบัญญัตินี้เป็นนิติบุคคล เว้นแต่กรณีตามมาตรา ๗๒/๒ ให้กรรมการผู้จัดการ หุ้นส่วนผู้จัดการ ผู้แทนนิติบุคคล หรือผู้ซึ่งรับผิดชอบในการดำเนินการของนิติบุคคลนั้น ต้องรับโทษตามที่กฎหมายกำหนดไว้สำหรับความผิดนั้น ๆ ด้วย เว้นแต่จะพิสูจน์ได้ว่าตนมิได้มีส่วนในการกระทำความผิดของนิติบุคคลนั้น

มาตรา ๗๒/๖ เมื่อศาลได้พิพากษาลงโทษผู้ใด เนื่องจากได้กระทำความผิดตามมาตรา ๖๓ มาตรา ๖๔ มาตรา ๖๕ มาตรา ๖๖ มาตรา ๖๗ มาตรา ๖๘ มาตรา ๖๙ มาตรา ๗๐ มาตรา ๗๑ มาตรา ๗๒ มาตรา ๗๒/๑ หรือมาตรา ๗๒/๔ ให้ศาลสั่งริบปุ๋ย ภาชนะหรือหีบห่อบรรจุปุ๋ยเครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิตปุ๋ย หรือเอกสารที่เกี่ยวเนื่องกับความผิดในคดีนั้นให้แก่กรมวิชาการเกษตรเพื่อทำลายเสียหรือจัดการตามที่เห็นสมควร

มาตรา ๗๒/๗ บรรดาความผิดตามพระราชบัญญัตินี้ซึ่งมีโทษปรับสถานเดียว ให้อธิบดีหรือผู้ซึ่งอธิบดีมอบหมายมีอำนาจเปรียบเทียบปรับได้ และเมื่อผู้ต้องหาได้ชำระค่าปรับตามที่ได้เปรียบเทียบแล้ว ให้ถือว่าคดีเลิกกันตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา"

มาตรา ๓๗ ให้ยกเลิกอัตราค่าธรรมเนียมท้ายพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ และให้ใช้อัตราค่าธรรมเนียมท้ายพระราชบัญญัตินี้แทน

มาตรา ๓๘ ให้คณะกรรมการปุ๋ยตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ ซึ่งดำรงตำแหน่งอยู่ในวันที่พระราชบัญญัตินี้ใช้บังคับปฏิบัติหน้าที่ต่อไป จนกว่าจะได้มีการแต่งตั้งคณะกรรมการปุ๋ยตามพระราชบัญญัตินี้ แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันที่พระราชบัญญัตินี้ใช้บังคับ

มาตรา ๓๙ บรรดาใบอนุญาตหรือใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยเคมีที่ได้ออกให้ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ ก่อนวันที่พระราชบัญญัตินี้ใช้บังคับ ให้ใช้ได้ต่อไปจนกว่าจะสิ้นอายุ

ถ้าผู้รับใบอนุญาตหรือใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยตามวรรคหนึ่งประสงค์จะดำเนินกิจการต่อไป ให้ยื่นคำขอรับใบอนุญาตหรือใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยตามพระราชบัญญัตินี้ก่อนใบอนุญาตหรือใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยเดิมสิ้นอายุ และให้ดำเนินกิจการตามใบอนุญาตหรือใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยเดิมไปพลางก่อนได้จนกว่าจะได้รับใบอนุญาตหรือใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยใหม่หรือได้รับแจ้งให้ทราบถึงการไม่อนุญาตหรือการไม่รับขึ้นทะเบียน

มาตรา ๔๐ ให้ผู้ผลิตเพื่อการค้า ผู้ขาย ผู้นำเข้า หรือผู้ส่งออกปุ๋ยชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์อยู่ในวันที่พระราชบัญญัตินี้ใช้บังคับ ยื่นคำขอรับใบอนุญาตตามมาตรา ๑๒ และในกรณีที่เป็นผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าให้ยื่นคำขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยตามมาตรา ๓๘ ภายในหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันที่พระราชบัญญัตินี้ใช้บังคับ และเมื่อได้ยื่นคำขอรับใบอนุญาตหรือคำขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยดังกล่าวแล้ว ให้ผู้นั้นประกอบกิจการต่อไปโดยถือว่าเป็นผู้รับใบอนุญาตจนกว่าจะได้รับแจ้งให้ทราบถึงการไม่อนุญาตหรือการไม่รับขึ้นทะเบียน

ถ้าผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าตามวรรคหนึ่งประสงค์จะเลิกกิจการที่ถือว่าได้รับอนุญาตหรือได้ยื่นคำขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัตินี้ไว้แล้วแต่พนักงานเจ้าหน้าที่ไม่รับขึ้นทะเบียน ให้ผู้นั้นขายปุ๋ยชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์ของตนที่เหลืออยู่หรือปุ๋ยชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์ที่พนักงานเจ้าหน้าที่ไม่รับขึ้นทะเบียนนั้นให้หมดภายในหกสิบวันนับแต่วันที่ได้แจ้งการเลิกกิจการ หรือวันที่ได้รับแจ้งให้ทราบถึงการไม่รับขึ้นทะเบียน แล้วแต่กรณี เว้นแต่พนักงานเจ้าหน้าที่จะผ่อนผันขยายเวลาดังกล่าวให้

ในกรณีที่ปรากฏว่าผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าตามวรรคหนึ่ง ขายปุ๋ยชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์ที่เหลืออยู่ไม่หมดภายในระยะเวลาที่กำหนดตามวรรคสอง ให้พนักงานเจ้าหน้าที่นำปุ๋ยชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์ที่เหลืออยู่หรือที่พนักงานเจ้าหน้าที่ไม่รับขึ้นทะเบียนนั้นออกขายทอดตลาด หรือขายโดยวิธีอื่นใดตามที่อธิบดีเห็นสมควร เงินที่ได้จากการขายปุ๋ยดังกล่าวเมื่อได้หักค่าใช้จ่ายแล้ว ให้คืนแก่เจ้าของปุ๋ยหรือผู้ซึ่งมีสิทธิรับเงินนั้น

มาตรา ๔๑ บรรดากฎกระทรวงและประกาศที่ออกตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ ซึ่งใช้บังคับอยู่ในวันที่พระราชบัญญัตินี้มีผลใช้บังคับ ให้คงใช้บังคับได้ต่อไปเท่าที่ไม่ขัดหรือแย้งกับพระราชบัญญัตินี้ ทั้งนี้ จนกว่าจะมีกฎกระทรวงหรือประกาศที่ออกตามพระราชบัญญัตินี้ใช้บังคับ

มาตรา ๔๒ ให้รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์รักษาการตามพระราชบัญญัตินี้

ผู้รับสนองพระบรมราชโองการ
พลเอก สุรยุทธ์ จุลานนท์
นายกรัฐมนตรี

อัตราค่าธรรมเนียม

(๑) ใบอนุญาตผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการค้า	ฉบับละ	๑๐,๐๐๐	บาท
(๒) ใบอนุญาตผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้า	ฉบับละ	๕,๐๐๐	บาท
(๓) ใบอนุญาตผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้า	ฉบับละ	๒,๕๐๐	บาท
(๔) ใบอนุญาตขายปุ๋ย	ฉบับละ	๕๐๐	บาท
(๕) ใบอนุญาตนำเข้าปุ๋ย	ฉบับละ	๕,๐๐๐	บาท
(๖) ใบอนุญาตส่งออกปุ๋ย	ฉบับละ	๑,๐๐๐	บาท
(๗) ใบอนุญาตนำผ่านปุ๋ย	ฉบับละ	๕๐๐	บาท
(๘) ใบแทนใบอนุญาต	ฉบับละ	๑๐๐	บาท
(๙) ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยเคมี	ฉบับละ	๑๐,๐๐๐	บาท
(๑๐) ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพ	ฉบับละ	๕,๐๐๐	บาท
(๑๑) ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์	ฉบับละ	๒,๕๐๐	บาท
(๑๒) ใบแทนใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ย	ฉบับละ	๑๐๐	บาท

(๑๓) การต่ออายุใบอนุญาตครั้งละเท่ากับค่าธรรมเนียมใบอนุญาตแต่ละฉบับ

(๑๔) การต่ออายุใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยครั้งละเท่ากับค่าธรรมเนียมใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยแต่ละฉบับ

(๑๕) การแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ย	ฉบับละ	๓๐๐	บาท

หมายเหตุ :- เหตุผลในการประกาศใช้พระราชบัญญัติฉบับนี้ คือ โดยที่ปัจจุบันการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรมีมากขึ้น มีการส่งเสริมให้ใช้อินทรียวัตถุตลอดจนนำเทคโนโลยีทางชีวภาพเข้ามาใช้เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มคุณค่าของธาตุอาหารพืชมากขึ้น แต่พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ ที่ใช้บังคับในปัจจุบัน มุ่งควบคุมปุ๋ยเคมีเป็นหลักโดยมิได้มีบทบัญญัติควบคุมปุ๋ยชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์ที่ชัดเจน เป็นเหตุให้มีปุ๋ยชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ได้คุณภาพออกสู่ท้องตลาด ประกอบกับอัตราโทษที่กำหนดไว้เดิมไม่สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจและค่าเงินที่เปลี่ยนแปลงไป สมควรปรับปรุงการควบคุมปุ๋ยและบทกำหนดโทษ รวมทั้งบทบัญญัติอื่นที่เกี่ยวข้องให้สอดคล้องกับการใช้ปุ๋ยที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อรักษาไว้ซึ่งประโยชน์ของเกษตรกรและภาคการเกษตร จึงจำเป็นต้องตราพระราชบัญญัตินี้

ภาคผนวก ข

คำขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพ (ท.ช. 1)

ท.ช.๑

คำขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพ

สำหรับพนักงานเจ้าหน้าที่กรอก
เลขที่รับ.....
วันที่.....
พนักงานเจ้าหน้าที่ผู้รับ.....

เขียนที่.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี สัญชาติ.....

บัตรประจำตัวประชาชนเลขที่..... ออกให้ ณ.....

ใบสำคัญประจำตัวคนต่างด้าวเลขที่..... ออกให้ ณ.....

อยู่บ้านเลขที่.....หมู่ที่.....ซอย.....

ถนน.....ตำบล/แขวง.....

อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....โทรศัพท์.....

ซึ่งเป็นผู้ดำเนินกิจการ/ผู้รับมอบอำนาจ ของ (ชื่อนิติบุคคล/ร้าน).....

เลขประจำตัวผู้เสียภาษีอากรของนิติบุคคล/ร้าน.....

ทะเบียนการค้า/ทะเบียนพาณิชย์ เลขที่..... ออกให้ ณ.....

สำนักงานเลขที่.....หมู่ที่.....ซอย.....

ถนน.....ตำบล/แขวง.....

อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....โทรศัพท์.....

เป็นผู้ได้รับใบอนุญาตเกี่ยวกับปุ๋ยชีวภาพ มีความประสงค์ขอขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพ ในฐานะ

☐ นำเข้าปุ๋ย ใบอนุญาตนำเข้าปุ๋ย เลขที่.....

☐ ผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้า ☐ ผสม ใบอนุญาตผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้า เลขที่.....

☐ แบ่งบรรจุ

โดยมีรายการปุ๋ยชีวภาพที่ขอขึ้นทะเบียน และส่งเอกสารแนบคำขอดังต่อไปนี้.-

๑. <u>รายการปุ๋ยชีวภาพที่ขอขึ้นทะเบียน</u>

๑.๑ ประเภทของปุ๋ยชีวภาพ.....

๑.๒ ชื่อการค้า.....

๑.๓ เครื่องหมายการค้า (ตรา).....ทะเบียนเครื่องหมายการค้า.....

๑.๔ ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์.....

.....

.....

.....

.....

๑.๕ ลักษณะ...

๑.๕ ลักษณะของปุ๋ยชีวภาพ (เม็ด/ผง/ของเหลว).....

๑.๖ ชนิดและปริมาณของวัสดุรองรับของปุ๋ยชีวภาพ.....

.....

.....

๑.๗ ชื่อและปริมาณของวัตถุหรือสิ่งผสมอื่น ๆ ในปุ๋ยชีวภาพ (ร้อยละของน้ำหนัก).....

.....

๑.๘ ชื่อและปริมาณของสารเป็นพิษที่ผสมในปุ๋ยชีวภาพ.....

๑.๙ ขนาดบรรจุต่อหน่วย (ตามระบบเมตริก) และชนิดภาชนะบรรจุ.....

.....

.....

.....

๑.๑๐ วิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพ.....

๑.๑๑ ชื่อผู้ผลิตและสถานที่ผลิตปุ๋ยชีวภาพ.....

.....

สั่งปุ๋ยชีวภาพจาก (กรณีผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อการค้าแบบแบ่งบรรจุ).....

.....

๑.๑๒ อายุของเชื้อจุลินทรีย์นับตั้งแต่วันที่ผลิต (วัน) .....

๒. หลักฐานแนบคำขอทะเบียนปุ๋ยชีวภาพที่ส่งประกอบการพิจารณาขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพ.-

☐ ตัวอย่างฉลากปุ๋ยชีวภาพและข้อความที่แสดงในฉลาก (ถ้ามี)

☐ ต้นฉบับรายงานผลวิเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพไม่เกิน ๖ เดือนนับแต่วันรายงานผลวิเคราะห์

☐ กรรมวิธีการผลิตปุ๋ยชีวภาพของผู้ผลิตโดยย่อ

☐ เอกสารกำกับปุ๋ยชีวภาพ (คำแนะนำการใช้ปุ๋ยชีวภาพ วิธีใช้ อัตราที่ใช้ ข้อควรระวัง ฯลฯ) (ถ้ามี)

☐ ตัวอย่างหรือภาพถ่ายภาชนะหีบห่อบรรจุปุ๋ยชีวภาพ (ถ้ามี)

☐ ตัวอย่างปุ๋ยชีวภาพที่ขอขึ้นทะเบียน

☐ เอกสารอื่น ๆ (ถ้ามี).....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า รายการปุ๋ยชีวภาพที่ขอขึ้นทะเบียน หลักฐานที่แนบและตัวอย่างปุ๋ยชีวภาพที่ส่งตามคำขอฯ ข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ และขอรับรองว่าเป็นเจ้าของเครื่องหมายการค้า หรือเป็นผู้ได้รับอนุญาตให้ใช้เครื่องหมายการค้าดังกล่าวข้างต้นจริง หากเป็นการละเมิดหรือล่วงสิทธิในชื่อ และ/หรือเครื่องหมายการค้าของผู้อื่น ข้าพเจ้าขอยอมรับผิดแต่เพียงผู้เดียว

(ลงลายมือชื่อ).....ผู้ขอขึ้นทะเบียน

(.....)

ประทับตราบริษัท/ห้าง/ร้าน (ถ้ามี)

ภาคผนวก ค

ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพ
ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๕๐
(ท.ช.3)

ท.ช.๓

ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพ

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๕๐

.....

ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนเลขที่...../..... กรมวิชาการเกษตร

ใบสำคัญฉบับนี้ให้ไว้แก่.....

ซึ่งมีใบอนุญาต.....เลขที่.....

เพื่อแสดงว่าปุ๋ยชีวภาพตามใบสำคัญนี้ได้ขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพตามมาตรา ๓๕ แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. ๒๕๑๘ แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๕๐ โดยมีรายการดังต่อไปนี้.-

ประเภทของปุ๋ยชีวภาพ.....

ชื่อการค้า.....เครื่องหมายการค้า.....

ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์.....

.....

.....

ชนิดและปริมาณวัสดุรองรับ.....

.....

ลักษณะของปุ๋ยชีวภาพ.....

ขนาดบรรจุต่อหน่วยและวัตถุที่ใช้ทำเป็นภาชนะบรรจุ.....

.....

.....

.....

อายุของเชื้อจุลินทรีย์นับตั้งแต่วันที่ผลิต (วัน) .....

ชื่อและปริมาณของสารเป็นพิษ.....

ชื่อผู้ผลิตและสถานที่ผลิตปุ๋ยชีวภาพ.....

.....

.....

ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยชีวภาพฉบับนี้ออกให้เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

และให้ใช้ได้จนถึงวันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

(ลายมือชื่อ).....พนักงานเจ้าหน้าที่

ตารางภาคผนวกที่ 1 เกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณจุลินทรีย์รับรอง ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

ชนิดของปุ๋ยชีวภาพ	ปริมาณจุลินทรีย์รับรอง	เกณฑ์คลาดเคลื่อนขั้นต่ำ (ร้อยละของปริมาณจุลินทรีย์รับรอง)
ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม	ไม่น้อยกว่า 10^6 เซลล์ต่อกรัม	10
ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์	ไม่น้อยกว่า 10^6 โคโลนี หรือ เซลล์ต่อกรัม	10
ปุ๋ยชีวภาพสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	ไม่น้อยกว่า 10^6 โคโลนีต่อกรัม	10
ปุ๋ยชีวภาพอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	ไม่น้อยกว่า 25 สปอร์ต่อกรัม	10
ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต		
รา	ไม่น้อยกว่า 10^7 โคโลนีต่อกรัม	10
แบคทีเรีย	ไม่น้อยกว่า 10^8 โคโลนีต่อกรัม	10
ปุ๋ยชีวภาพละลายโพแทสเซียม	ไม่น้อยกว่า 10^7 โคโลนีต่อกรัม	10

ที่มา: ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง เกณฑ์คลาดเคลื่อนของปริมาณจุลินทรีย์รับรอง ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550, 2552

ตารางภาคผนวกที่ 2 ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีในผลิตภัณฑ์ของปุ๋ยชีวภาพของกรมพัฒนาที่ดินและวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์

ชื่อผลิตภัณฑ์	ชนิดจุลินทรีย์	วัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์
จุลินทรีย์ ซุปเปอร์ พด.9	แบคทีเรีย *Burkholderia* sp.	- เป็นจุลินทรีย์ละลายฟอสฟอรัส โดยเปลี่ยนรูปจากสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ ให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้
จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 สำหรับปอเทือง	แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน สกุล *Rhizobium : Rhizobium* sp.	- มีประสิทธิภาพสูงในการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศเพื่อเพิ่มมวลชีวภาพให้แก่ ปอเทือง
จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 สำหรับโสนอัฟริกัน	แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน สกุล *Azorhizobium : Azorhizobium* sp.	- มีประสิทธิภาพสูงในการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศเพื่อเพิ่มมวลชีวภาพให้แก่โสนอัฟริกัน
จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 สำหรับถั่วพร้า	แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน สกุล *Rhizobium : Rhizobium* sp.	- มีประสิทธิภาพสูงในการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศเพื่อเพิ่มมวลชีวภาพให้แก่ถั่วพร้า

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์	ชนิดจุลินทรีย์	วัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์
ปุ๋ยชีวภาพ พด.12	แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืชแบบอิสระ : *Azotobacter tropicalis*	- เป็นจุลินทรีย์ที่ให้ธาตุอาหารไนโตรเจน
	แบคทีเรียละลายฟอสเฟต : *Burkholderia* sp.	- เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้
	แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม : *Bacillus subtilis*	- เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถละลายโพแทสเซียมให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้
	แบคทีเรียผลิตฮอร์โมน : *Azotobacter* sp.	- เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือฮอร์โมนพืช

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2551)

ตารางภาคผนวกที่ 3 ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีในผลิตภัณฑ์ของปุ๋ยชีวภาพของกรมวิชาการเกษตรและวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์

ชื่อผลิตภัณฑ์	ชนิดจุลินทรีย์	วัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์
ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ถั่วเหลือง ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ถั่วเขียว ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ถั่วลิสง	สกุล *Rhizobium* สกุล *Rhizobium* สกุล *Rhizobium*	- เพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้พืชตระกูลถั่ว - เพิ่มผลผลิตพืช - ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน
ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 สำหรับข้าวโพดและข้าวฟ่าง ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 2 สำหรับข้าว ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 3 สำหรับอ้อย มันสำปะหลัง	*Azospirillum brasilense, Azotobacter vinelandii* และ *Beijerinckia mobilis* *A. brasilense* และ *Burkholderia vietnamiensis* *A. brasilense* และ *Gluconacetobacter diazotrophicus*	- เพิ่มปริมาณการตรึงไนโตรเจน - เพิ่มปริมาณฮอร์โมน - เพิ่มผลผลิตพืช
ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา สำหรับไม้ผล	*Glomus* sp. *Acaulospora* sp.	- เพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัส - ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี - เพิ่มผลผลิตพืช
ปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต	สกุล *Pennicillium*	- เป็นจุลินทรีย์ละลายฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ - เพิ่มผลผลิตพืช

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2548)

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพที่ผ่านการรับรองจากกรมวิชาการเกษตรในท้องตลาด

ลำดับ	ทะเบียน	ปี	ชื่อการค้า	เครื่องหมายการค้า	กลุ่มที่เป็นประโยชน์	ชนิดจุลินทรีย์รับรอง	ผู้ผลิต	วันที่ทะเบียนหมดอายุ
1	1	2557	อัลจินัว	อัลจินัว	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	สกุล แฮพพาโลไซฟอน (*Hapalosiphon* sp.) ปริมาณ $1.0x10^5$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท ปฐมรรค จำกัด	03/09/2562
2	2	2557	ผึ้งเกษตรชีวภาพ	ผึ้งเกษตรชีวภาพ	กลุ่มละลายฟอสเฟต	บาซิลลัส ไลชินิฟอร์มิส (*B licheniformis*) ปริมาณ $1.0x10^8$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ จำกัด	01/10/2562
3	1	2558	ไดมอนกรีน	เอ็นเอสที	พีจีพีอาร์	สกุล อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* spp.) $1.0x10^6$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท เอ็นเอสที ไบโอเทคโนโลยี จำกัด	21/12/2563
4	2	2558	พลอย 2	เอ็นเอสที	พีจีพีอาร์	สกุล อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* spp.) $1.0x10^6$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท เอ็นเอสที ไบโอเทคโนโลยี จำกัด	22/12/2563
5	1	2559	มรกต 2	เอ็นเอสที	พีจีพีอาร์	สกุล อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* spp.) $1.0x10^6$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท เอ็นเอสที ไบโอเทคโนโลยี จำกัด	01/09/2564
6	2	2559	เพชร 1	เอ็นเอสที	พีจีพีอาร์	สกุล อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* spp.) $1.0x10^6$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท เอ็นเอสที ไบโอเทคโนโลยี จำกัด	01/11/2564

ตารางภาคผนวกที่ 4 (ต่อ)

ลำดับ	ทะเบียน	ปี	ชื่อการค้า	เครื่องหมายการค้า	กลุ่มที่เป็นประโยชน์	ชนิดจุลินทรีย์รับรอง	ผู้ผลิต	วันที่ทะเบียนหมดอายุ
7	3	2559	เพชร 2	เอ็นเอสที	พีจีพีอาร์	สกุล อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* spp.) $1.0x10^6$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท เอ็นเอสที ไบโอเทคโนโลยี จำกัด	01/11/2564
8	4	2559	ไก่เกษตรชีวภาพ	ไก่เกษตรชีวภาพ	กลุ่มละลายฟอสเฟต	เบิร์กโคเดอเรีย อูนาเมะ (*B. unamae*) $1.0x10^8$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม.	บริษัท ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ จำกัด	27/12/2564
9	1	2560	ทอง 2	เอ็นเอสที	พีจีพีอาร์	สกุล อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* spp.) $1.0x10^6$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท เอ็นเอสที ไบโอเทคโนโลยี จำกัด	10/04/2565
10	2	2560	3 มิติของแอ๊ดเทวดา	แอ๊ดเทวดา	กลุ่มละลายฟอสเฟต	แลคโทบาซิลลัส แพลนทารัม (*Lactobacillus plantarum*) $1.0x10^8$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท ลองเยียร์ ไบโอเคม จำกัด	14/05/2565
11	3	2560	แอคทีฟ อีลีเมนท์	ที ที เอส	กลุ่มละลายฟอสเฟต	แลคโทบาซิลลัส แพลนทารัม (*L. plantarum*) $1.0x10^8$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท ลองเยียร์ ไบโอเคม จำกัด	14/05/2565
12	4	2560	ใสปิ๊ง	แม๊กซาโก้	กลุ่มละลายฟอสเฟต	แลคโทบาซิลลัส แพลนทารัม (*L. plantarum*) $1.0x10^8$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท ลองเยียร์ ไบโอเคม จำกัด	14/05/2565

ตารางภาคผนวกที่ 4 (ต่อ)

ลำดับ	ทะเบียน	ปี	ชื่อการค้า	เครื่องหมายการค้า	กลุ่มที่เป็นประโยชน์	ชนิดจุลินทรีย์รับรอง	ผู้ผลิต	วันที่ทะเบียนหมดอายุ
13	5	2560	ไก่เกษตรชีวภาพ	ไก่เกษตรชีวภาพ	กลุ่มละลายฟอสเฟต	เบิร์กโคเดอร์เรีย อูนาเมะ (*B. unamae*) $1.0x10^{8}$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม.	บริษัท ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ จำกัด	03/10/2565
14	6	2560	ไก่เกษตรชีวภาพ	ไก่เกษตรชีวภาพ	กลุ่มละลายฟอสเฟต	เบิร์กโคเดอร์เรีย อูนาเมะ (*B. unamae*) $1.0x10^{8}$ โคโลนีต่อน้ำหนัก ปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ จำกัด	03/10/2565
15	7	2560	ทอง 1	เอ็นเอสที	พีจีพีอาร์	สกุล อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* spp.) $1.0x10^{6}$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท เอ็นเอสทีไบโอเทคโนโลยี จำกัด	03/10/2565
16	8	2560	พลอย 1	เอ็นเอสที	พีจีพีอาร์	สกุล อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* spp.) $1.0x10^{6}$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท เอ็นเอสทีไบโอเทคโนโลยี จำกัด	03/10/2565
17	9	2560	ไพลิน 1	เอ็นเอสที	พีจีพีอาร์	สกุล อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* spp.) $1.0x10^{6}$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท เอ็นเอสทีไบโอเทคโนโลยี จำกัด	03/10/2565
18	10	2560	ไพลิน 2	เอ็นเอสที	พีจีพีอาร์	สกุล อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* spp.) $1.0x10^{6}$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท เอ็นเอสทีไบโอเทคโนโลยี จำกัด	03/10/2565

ตารางภาคผนวกที่ 4 (ต่อ)

ลำดับ	ทะเบียน	ปี	ชื่อการค้า	เครื่องหมายการค้า	กลุ่มที่เป็นประโยชน์	ชนิดจุลินทรีย์รับรอง	ผู้ผลิต	วันที่ทะเบียนหมดอายุ
19	11	2560	มรกต 1	เอ็นเอสที	พีจีพีอาร์	สกุล อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter* spp.) $1.0x10^{6}$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท เอ็นเอสที ไบโอเทคโนโลยี จำกัด	03/10/2565
20	1	2561	สาหร่ายนางฟ้า	อัลจินัว	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	สกุล แฮพพาโลไซฟอน (*Hapalosiphon* sp.) $1.0x10^{6}$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท ปฐมรรค จำกัด	28/01/2566
21	2	2561	ผึ้งเกษตรชีวภาพ	ผึ้งเกษตรชีวภาพ	กลุ่มละลายฟอสเฟต	เบิร์กโคเดอร์เรีย อูนาเมะ (*B. unamae*) $1.0x10^{8}$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท ไบโอฟิล เทคโนโลยี จำกัด	07/05/2566
22	1	2562	ไบโอฟอสก้า	ไบโอฟอสก้า	กลุ่มละลายฟอสเฟต	บาซิลลัส เมกกะทีเรียม (*B. megaterium*) ปริมาณ $1.0x10^{8}$ โคโลนีต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม	บริษัท ปฐมรรค จำกัด	17/02/2567

ที่มา : สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร - ทะเบียนปุ๋ยชีวภาพ http://www.kasetservices.com/Search/BioFertilizer