

ผลงานลำดับที่ 3

เรื่อง การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน

Management of agricultural and agro-industrial
waste materials for soil quality restoration

โดย

นางจันจิรา แสงสีเหลือง

เอกสารประกอบการขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

ผู้เชี่ยวชาญด้านบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ

(นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ)

ตำแหน่งเลขที่ 5

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน

กรมพัฒนาที่ดิน

บทสรุปผู้บริหาร

การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน

การจัดทำเอกสารวิชาการ เรื่องการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ความรู้หลักการด้านคุณภาพดิน ตัวชี้บอคุณภาพ และวิธีการจัดการคุณภาพดินจากการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร โดยวิเคราะห์ประเมินปริมาณ ชนิด แหล่งที่มา และสมบัติของวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิด สถานการณ์ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรตามภาคของประเทศไทย และเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารพืช และการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน สำหรับการผลิตพืชในระบบเกษตรที่ยั่งยืน เพื่อให้ผู้บริหาร นักวิชาการ และเกษตรกร ได้นำข้อมูลจัดทำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนนโยบายการดำเนินงาน เป็นแหล่งสืบค้นและอ้างอิง และนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม โดยมีบทสรุปดังต่อไปนี้

1. สถานภาพอินทรีย์คาร์บอนในดิน การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน สภาพการใช้ที่ดินพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย ปริมาณชนิดและแหล่งของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ตามรายภาค ดังนี้

ภาคเหนือ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง มีเนื้อที่มากที่สุด 18,212,893 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่มีการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับสูง (12 - 16 ตันต่อไร่) มีพื้นที่ 40,017,518 ไร่ ดินส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับปานกลาง มีพื้นที่เกษตรกรรม 43,064,465 แบ่งเป็น พื้นที่นาข้าวมากที่สุด 16,404,039 ไร่ รองลงมา คือ พืชไร่ 14,815,888 ไร่ พืชไร่หมุนเวียน 3,837,644 ไร่ ไม้ผล 3,761,711 ไร่ และไม้ยืนต้น 3,722,709 ไร่ มีชนิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเรียงตามปริมาณมากไปน้อย ได้แก่ ข้าว อ้อย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ยางพารา และถั่ว วัสดุเหลือใช้จากสัตว์ 8 ชนิด ได้แก่ มูลโคเนื้อ มูลกระบือ มูลสุกร มูลไก่ มูลโคนม มูลแพะ มูลเป็ด และมูลแกะ และมีแหล่งวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ โรงงานน้ำตาล โรงงานน้ำมันปาล์ม โรงงานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับต่ำมาก มีเนื้อที่มากที่สุด 33,726,849 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่มีการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับต่ำ (2 - 5 ตันต่อไร่) มีพื้นที่ 56,712,577 ไร่ ดินส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับต่ำ มีพื้นที่เกษตรกรรม 74,052,057 ไร่ แบ่งเป็น พื้นที่นาข้าวมากที่สุด 42,691,633 ไร่ รองลงมา คือ พืชไร่ 19,079,601 ไร่ ไม้ยืนต้น 10,781,521 ไร่ และไม้ผล 857,265 ไร่ และชนิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเรียงตาม

ปริมาณมากไปน้อย ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ยางพารา มะพร้าว ปาล์มน้ำมัน และถั่ว วัสดุเหลือใช้จากสัตว์ 8 ชนิด ได้แก่ มูลโคเนื้อ มูลกระบือ มูลโคนม มูลไก่ มูลสุกร มูลแพะ มูลเป็ด และมูลแกะ และมีแหล่งวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ โรงงานน้ำตาล โรงงานน้ำมันปาล์ม โรงงานเครื่องตีมแอลกอฮอล์ และโรงงานแปรงมันสำปะหลัง

ภาคกลาง มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง มีเนื้อที่มากที่สุด 6,331,015 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่มีการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับสูง (12 - 16 ตันต่อไร่) มีพื้นที่ 10,971,680 ไร่ ดินส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับปานกลาง มีพื้นที่เกษตรกรรม 21,244,118 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ใช้ในการทำเกษตรกรรมประเภทต่าง ๆ ได้แก่ พื้นที่นาข้าวมากที่สุด 8,316,323 ไร่ รองลงมา คือ พืชไร่ 7,134,796 ไร่ ไม้ผล 1,928,396 ไร่ และไม้ยืนต้น 1,847,018 ไร่ และชนิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเรียงตามปริมาณมากไปน้อย ได้แก่ อ้อย ข้าว มะพร้าว มันสำปะหลัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปาล์มน้ำมัน ยางพารา และถั่ว วัสดุเหลือใช้จากสัตว์ 8 ชนิด ได้แก่ มูลไก่ มูลโคเนื้อ มูลโคนม มูลสุกร มูลกระบือ มูลแพะ มูลเป็ด และมูลแกะ และมีแหล่งวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ โรงงานน้ำตาล โรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานน้ำมันปาล์ม โรงงานเครื่องตีมแอลกอฮอล์ และโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

ภาคตะวันออก มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง มีเนื้อที่ 3,865,521 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่มีการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับปานกลาง (5 - 8 ตันต่อไร่) มีพื้นที่ 6,690,208 ไร่ ดินส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับต่ำ มีพื้นที่เกษตรกรรม 13,329,202 ไร่ แบ่งเป็น พื้นที่ไม้ยืนต้นมากที่สุด 5,230,281 ไร่ รองลงมา คือ พืชไร่ 2,736,994 ไร่นาข้าว 2,569,837 ไร่ และไม้ผล 1,846,263 ไร่ และชนิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเรียงตามปริมาณมากไปน้อย ได้แก่ อ้อย ข้าว มะพร้าว มันสำปะหลัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปาล์มน้ำมัน ยางพารา และถั่ว วัสดุเหลือใช้จากสัตว์ 8 ชนิด ได้แก่ มูลไก่ มูลโคเนื้อ มูลโคนม มูลสุกร มูลกระบือ มูลแพะ มูลเป็ด และมูลแกะ และมีแหล่งวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ โรงงานน้ำตาล โรงงานน้ำมันปาล์ม โรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานเครื่องตีมแอลกอฮอล์ และโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

ภาคใต้ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง มีเนื้อที่ 6,734,972 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่มีการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับปานกลาง (5 - 8 ตันต่อไร่) มีพื้นที่ 16,323,021 ไร่ ดินส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับต่ำ มีพื้นที่เกษตรกรรม 27,047,832 ไร่ แบ่งเป็น พื้นที่ไม้ยืนต้นมากที่สุด 23,011,950 ไร่ รองลงมา คือ ไม้ผล 2,027,994 ไร่นาข้าว 1,470,501 ไร่ สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 457,751 ไร่ และพืชไร่ 40,112 ไร่ และชนิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเรียงตามปริมาณมากไปน้อย ได้แก่ มะพร้าว ปาล์มน้ำมัน ยางพารา และข้าว จากสัตว์ 8 ชนิด ได้แก่ มูลโคเนื้อ มูลสุกร มูลไก่ มูลแพะ มูลกระบือ มูลโคนม มูลเป็ด และ

มูลเกาะ และมีแหล่งวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ โรงงานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โรงงานน้ำมันปาล์ม และโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

2. การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยมีแหล่งที่มาและสมบัติของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สำคัญจากพืช ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ถั่ว ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว และยางพารา วัสดุเหลือใช้มูลสัตว์ ได้แก่ มูลโคเนื้อ มูลสุกร มูลไก่ มูลแพะ มูลกระบือ มูลโคนม มูลเป็ด และมูลแกะ และวัสดุเหลือใช้ อุตสาหกรรมเกษตร 5 ประเภท ได้แก่ โรงงานน้ำตาล โรงงานน้ำมันปาล์ม โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และโรงงานแปรรูปอาหารทะเล รวมถึงการนำมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการจัดการจากเทคนิครูปแบบวิธีการย่อยสลายรูปแบบต่าง ๆ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ เพื่อการปรับปรุงคุณภาพดิน เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และน้ำหมักชีวภาพ เป็นต้น

3. เทคโนโลยีการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

3.1 การคลุมดินด้วยเศษซากอินทรีย์วัตถุ เช่น เศษใบไม้ ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย และการปลูกพืชคลุมดิน ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำของหน้าดินเปลือย ป้องกันการกัดเซาะล้างของผิวดินที่เกิดขึ้นจากน้ำและลม พ้นผิวดินมีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

3.2 การหมักด้วยการไถกลบวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อหมุนเวียนธาตุอาหาร และเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพตามธรรมชาติ เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการจัดการเศษพืชเหลือทิ้งในพื้นที่เพาะปลูกพืช

3.3 การหมักผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ การผลิตปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และน้ำหมักชีวภาพ โดยกิจกรรมจุลินทรีย์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด และมูลสัตว์ เป็นต้น วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย เปลือกและกากมันสำปะหลัง และทะลายปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ระยะเวลาการหมักเศษวัสดุแห้งในการผลิตปุ๋ยหมักขึ้นอยู่กับปัจจัยที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการย่อยสลายวัสดุในการผลิตปุ๋ยหมักให้สมบูรณ์ในระยะเวลามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ลักษณะของเศษวัสดุ องค์ประกอบทางเคมีของเศษวัสดุ ความชื้น การระบายอากาศ อุณหภูมิ ระดับความเป็นกรดเป็นด่างในการกองปุ๋ยหมัก และคำแนะนำวิธีการผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพด้วยสารเร่งซูเปอร์ พด. 1 และการผลิตน้ำหมักชีวภาพที่มีคุณภาพจากสารเร่งซูเปอร์ พด. 2 ของกรมพัฒนาที่ดิน

3.4 เทคโนโลยีชีวภาพใหม่ เช่น การผลิตผลิตภัณฑ์อินทรีย์สารกรดอะมิโนจากโปรตีนเซลล์เดียวที่ได้จากจุลินทรีย์ ได้แก่ รา ยีสต์ และแบคทีเรีย ด้วยกระบวนการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ จากการใช้แหล่งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร ที่มีแหล่งสารอินทรีย์แปรสภาพด้วยกระบวนการจุลินทรีย์ เช่น *Rhodopseudomonas capsulatus*

R. sphaeroides Rhodocyclus gelatinosus Saccharomyces anomalous Candida ingens และ *Aspergillus niger* เป็นต้น

3.5 เทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพ (biochar) เพื่อการปรับปรุงดิน ถ่านชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) และถ่านเทอร์รีไฟด์ (torrefied biomass) ด้วยกระบวนการเทอร์รีแฟคชัน (torrefaction) เป็นคาร์บอนคงตัวที่มีรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะสูง และมีองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก โซเดียม และแมกนีเซียม เป็นต้น สามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ทางการเกษตรด้านสมบัติทางกายภาพของดิน สมบัติทางเคมีของดิน และสมบัติทางชีวภาพของดิน

4. การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน สำหรับการผลิตพืชในระบบเกษตรที่ยั่งยืน เน้นการใช้ทรัพยากรทางการเกษตรอย่างเต็มที่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม ลดปัญหามลพิษ ลดของเสียที่อยู่ในฟาร์ม หรือพื้นที่ทำการเกษตร ให้เป็นศูนย์ (zero waste) และการจัดการคุณภาพดินสำหรับพื้นที่เพาะปลูกในการเพิ่มผลผลิตของดิน จากข้อพิจารณาการปฏิบัติในพื้นที่ทางการเกษตรตามหลัก 6 ประการ ได้แก่ เพิ่มอินทรีย์วัตถุ ไม่ไถพรวนเกินความจำเป็น จัดการศัตรูพืช และธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ ป้องกันมิให้ดินแน่น มีวัสดุปกคลุมผิวดิน และใช้ระบบปลูกพืชหลายชนิด ดังนั้นการจัดการคุณภาพดินด้วยวิธีการแบบผสมผสานเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการฟื้นฟูคุณภาพดินชนิดต่าง ๆ เช่น ดินเปรี้ยวจัด ดินกรด และดินอินทรีย์ ดินเค็ม ดินทราย และดินตื้น ให้เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ อีกทั้งขับเคลื่อนการแก้ไขปัญหาสำคัญของประเทศไทย ในการแก้ไขปัญหาฝุ่น PM2.5 หมายถึง ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เป็นฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชน มีแหล่งกำเนิดโดยตรงจากการเผาในที่โล่ง และการรวมตัวของก๊าซอื่น ๆ ในบรรยากาศที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ต้นและซังข้าวโพด ใบไม้ และกิ่งไม้ เป็นต้น ลดปัญหาการเผาในที่โล่งแจ้ง สามารถเพิ่มมูลค่านำมาผลิตเป็นไบโอชาร์ ที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุคาร์บอนคงทนระยะยาว มีความปลอดภัยเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงสมบัติดิน เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน เพิ่มความพรุนของดิน ปรับปรุงโครงสร้างดิน ลดความเป็นกรดของดิน เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ ช่วยดูดซับธาตุอาหาร ลดการชะล้าง ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ และลดปัญหาการเกิดเถ้าลอย และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 (คณะกรรมการพลังงานหอยการคำไทย, 2567) ช่วยเพิ่มการเก็บกักคาร์บอนในดินระยะยาว ด้วยการเผาผลิตไบโอชาร์จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนของชีวมวล ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นวิธีการเผาแบบลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และฝุ่นละออง PM2.5 ปัจจุบันมีการรับรองการผลิตไบโอชาร์ในต่างประเทศ

มีตลาดการรับซื้อเป็นคาร์บอนเครดิต สร้างมูลค่า ช่วยลดปัญหาฝุ่นควันในการแก้ปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 สำหรับภาคเกษตร (วิระศักดิ์, 2568) ซึ่งไบโอชาร์เป็นหนึ่งในนโยบายด้านการขับเคลื่อนคาร์บอนเครดิตจากการเทคโนโลยีการดักจับ และการใช้ประโยชน์ในการกักเก็บคาร์บอนของประเทศไทย เพื่อหยุดการเผา (ธีรวุฒิ, 2568)

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. กรมพัฒนาที่ดินควรกำหนดนโยบายส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร จัดทำระบบฐานข้อมูลวัสดุ ชนิด องค์ประกอบทางเคมี แหล่งวัตถุดิบ เทคโนโลยีการผลิต และจัดทำแอปพลิเคชันในการรวบรวมข้อมูลวัสดุเหลือใช้ของท้องถิ่น เพื่อการใช้ประโยชน์ในการวางแผน สำหรับเจ้าหน้าที่และเกษตรกรในพื้นที่
2. กรมพัฒนาที่ดินส่งเสริมการจัดตั้งกลุ่มเกษตรกรทำเกษตรกรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการจัดการระบบการผลิตทางการเกษตรให้ปลอดวัสดุเหลือใช้ สนับสนุนงานวิจัย เทคโนโลยี และนวัตกรรมการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้หมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อการปรับปรุงดินตามศักยภาพของดิน เพิ่มผลผลิต และลดต้นทุนการผลิต
3. กรมพัฒนาที่ดินพิจารณาเพิ่มนโยบายความตกลงร่วมมือระหว่างหน่วยงานภาครัฐ และภาคเอกชน ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการจัดการระบบการผลิตวัสดุเหลือใช้การเกษตรทุกประเภท เพื่อหมุนเวียนกลับคืนสู่พื้นที่เพาะปลูก ซึ่งจะมีผลให้การปฏิบัติงานเปิดกว้าง สามารถติดตามความก้าวหน้าได้ และแก้ไขได้ดียิ่งขึ้น

คำนำ

ประเทศไทยมีแผนแม่บทหลักพัฒนาประเทศในระยะยาว เพื่อบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) กำหนดไว้ในแผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ประเด็น การพัฒนาการเกษตร แผนย่อยการพัฒนาระบบนิเวศการเกษตร แนวทางการสร้างความมั่นคงทางอาหารให้กับครัวเรือนเกษตรกร และชุมชน นำไปสู่การบรรลุซึ่งผลประโยชน์แห่งชาติ ในการพัฒนาคุณภาพชีวิตให้คนไทยมีความสุข สร้างรายได้ระดับสูง และเป็นประเทศพัฒนาแล้ว สังคมมีความมั่นคง เสมอภาค และเป็นธรรม ประเทศสามารถแข่งขันได้ในระบบเศรษฐกิจ แต่ปัจจุบันผลผลิตพืชเศรษฐกิจอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ สืบเนื่องจากประเทศไทยประสบปัญหาด้านทรัพยากรดินมีความเสื่อมโทรมจากการชะล้างพังทลายของดินโดยการพัดพาของน้ำ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจากการใช้พื้นที่ทำการเกษตรเชิงเดี่ยวอย่างต่อเนื่อง แต่ขาดการปรับปรุงดินและอนุรักษ์ทรัพยากรดินอย่างจริงจัง ประกอบกับปัญหาการบุกรุกทำลายป่าเพื่อใช้ทำการเกษตรในพื้นที่ลาดชัน อีกทั้งประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น ดินไร่ทั่วไป สามารถเก็บกักคาร์บอนไว้ได้น้อยกว่าเขตอบอุ่น เนื่องจากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในดินเกิดขึ้นเร็ว มีผลทำให้ปริมาณธาตุอาหารพืชและอินทรีย์วัตถุในดินลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรดินเป็นเหตุให้ดินมีกำลังการผลิต (productivity) ลดลง และผลผลิตพืชเฉลี่ยต่อไร่อยู่ระดับต่ำ ซึ่งสถานภาพดินในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทยภาพรวมของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน พบว่า พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือดินมีระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ (< 1.5 เปอร์เซ็นต์) มากที่สุด คือ 86.36 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันออก ภาคใต้ ภาคเหนือ และภาคกลาง 59.95 52.47 43.67 และ 29.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนตัวอย่างข้อมูลปริมาณอินทรีย์วัตถุในแต่ละภาคของประเทศไทย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก) การฟื้นฟูคุณภาพดินด้วยอินทรีย์วัตถุถือเป็นปัจจัยตัวชี้วัดต่อคุณภาพของดินที่สำคัญ มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งแนวทางในการป้องกันการสูญเสีย และรักษาระดับอินทรีย์วัตถุในดิน ด้วยวิธีการเพิ่มแหล่งอินทรีย์วัตถุในดินให้เพียงพอ ลดการเผาเศษพืช การใส่กลับคืนของเศษซากพืชสู่ดิน และลดการไถพรวน ส่งผลต่อคุณภาพของดินในการผลิตพืช และรักษาคุณภาพของดินทางเกษตรที่ยั่งยืน เน้นการสร้างแรงจูงใจในรูปแบบเทคโนโลยีชีวภาพที่ง่ายต่อเกษตรกรในการปฏิบัติ เพื่อย่อยสลายเศษวัสดุการเกษตรได้สมบูรณ์ การใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพ และองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ จะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น รวมถึงคุณภาพชีวิตครอบครัวที่มั่นคง และประเทศสามารถแข่งขันได้ในระบบเศรษฐกิจ ซึ่งปัจจุบันโลกและประเทศไทยกำลังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และภัยพิบัติธรรมชาติที่ทวีความรุนแรง ประเทศไทยเข้าร่วมเป็นภาคีสมาชิกให้สัตยาบันร่วมกันในความตกลงปารีส ภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพ

ภูมิอากาศ เป็นข้อตกลงร่วมกันในระดับนานาชาติที่จำเป็นต้องร่วมมือกัน ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน หันมาใส่ใจกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และรักษาทรัพยากรธรรมชาติให้มากขึ้น ดังนั้นการเติมอินทรีย์วัตถุหรืออินทรีย์คาร์บอนลงดิน ไม่เพียงแต่เป็นการปรับปรุงบำรุงดินเพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน และการอนุรักษ์ทรัพยากรดิน แต่ยังเป็นการกักเก็บคาร์บอนในดิน ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนได้อีกทาง

ข้อได้เปรียบของประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการเพาะปลูกพืชหลากหลายชนิดได้ตลอดทั้งปี ปัจจุบันอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบทางการเกษตรมีการขยายตัวและเพิ่มกำลังการผลิตสูงขึ้น ซึ่งเกิดผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตในปริมาณมากในแต่ละปี จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่มีชนิดและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ รวมถึงคุณค่าทางสารอาหาร เช่น อะมิโน โปรตีน และวิตามิน สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน แต่กลับมีการนำมาใช้ประโยชน์ไม่แพร่หลายมากนัก พบปัญหาการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ไม่เหมาะสมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การเผาเศษพืชทิ้งทำให้เกิดมลพิษทางอากาศปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากขึ้น สูญเสียแหล่งอินทรีย์วัตถุ หรืออินทรีย์คาร์บอนที่สำคัญ ซึ่งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรดังกล่าว มีปริมาณมากเพียงพอ มีศักยภาพนำมาเป็นสารปรับปรุงดิน และสามารถเพิ่มมูลค่าด้วยเทคโนโลยีชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ และผลิตภัณฑ์สารอินทรีย์เพื่อการบำรุงดิน สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรแบบผสมผสาน เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุที่สำคัญในการฟื้นฟูคุณภาพดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรดิน รักษาคุณภาพของดิน และคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

ดังนั้น เอกสารวิชาการ เรื่องการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน ได้รวบรวมข้อมูลแหล่งผลิต ปริมาณ ชนิด และองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร 5 ประเภท ได้แก่ วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป่งมันสำปะหลัง วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำมันปาล์ม วัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล รวมถึงเทคโนโลยีชีวภาพด้านการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร หลักการจัดการฟื้นฟูคุณภาพดินแบบผสมผสาน รวมทั้งแนวทางการฟื้นฟูคุณภาพดินได้อย่างยั่งยืน สำหรับผู้บริหารกรมพัฒนาที่ดินในการวางแผนกำหนดนโยบาย หน่วยงานเอกชน นักวิชาการ และเกษตรกร นำมาใช้ประโยชน์ต่อยอดสู่การส่งเสริมและถ่ายทอดองค์ความรู้การพัฒนาที่ดินเป้าหมายพัฒนาคุณภาพดินได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับพื้นที่ได้อย่างยั่งยืน

จันจิรา แสงสีเหลือง

กรกฎาคม 2568

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	(1)
คำนำ	(6)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(14)
แบบการเสนอผลงาน ระดับเชี่ยวชาญ	1
ส่วนที่ 1 ข้อมูลบุคคล/ตำแหน่ง	1
ส่วนที่ 2 ผลงานที่เป็นผลการปฏิบัติงานหรือผลสำเร็จของงาน	3
1. ชื่อเรื่อง	3
2. ระยะเวลาการดำเนินการ	3
3. ความรู้ ความชำนาญงาน หรือความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ที่ใช้ ในการปฏิบัติงาน	3
4. สรุปสาระสำคัญ ขั้นตอนการดำเนินการ และเป้าหมายของงาน	10
5. ผลสำเร็จของงาน (เชิงปริมาณ/คุณภาพ)	277
6. การนำไปใช้ประโยชน์/ผลกระทบ	278
7. ความยุ่งยากและซับซ้อนในการดำเนินการ	279
8. ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ	279
9. ข้อเสนอแนะ	280
10. การเผยแพร่ผลงาน	281
11. ผู้มีส่วนร่วมในผลงาน (ถ้ามี)	281
เอกสารอ้างอิง	283
ภาคผนวก	317
ภาคผนวก ก	318

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตัวชี้บ่งที่สำคัญสำหรับการประเมินคุณภาพดิน	5
2	ตัวชี้บ่ง (indicators) ที่แนะนำให้ทดสอบ เพื่อประเมินคุณภาพดินในแต่ละด้าน	15
3	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินและปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินแต่ละชีวนิเวศ	24
4	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตามรายภาคของประเทศไทย	26
5	การจำแนกระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุและการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน	29
6	ปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย	32
7	การกระจายของข้อมูลระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นบนในประเทศไทย	39
8	การกระจายของความเป็นกรดเป็นด่างของดินในแต่ละภาคของประเทศไทย	41
9	การกระจายข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในระดับต่าง ๆ ในแต่ละภาคของประเทศไทย	43
10	การกระจายข้อมูลปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในระดับต่าง ๆ ในแต่ละภาคของประเทศไทย	45
11	เนื้อที่การใช้ที่ดินของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 - 2561	49
12	การกระจายของข้อมูลปริมาณอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในระดับต่าง ๆ ในแต่ละภาคของประเทศไทย	56
13	การจำแนกระดับอินทรีย์วัตถุในดิน	58
14	ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีในดินเมื่อดินมีเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน	63
15	แสดงค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อปริมาณผลผลิตของพืชแต่ละชนิด	67
16	แสดงสัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้ต่อปริมาณผลผลิตพืชแต่ละชนิด ปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2565	71
17	ปฏิทินการเกิดวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมภาคเหนือ	74
18	ปฏิทินการเกิดวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	75
19	ปฏิทินการเกิดวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมภาคตะวันออก	76
20	ปฏิทินการเกิดวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมภาคกลาง	77
21	ปฏิทินการเกิดวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมภาคใต้	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	ปริมาณก๊าซและปริมาณฝุ่นรวมที่เกิดจากการเผาวัสดุเหลือใช้ ทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง	80
23	ค่าสัดส่วนปริมาณมูลสัตว์สด อัตราส่วนมูลที่เก็บได้ อัตราส่วน ของแข็งทั้งหมด และอัตราส่วนของแข็งระเหยได้	82
24	จำนวนปศุสัตว์รายภาคในประเทศไทย ปี 2565	83
25	การประเมินปริมาณมูลสัตว์สดและปริมาณมูลสัตว์แห้งชนิดต่าง ๆ ตามรายภาคของประเทศไทย ปี 2565	86
26	ชนิดและปริมาณของมูลสัตว์แห้งในภาคเหนือ	87
27	ชนิดและปริมาณของมูลสัตว์แห้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	88
28	ชนิดและปริมาณของมูลสัตว์แห้งในภาคกลางและภาคตะวันออก	90
29	ชนิดและปริมาณของมูลสัตว์แห้งในภาคใต้	92
30	ค่าสัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลว จากโรงงานน้ำตาล	97
31	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจากโรงงานน้ำตาล	98
32	สถานที่ตั้งโรงงานน้ำตาลตามรายภาคของประเทศไทย	100
33	ค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	103
34	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	104
35	สถานที่ตั้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มตามรายภาคของประเทศไทย	105
36	ค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจาก โรงงานแป้งมันสำปะหลัง	107
37	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจาก โรงงานแป้งมันสำปะหลัง	108
38	สถานที่ตั้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังตามรายภาคของประเทศไทย	109
39	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องตีเมล็ดแอลกอฮอล์ แต่ละชนิดในประเทศไทย	111
40	สถานที่ตั้งโรงงานสุรากลั่นตามรายภาคของประเทศไทย	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
41	สถานที่ตั้งโรงงานสุราแช่ชนิดเบียร์ตามรายภาคของประเทศไทย	114
42	สถานที่ตั้งโรงงานสุราแช่ชนิดไวน์และผลไม้ตามรายภาคของประเทศไทย	115
43	สถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลตามรายภาคของประเทศไทย	116
44	สัดส่วนและปริมาณวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล	118
45	สถานที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแปรรูปตามรายภาคของประเทศไทย	119
46	สมบัติของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากเศษพืชแต่ละชนิด	126
47	องค์ประกอบทางเคมีของมูลสัตว์แห้งชนิดต่าง ๆ	129
48	สมบัติของขานอ้อย กากตะกอนหมักอროง และกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาล	131
49	สมบัติของวัสดุเหลือใช้จากทะเลลายเป่าปาล์มน้ำมัน กากตะกอนดีแคนเตอร์ เส้นใยเปลือกปาล์ม และเถ้าบอยเลอร์	133
50	สมบัติของน้ำทิ้งจากบ่อรวมและน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	134
51	สมบัติของเปลือกมันสำปะหลังใหม่และเปลือกมันสำปะหลังเก่า	135
52	สมบัติของกากแป้งมันสำปะหลัง	136
53	สมบัติของกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปรเปรียบเทียบกับมาตรฐาน TTLC	137
54	สมบัติของน้ำเสียจากเครื่องแยกเซพาเรเตอร์ของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง	140
55	สมบัติของกากเมล็ดธัญพืชแห้ง และกากข้าวมอลต์สด	141
56	สมบัติของน้ำกากส่าของโรงงานสุรา และโรงงานกลั่นไวน์คองยัก	142
57	สมบัติของน้ำกากส่า กากตะกอนยีสต์ และวัสดุผสมน้ำกากส่ากับกากตะกอนยีสต์ของโรงงานผลิตเอทานอล	143
58	สมบัติของเปลือกกุ้งกุลาดำ	144
59	สมบัติของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแช่เยือกแข็งอาหารทะเล	144
60	สมบัติของน้ำนึ่งปลาจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล	145
61	ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน ปุ๋ยอินทรีย์ และกากตะกอนน้ำเสีย	147

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
62	แหล่งที่ผลิต ชนิดวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก และแหล่งใช้ประโยชน์กับพืชตามรายภาค	150
63	เทคนิครูปแบบวิธีการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร	153
64	สมบัติของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ปุ๋ยหมักขานอ้อย และปุ๋ยหมักขี้เลื่อย	155
65	สมบัติของปุ๋ยหมักแกลบ ปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว และปุ๋ยหมักขี้ข้าวโพด	156
66	สมบัติของปุ๋ยหมักกากมันสำปะหลัง ปุ๋ยหมักทะลายปาล์ม และปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสีย	157
67	เกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550	157
68	อัตราและวิธีการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมีสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ	166
69	ผลิตภัณฑ์ชีวภาพชนิดใหม่จากขานอ้อย	173
70	สมบัติของปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพจากวัสดุเหลือใช้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	177
71	การประยุกต์ใช้กากตะกอนยีสต์และน้ำกากส่าวัสดุเหลือใช้โรงงานเอทานอล จากผลการทดลองในพื้นที่เกษตรกรรม	183
72	สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากเศษปลาชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เหลว	187
73	สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากวัสดุเหลือใช้ในโรงงานปลาปนชนิดต่าง ๆ	188
74	แสดงชนิดและปริมาณวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงสูตรต่าง ๆ จำนวน 100 กิโลกรัม	210
75	ปริมาณธาตุอาหารของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ	212
76	ปริมาณธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในน้ำสกัดมูลสุกร มูลไก่ไข่ มูลนกกระทา และมูลโคเนื้อ	216
77	สมบัติทางเคมี ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุของน้ำหมักชีวภาพ	221
78	ปริมาณฮอร์โมนพืชและกรดฮิวมิกของน้ำหมักชีวภาพชนิดต่าง ๆ	222

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
79	ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง	225
80	ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเซลล์จากเชื้อรา <i>A. niger</i> และวัสดุหมัก	226
81	ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเซลล์ยีสต์ <i>C. tropicalis</i> เลี้ยงด้วย น้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และ <i>C. ingens</i> เลี้ยงด้วยมูลสุกร	227
82	ผลผลิตที่ได้รับจากกระบวนการไพโรไลซิส	230
83	สมบัติของถ่านชีวภาพต่อความเป็นประโยชน์ทางการเกษตร	234
84	สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ	238
85	การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ จากการทดลองสำหรับการปลูกข้าว	239
86	การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ จากการทดลองสำหรับข้าวโพด และถั่วต่าง ๆ	240
87	การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ จากการทดลองสำหรับพืชผัก	241
88	ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการไพโรไลซิสสำหรับการผลิตถ่านชีวภาพ	245
89	ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการทอรรีแฟคชันสำหรับผลิตถ่านทอรรีไฟด์	247
90	สมบัติของถ่านทอรรีไฟด์เปรียบเทียบกับถ่านชีวภาพ	249
91	ช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด	257

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย	28
2	แผนที่การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย	33
3	การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นบนของประเทศไทย	40
4	การประเมินระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินชั้นบนของประเทศไทย	42
5	การประเมินระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินชั้นบนของประเทศไทย	44
6	การประเมินระดับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินชั้นบนของประเทศไทย	46
7	สภาพการใช้ที่ดินของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 - 2561	50
8	กระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ	52
9	การประเมินระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินชั้นบนของประเทศไทย	57
10	ระบบการจัดการมูลสัตว์ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร	95
11	แผนที่พื้นที่ปลูกอ้อยและที่ตั้งโรงงานน้ำตาลประเทศไทย	99
12	วัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบเปียก	103
13	แผนผังการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์	123
14	การไหลกลับต่อซังข้าว	195
15	ลักษณะการผลิตปุ๋ยหมักแบบง่ายใช้การแพร่ของอากาศแบบไม่กลับกอง	201
16	ลักษณะการเติมอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศเข้ากองปุ๋ยหมัก	202
17	เทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยหมักแบบควบคุมสภาวะ และลดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยผ้าใบกันน้ำโพลีเอทิลีนในประเทศสหรัฐอเมริกา	202
18	ลักษณะรูพรุนของถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิด	232
19	ลักษณะของเซลล์แบคทีเรียในรูพรุนถ่านชีวภาพแกลบ (A) ขยาย 4,000 เท่า (B) ขยาย 8,000 เท่า	237
20	แบบเตาเผาไบโอชาร์แบบตั้ง ขนาดบรรจุ 50 ลิตร	242
21	แบบเตาเผาไบโอชาร์แบบตั้ง ขนาดบรรจุ 250 ลิตร	243
22	แบบเตาเผาไบโอชาร์ขนาดอุตสาหกรรม	243
23	แนวทางการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรแบบ zero waste เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน	276

แบบการเสนอผลงาน

ระดับเชี่ยวชาญ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลบุคคล/ตำแหน่ง

ชื่อผู้ขอประเมิน นางจันจิรา แสงสีเหลือง

ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ

หน้าที่ความรับผิดชอบของตำแหน่งปัจจุบัน

1. วิจัย แยก และคัดเลือกจุลินทรีย์ย่อยสลายสารเคมีทางการเกษตร และกำจัดโลหะหนักที่ตกค้างในดินและน้ำ พัฒนาเป็นเทคโนโลยีการบำบัดสารมลพิษทางดินและน้ำ เพื่อลดการปนเปื้อนสารมลพิษสู่ผลผลิตทางการเกษตร และการผลิตทางการเกษตรอย่างยั่งยืน
2. ศึกษา วิจัย กลไกการย่อยสลายการเปลี่ยนรูปโครงสร้างของสารเคมีทางการเกษตร และโลหะหนัก เพื่อลดมลพิษทางดินและน้ำ
3. วิจัย แยก คัดเลือกจุลินทรีย์ดินควบคุมศัตรูพืช เพื่อลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร และลดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและน้ำ
4. วิเคราะห์จุลินทรีย์จัดการมลพิษทางดินและน้ำ เพื่อสนับสนุนงานทางวิชาการ
5. ปฏิบัติงานอื่น ๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย

ตำแหน่งที่จะแต่งตั้ง นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ

หน้าที่ความรับผิดชอบของตำแหน่งที่จะแต่งตั้ง

1. ศึกษา วิเคราะห์ วิจัย กำหนดวิธีการประเมินผล และพัฒนาเกี่ยวกับงานวิชาการด้านบำรุงดิน โดยใช้อินทรีย์วัตถุและวัสดุอื่น ๆ มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวภาพด้านจุลินทรีย์ ในการแปรสภาพอินทรีย์วัตถุได้เป็นผลิตภัณฑ์อินทรีย์สารประกอบด้วยธาตุอาหาร และสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช สำหรับเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมถึงการกำหนดคุณภาพ มาตรฐาน และพัฒนาระบบฐานข้อมูลของผลิตภัณฑ์อินทรีย์สารและชีวภาพสำหรับบำรุงดิน เพื่อพัฒนา หรือแก้ไขปัญหาทรัพยากรดิน ให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่
2. ให้คำปรึกษา แนะนำ และควบคุมทางวิชาการเกี่ยวกับงานบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ เป็นที่ปรึกษาของกรมพัฒนาที่ดินในงานวิชาการด้านบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ เพื่อสนับสนุนการดำเนินงานของหน่วยงาน และใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณากำหนดนโยบาย แผนงาน และมาตรการปฏิบัติงานในพื้นที่ ให้เป็นไปตามหลักวิชาการ

3. เป็นผู้แทนกรมพัฒนาที่ดินในการประชุมทางวิชาการด้านบำรุงดิน ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ติดต่อประสานงาน และร่วมมือทางวิชาการด้านบำรุงดินกับผู้เชี่ยวชาญ และองค์การระหว่างประเทศ เพื่อชี้แจงข้อมูลแลกเปลี่ยนความคิด และข้อเสนอแนะทางวิชาการ เพื่อให้เกิดความร่วมมือในทางวิชาการ

4. ปฏิบัติงานอื่น ๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย เพื่อสนับสนุนให้กรมพัฒนาที่ดินในภาพรวมบรรลุภารกิจที่กำหนดไว้

ส่วนที่ 2 ผลงานที่เป็นผลการปฏิบัติงานหรือผลสำเร็จของงาน

1. เรื่อง การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน

Management of agricultural and agro-industrial waste materials for soil quality restoration

2. ระยะเวลาการดำเนินการ มกราคม 2566 - มิถุนายน 2566

สถานที่ดำเนินการ กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน

3. ความรู้ ความชำนาญงาน หรือความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

การดำเนินการจัดทำเอกสารวิชาการฉบับนี้ ได้ใช้ความรู้ด้านปฐพีศาสตร์ ความรู้ด้านการบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ ความรู้ด้านการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีทางชีวภาพ มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ความรู้ด้านปฐพีศาสตร์

3.1.1 หลักการของคุณภาพดิน เน้นขีดความสามารถของดินแต่ละชนิด ในการทำหน้าที่ในสภาพธรรมชาติ หรือภายในขอบเขตที่มีการจัดการ เพื่อความสามารถในการผลิตพืชและสัตว์ โดยคุณภาพของดินมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 คุณภาพดินที่มาจากภายใน (inherent soil quality) ขึ้นอยู่กับวัฏธรรมาชาติเป็นองค์ประกอบของดิน ส่วนที่ 2 คุณภาพดินส่วนที่มีพลวัต (dynamic soil quality) สมบัติของดินบางชนิดเปลี่ยนแปลงภายใต้การใช้ประโยชน์ที่ดิน และการจัดการดินของมนุษย์ โดยมีวิธีการจัดการที่ทำให้คุณภาพดินส่วนนี้ดีขึ้น หรือดำรงรักษาคุณภาพดินที่ดีอยู่แล้วให้ดีขึ้นตามหลักการตัวชี้บอคุณภาพดิน (indicators of soil quality) ของ USDA (2001a) ทั้ง 3 ด้าน ประกอบด้วยสมบัติของดินทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน เป้าหมายของการจัดการดินเพิ่มอินทรีย์วัตถุ และรักษาอินทรีย์วัตถุได้อย่างยั่งยืน เป้าหมายการจัดการ 3 ด้าน คือ (1) เป้าหมายด้านผลิตภาพ คือ การจัดการเพื่อส่งเสริมเพิ่มพูน หรือดำรงไว้ซึ่งระดับของการผลิตพืชเศรษฐกิจทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ (2) เป้าหมายด้านการหมุนเวียนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร และของเสียจากคอกสัตว์ คือ การจัดการมูลสัตว์ และของเสียอื่น ๆ มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม โดยนำมาใช้ประโยชน์ด้านการปรับปรุงดิน อันเป็นการเพิ่มคุณค่าของสิ่งเหล่านี้ และ (3) เป้าหมายด้านการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม คือ การใช้วิธีปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มพูนหรือดำรงไว้ซึ่งคุณภาพดิน อากาศ และน้ำที่ดี ทั้งในไร่นา และระบบนิเวศ

3.1.2 ตัวชี้บอกคุณภาพดิน

ตัวชี้บอกคุณภาพดินไม่ใช่การประเมินผลผลิตภาพดินทำได้โดยการวัดปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ต่อเวลา เช่น กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ผลผลิตพืชเป็นผลของการทำหน้าที่อย่างหนึ่งของดิน ส่วนการประเมินคุณภาพดินมิใช่การวัดผลผลิตพืช หรือวัดสมบัติดินอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่เป็นการประเมินตัวชี้บอกที่กำหนดไว้ชุดหนึ่ง ตัวชี้บอกอาจเป็นสมบัติของดินทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ กระบวนการในดินและลักษณะของดิน การประเมินตัวชี้บอกดังกล่าวเพื่อหาว่าการจัดการดินที่ผ่านมาทำให้ดินมีการเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใด

1) ลักษณะสำคัญของตัวชี้บอก แบ่งตามความสัมพันธ์กับกระบวนการในดิน เป็น 3 แบบ คือ ตัวชี้บอก ทางฟิสิกส์ ทางเคมี และทางชีวภาพ โดยสมบัติต่าง ๆ ของดินที่มีศักยภาพในการใช้เป็นเครื่องชี้วัดคุณภาพดิน สำหรับตัวชี้บอกที่จะเป็นประโยชน์ในการประเมินคุณภาพดิน มีลักษณะสำคัญ 7 ประการ คือ

- (1) วัดง่าย
- (2) ผลการวัดบอกการเปลี่ยนแปลงด้านการทำหน้าที่ของดิน
- (3) ใช้เวลาในการวัดไม่นานนัก
- (4) ผู้วัดทำงานได้ง่ายและถ้าสามารถวัดในภาคสนามได้ด้วยก็จะดีมาก
- (5) ไวต่อผลกระทบของการจัดการดินและภูมิอากาศ
- (6) เป็นตัวแทนของสมบัติดินทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ
- (7) วัดด้วยวิธีการเชิงปริมาณ หรือเชิงคุณภาพ

ตัวชี้บอกคุณภาพดินที่เลือกมาเพื่อการวัดนั้น มีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง ต้องเป็นสมบัติจำเพาะของดินซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณภาพดินโดยตรง หรือมีความสัมพันธ์กับคุณภาพดินทางอ้อม เช่น อินทรีย์วัตถุของดินเป็นตัวชี้บอกหนึ่งที่ใช้กันอย่างมาก

2) ตัวชี้บอกคุณภาพดิน (indicators of soil quality) มี 3 ประเภท คือ ตัวชี้บอกด้านฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ ซึ่งตัวชี้บอกที่สำคัญสำหรับการประเมินคุณภาพดิน (ยงยุทธ, 2557 ก) แสดงดังตารางที่ 1 โดยตัวชี้บอกแต่ละประเภทเกี่ยวข้องกับหน้าที่ต่าง ๆ ของดิน ดังนี้

(1) ตัวชี้บอกทางฟิสิกส์ เกี่ยวข้องกับหน้าที่ของดินด้านเสถียรภาพทางกายภาพ และการค้ำจุน ความสัมพันธ์ของน้ำในดินและพืช และถิ่นที่อยู่ ตัวชี้บอกคุณภาพดินทางฟิสิกส์ คือ สมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่ผันแปรได้ด้วยอิทธิพลของการจัดการดิน เช่น ความหนาแน่นรวม เสถียรภาพของเม็ดดิน สภาพการแทรกซึมน้ำได้ และความต้านทานต่อการแท่งทะลุ

(2) ตัวชี้บอกทางเคมี เกี่ยวข้องกับหน้าที่ของดิน ด้านวัฏจักรธาตุอาหาร การกรอง และภาวะบัฟเฟอร์ ตัวชี้บอกคุณภาพดินทางเคมี คือ สมบัติทางเคมีของดินที่การจัดการดินมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น อินทรีย์วัตถุ ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน การนำไฟฟ้า โลหะหนัก

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ และอื่น ๆ

(3) ตัวชี้บอทางชีวภาพ เกี่ยวข้องกับหน้าที่ของดิน ความหลากหลายทางชีวภาพ วัฏจักรธาตุอาหาร และการกรอง ตัวชี้บอกคุณภาพดินทางชีวภาพ คือ สมบัติทางชีวภาพของดินที่เปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีการจัดการดินต่างกัน เช่น ประชากรและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน สำหรับการวัดเกี่ยวกับจุลินทรีย์ดิน มวลชีวภาพของจุลินทรีย์ดิน การหายใจของดิน และไส้เดือนดิน

ตารางที่ 1 ตัวชี้บอกที่สำคัญสำหรับการประเมินคุณภาพดิน

ด้านฟิสิกส์	ด้านเคมี	ด้านชีวภาพ
1. โครงสร้าง	1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	1. อัตราการหายใจของ
2. ความหนาแน่นรวม	2. ค่าความจุแลกเปลี่ยน	จุลินทรีย์
3. การระบายน้ำ	แคตไอออน	2. ไส้เดือน
4. อัตราการซึมผ่าน	3. ธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์	3. ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์
5. ความจุความชื้น	4. อินทรีย์วัตถุ	4. มวลชีวภาพของจุลินทรีย์
6. ความแข็ง (strength)	5. เกลือที่ละลายได้	5. ความหลากหลายทางชีวภาพ
หรือความทนทานต่อ	6. การปนเปื้อนของโลหะหนัก	6. เชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อ
การสอดแทรก	และสารชีวพิษ	พืช สัตว์ และมนุษย์
(penetration resistance)		

ที่มา: ยงยุทธ (2557ก)

3.1.3 การจัดการดินมีคุณภาพดี เพื่อเพิ่มผลผลิตของดินในพื้นที่เพาะปลูกตามหลัก 6 ประการ (USDA, 2001a) ดังนี้

- 1) เพิ่มอินทรีย์วัตถุ 3 วิธีการ ได้แก่ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ การปลูกพืชปุ๋ยสด และการไถกลบเศษพืช
- 2) ไม่ไถพรวนเกินความจำเป็น โดยการไถพรวนแบบอนุรักษ์ ได้แก่ การลดการไถพรวน การไถพรวนแบบหว่านเมล็ด และ การไม่ไถพรวนดิน
- 3) จัดการศัตรูพืชและธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ
- 4) ป้องกันมิให้ดินแน่น

5) มีวัสดุปกคลุมผิวดิน การจัดการเศษซากพืชเพื่อให้มีวัสดุปกคลุมดินลดปัญหา 2 ประการ คือ เกิดการกร่อนดินง่าย และเกิดขึ้นแข็งปิดผิวดิน

6) ใช้ระบบปลูกพืชหลายชนิด เป็นการใช้ประโยชน์จากความหลากหลายชนิดพืชในระบบนิเวศ เช่น การปลูกพืชแถบ และการปลูกพืชหมุนเวียน

3.2 ความรู้การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

3.2.1 หลักการข้อพิจารณาทางเทคนิคการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้อย่างคุ้มค่าหากมีการจัดการอย่างถูกต้อง เนื่องจากวัสดุเหลือใช้มีหลายประเภท และมีความแตกต่างกัน การนำมาใช้ประโยชน์ต้องคำนึงทั้งในเรื่องขององค์ประกอบทางเคมีและปริมาณ การจัดการที่ดีในขบวนการผลิตจะลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางดิน น้ำ และอากาศ อันเกิดจากการสลายตัวของวัสดุเหลือใช้ดังกล่าว อีกทั้งควรพิจารณาถึงสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์คุณค่าทางอาหารพืช ซึ่งวัสดุเหลือใช้ควรมีคุณค่าทางธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในระดับที่พอใช้ แต่ถ้ามีธาตุอาหารที่น้อย ควรมีการจัดการการใช้ประโยชน์ร่วมกับวัสดุชนิดอื่น ๆ หรือการเพิ่มเติมธาตุอาหารพืชลงไป เช่น ปุ๋ยเคมี หรือสารอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูงเป็นต้น และต้องคำนึงถึงระดับเกณฑ์มาตรฐานของการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน และมาตรฐานสารอินทรีย์อันตราย และสารอินทรีย์อันตรายของวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ก่อนนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

ข้อพิจารณาทางเทคนิคแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มาใช้ประโยชน์มีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องของชนิด องค์ประกอบ และปริมาณการนำไปใช้ประโยชน์ควรพิจารณาปัจจัยในทางเทคนิค (Smith, 1981; พูนสุข, 2558) ดังนี้

1) ความยากง่ายในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพ (biological availability) ต้องคำนึงถึงความยากง่ายต่อการถูกย่อยสลายของวัสดุเหลือใช้ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อต้นทุนการผลิต เนื่องจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ต้องผ่านกระบวนการแปรสภาพจะมีต้นทุนที่สูงขึ้น สามารถแบ่งตามความยากง่ายที่ถูกย่อยสลาย ดังนี้

(1) สารย่อยสลายยาก เช่น ชีวมวล หรือสารลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) เช่น เซลลูโลสมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะบีตา 1, 4 - กลูโคซิดิก (beta 1, 4 - glycosidic) ซึ่งทำให้เซลลูโลสถูกย่อยสลายได้ยากกว่าแป้ง

(2) สารย่อยสลายปานกลาง เช่น แป้ง มีโครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1, 4 - กลูโคซิดิก (alpha 1, 4 - glycosidic) ซึ่งถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่า

(3) สารย่อยสลายได้ง่าย เช่น กากน้ำตาล และน้ำตาลจากเยื่อกระดาษ ซึ่งสารเหล่านี้ประกอบด้วย น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ง่าย

2) ความเข้มข้น ระดับความเข้มข้นของสารอาหารในวัสดุเหลือใช้ ดังนี้

(1) ความเข้มข้นสูงในรูปของแข็ง เช่น เศษเนื้อปลา

(2) ความเข้มข้นสูงในรูปของเหลว เช่น กากน้ำตาล มีปริมาณน้ำตาล

52 เปอร์เซ็นต์

(3) ความเข้มข้นต่ำในรูปของเหลว เช่น แล็กโทส (lactose) น้ำตาลจาก

เยื่อกระดาษ

(4) เจือจางมาก เช่น ของเหลวจากกระบวนการผลิตและการล้าง

3) คุณภาพของวัสดุเหลือใช้พิจารณาในเรื่องความบริสุทธิ์ ดังนี้

(1) คุณภาพดี มีความสะอาด เช่น กากน้ำตาล แล็กโทส วัสดุเหลือใช้เหล่านี้มีความสะอาดปราศจากสารปนเปื้อน ทำให้มีโอกาสมากในการใช้เป็นสารอาหารสำหรับการเลี้ยงเชื้อ

(2) คุณภาพปานกลาง เช่น ฟางข้าว

(3) คุณภาพต่ำ มีความสกปรก เช่น ขยะ เศษอาหาร ของเสียบ่อบำบัด

4) แหล่งของวัสดุเหลือใช้ ดังนี้

(1) แหล่งที่มีการเก็บรวบรวม แหล่งที่มีปริมาณวัสดุเหลือใช้มาก เช่น โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

(2) แหล่งที่มีการรวบรวมเฉพาะ โดยจำแนกวัสดุเหลือใช้ตามชนิดของวัตถุดิบ เช่น ชานอ้อย กากปาล์ม ผัก ผลไม้ และยางพารา เป็นต้น

(3) แหล่งที่มีอยู่อย่างกระจายทั่ว ๆ ไป ได้แก่ วัสดุเหลือใช้ในไร่นา เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ใบและต้นอ้อย เป็นต้น

5) ปริมาณในแต่ละฤดูกาล

วัตถุดิบบางชนิดที่นำมาแปรรูปในโรงงานอาจขึ้นกับฤดูกาล ซึ่งแปรเปลี่ยนระหว่างปี ส่งผลให้ชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือใช้เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยระยะเวลาในฤดูกาลของวัตถุดิบและวัสดุเหลือใช้ ดังนี้

(1) ระยะเวลาสั้น เช่น วัตถุดิบประเภทอาหารทะเล ปาล์มน้ำมัน

(2) ระยะเวลาสั้นมาก เช่น วัตถุดิบพวกผักและผลไม้

6) การใช้ประโยชน์ทางอื่น วัสดุเหลือใช้ต่างชนิดมีแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ต่างกัน ดังนี้

(1) การนำไปใช้ประโยชน์ทางอื่นได้บ้าง เช่น ฟางข้าว และรำข้าวใช้เป็นอาหารสัตว์

(2) การนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ เช่น ขยะ ซึ่งมักกำจัดโดยการเผาทิ้ง

(3) การที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัด จัดเป็นลักษณะเชิงลบ (negative) เช่น น้ำเสียของโรงงาน ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัด

การพิจารณานำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยมากมักคำนึงถึงโลหะหนักที่อาจปนเปื้อนอยู่ในวัสดุนั้น ๆ เช่น แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท เป็นต้น ต้องการผ่านมาตรฐาน Total Threshold Limit Concentration (TTLC) เกณฑ์ของกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2566 อีกทั้งควรพิจารณาถึงสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ เช่น การมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง การมีค่าการนำไฟฟ้า และการมีปริมาณโซเดียม เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหลือใช้ควรมีคุณค่าทางธาตุอาหารพืช ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในระดับที่พอใช้ แต่ถ้ามีธาตุอาหารที่น้อยเกินไป ควรทำการเพิ่มเติมธาตุอาหารลงไป เช่น ปุ๋ยเคมี ทั้งนี้เพื่อปรับคุณค่าของธาตุอาหารพืชให้สูงขึ้น การนำวัสดุเหลือใช้ไปทำปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น ดังนั้นควรพิจารณาถึงความใกล้เคียงจากแหล่งของวัสดุเหลือใช้ว่าคุ้มกันหรือไม่ และจากต้นทุนค่าขนส่งที่จะนำวัสดุเหลือใช้จากแหล่งหนึ่งไปใช้ประโยชน์ในอีกแหล่งหนึ่ง (ชัยสิทธิ์, 2563)

ดังนั้นการรวบรวมข้อมูลวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากพืชทั้ง 8 ชนิดที่มีปริมาณผลผลิตสูง มูลสัตว์จากสัตว์เลี้ยงเศรษฐกิจ และวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร 5 ประเภท ได้แก่ น้ำตาล น้ำมันพืช แป้งมันสำปะหลัง เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และแปรรูปอาหารทะเล ประกอบด้วยข้อมูลแหล่งผลิต ชนิด และองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิด รวมทั้งแนวทางการใช้ประโยชน์เพิ่มประสิทธิภาพการนำวัสดุเหลือใช้เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารสำหรับบำรุงดินในพื้นที่เกษตรของประเทศ

3.2.2 กระบวนการในการแปรสภาพด้วยจุลินทรีย์ได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความคุ้มค่าหรือเพิ่มมูลค่า เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน และเป็นแหล่งอาหารพืช จากการประยุกต์ใช้ 3 แขนงของเทคโนโลยีชีวภาพ (Smith, 1981) ได้แก่

- 1) เทคโนโลยีการหมัก ได้แก่ การไถกลบ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และสารอินทรีย์
- 2) ผลิตภัณฑ์ชีวภาพใหม่ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เอนไซม์ กรดอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์เซลล์โปรตีน และผลิตภัณฑ์ชีวภาพ
- 3) เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ถ่านชีวภาพ เพื่อการปรับปรุงดิน และการกักเก็บคาร์บอนในดินระยะยาว

3.3 ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

การดำเนินการจัดทำเอกสารวิชาการฉบับนี้ ได้ใช้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ในการจัดทำคู่มือองค์ความรู้ ด้านการบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ ด้านเทคโนโลยีชีวภาพในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และผลิตภัณฑ์สารอินทรีย์ของหน่วยงานกรมพัฒนาที่ดิน เป็นเอกสารเผยแพร่สำหรับผู้บริหาร นักวิชาการ และเกษตรกร นำไปใช้ประโยชน์ (แสดงเอกสารเผยแพร่ที่ภาคผนวก ก ข้อ 2. - 13.) ดังนี้

3.3.1 คู่มือ สารเร่งจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตทางการเกษตร ปี 2550
สัดส่วนร้อยละ 10

3.3.2 คู่มือ มหัศจรรย์สารเร่ง พด. 7 สำหรับผลิตสารป้องกันแมลงศัตรูพืช ปี 2550
สัดส่วนร้อยละ 15

3.3.3 คู่มือ การจัดการอินทรีย์วัตถุ เพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปี 2551 สัดส่วนร้อยละ 10

3.3.4 คู่มือ จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด. 11 ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ปี 2551 สัดส่วนร้อยละ 15

3.3.5 คู่มือ ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพ กรมพัฒนาที่ดิน เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร สัดส่วนร้อยละ 10

3.3.6 คู่มือ การจัดการอินทรีย์วัตถุ เพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปี 2558 สัดส่วนร้อยละ 15

3.3.7 คู่มือ แนะนำการจัดการขยะ เพื่อส่งเสริมการใช้สารอินทรีย์ลดการใช้สารเคมี ปี 2561 สัดส่วนร้อยละ 15

3.3.8 คู่มือ การใช้ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพ กรมพัฒนาที่ดิน เพื่อส่งเสริมการใช้สารอินทรีย์ลดการใช้สารเคมี ปี 2562 สัดส่วนร้อยละ 10

3.3.9 คู่มือ การผลิตและการใช้สารบำบัดน้ำเสียจัดกลิ่นเหม็น ซุปเปอร์ พด. 6 ปี 2566 สัดส่วนร้อยละ 10

3.3.10 คู่มือ Soil Biotechnology for Increasing crop Production in Thailand สัดส่วนร้อยละ 10

3.3.11 คู่มือ Soil Biotechnology in Thailand ปี 2559 สัดส่วนร้อยละ 10

3.3.12 คู่มือ Organic Matter and Soil Biotechnology Management in Thailand ปี 2559 สัดส่วนร้อยละ 10

4. สรุปสาระสำคัญ ขั้นตอนการดำเนินการ และเป้าหมายของงาน

4.1 สรุปสาระสำคัญ

เนื่องจากสถานภาพดินในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย ภาพรวมปริมาณอินทรีย์วัตถุจัดอยู่ในระดับต่ำ มีพื้นที่กระจายทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ดังนั้นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินเป็นแนวทางการฟื้นฟูคุณภาพดิน และดำรงรักษาคุณภาพดินดีสู่ความยั่งยืน อินทรีย์วัตถุเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางชีวภาพของดิน อย่างไรก็ตามประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตพืชหลากหลายชนิด อีกทั้งปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมีการขยายตัวสูง จึงทำให้มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรหลากหลายชนิด ซึ่งมีสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน มีศักยภาพในการเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหารพืช สารอินทรีย์ และสารอินทรีย์จากธรรมชาติที่สำคัญสำหรับการบำรุงดิน ประกอบกับข้อมูลทางด้านนี้ยังขาดการรวบรวมข้อมูลของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรองค์ความรู้ และเทคโนโลยีชีวภาพในการแปรสภาพด้วยจุลินทรีย์ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณภาพ และเพิ่มมูลค่า เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ด้านการบำรุงดินได้อย่างคุ้มค่า อีกทั้งยังขาดการรวบรวมข้อมูลผลงานวิจัยการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรด้านการบำรุงดิน ดังนั้น เอกสารวิชาการฉบับนี้ ได้รวบรวมข้อมูลสถานภาพดินในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย ได้แก่ การประเมินอินทรีย์คาร์บอนในดิน การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินตามรายภาคของประเทศไทย ข้อมูลด้านภาพรวมของแหล่ง ชนิด และองค์ประกอบของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร 5 ประเภท ได้แก่ วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป่งมันสำปะหลัง วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำมันปาล์ม วัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล จากการรวบรวมข้อมูลการกระจายตามรายภาคของประเทศไทย และศักยภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ด้านการบำรุงดิน ในการพิจารณาถึงชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือใช้ที่แน่นอนมีมากพอที่จะใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน รวมทั้งหลักการจัดการคุณภาพดินในพื้นที่เกษตรกรรม จากข้อมูลดังกล่าว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนางานด้านบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน เป็นแหล่งข้อมูลในการอ้างอิงและสืบค้น สำหรับนักวิชาการ และเกษตรกร ใช้เป็นเอกสารคู่มือสำหรับส่งเสริมเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรในท้องถิ่น หมุนเวียนวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์ในการบำรุงดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน เพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และลดต้นทุนการเคลื่อนย้ายแหล่งอินทรีย์วัตถุจากนอกพื้นที่ เป็นการนำจุดเด่นด้านการปรับปรุงดินในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ในพื้นที่มาใช้ประโยชน์

ทางการเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินได้อย่างคุ้มค่า ซึ่งเอกสารวิชาการฉบับนี้ ได้ยกตัวอย่างผลงานวิจัย การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรในการหมุนเวียนมวลชีวภาพ มาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ธาตุอาหารพืช และเพิ่มผลผลิตของพืช สามารถพัฒนาเป็นฐานข้อมูลเชิงนโยบาย และเชิงพื้นที่ในการพัฒนางานด้านบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ จากเศษวัสดุเหลือใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินแบบผสมผสานอย่างยั่งยืนในระบบเกษตร เพื่อให้ผู้อ่านสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ต่อไป

4.1.1 วัตถุประสงค์

1) จัดทำเอกสารวิชาการการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน

2) วิเคราะห์ประเมินปริมาณ ชนิด แหล่ง และองค์ประกอบทางเคมี จัดแบ่ง ชนิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรตามภาคของประเทศไทย

3) รวบรวมเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารพืช

4) แนวทางการใช้ประโยชน์ในการบำรุงดินเพิ่มอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารพืช จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตรในพื้นที่ที่เหมาะสม เพื่อการฟื้นฟูคุณภาพดิน

4.1.2 นิยามศัพท์

ดิน หมายความว่ารวมถึง หิน กรวด ทราย แร่ธาตุ น้ำ และอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ที่เจือปนกับเนื้อดินด้วย

การปรับปรุงดิน หมายถึง การพัฒนาที่ดินไม่เหมาะสมกับการเกษตร ให้สามารถใช้ทำการเพาะปลูกพืชให้เจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ตามปกติ เช่น การปรับปรุงดินทางกายภาพ เป็นการปรับสภาพโครงสร้างของดินให้อ่อนนุ่มต่อการเจริญเติบโตของรากพืช ทำให้มีช่องว่างสำหรับการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศ ส่วนการปรับปรุงดินทางเคมีเป็นการปรับสภาพของดินให้สามารถรองรับกิจกรรมทางชีวเคมีของสิ่งมีชีวิตซึ่งรวมถึงรากพืชและต้นพืชด้วย ทำให้ดินมีปริมาณธาตุอาหารสมดุล เช่น ดินมีความเป็นกรดเป็นด่างไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น

การบำรุงดิน หมายถึง การทำให้ดินด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพดีขึ้น มีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น โดยการเพิ่มธาตุอาหารพืชในดินในรูปของปุ๋ยเคมี หรือปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยชีวภาพ เพื่อให้พืชเจริญงอกงามและให้ผลผลิตมากขึ้น

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หมายถึง สิ่งที่เหลือจากผลผลิตทางการเกษตร หรือสิ่งที่ทิ้งค้างจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร หรือซากทางการเกษตร เช่น ฟาง ตอซังข้าว ใบอ้อย หรืออื่น ๆ ที่มีมาจากภาคการเกษตร

วัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมการเกษตร หมายถึง วัสดุเศษเหลือที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร มีลักษณะของวัสดุเศษเหลือทิ้งที่เป็นของแข็งและของเหลว

4.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

4.2.1 กำหนดกรอบ ขอบเขตของเนื้อหาของเอกสารคู่มือทางวิชาการ การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน

4.2.2 รวบรวมข้อมูล ได้แก่

1) การรวบรวมข้อมูลสถานภาพดินในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย ได้แก่ การประเมินอินทรีย์คาร์บอนในดิน การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย

2) รวบรวมข้อมูลหลักการประเมินคุณภาพดิน วิธีการจัดการคุณภาพดินสำหรับพื้นที่เพาะปลูก และหลักเกณฑ์การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน

3) การรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แหล่งวัสดุ ปริมาณ ชนิด และองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร

4) การรวบรวมข้อมูลเทคโนโลยีการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร เพื่อใช้ประโยชน์ในการบำรุงดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารพืชในดิน รวมถึงผลงานวิจัยการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

4.2.3 วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเพื่อจัดเตรียมเค้าโครงคู่มือ และรายละเอียดของเนื้อหา

4.2.4 จัดทำเอกสารวิชาการ การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน

4.3 เป้าหมายของงาน

4.3.1 คุณภาพดิน

คุณภาพดิน หมายถึง ความสามารถของดินในการคงผลิตภาพของสิ่งมีชีวิต และรักษาคุณภาพของสิ่งแวดล้อมภายในระบบนิเวศหนึ่ง ๆ และเมื่อพิจารณาจากมุมมองด้านการผลิตพืชทางการเกษตร (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์, 2562)

ด้านการผลิตทางการเกษตร คุณภาพดิน คือ ความสามารถของดิน หรือสภาพที่เหมาะสมของดินในการสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืช โดยไม่ส่งผลทำให้ดินเสื่อมโทรมหรือทำความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (ยงยุทธ, 2557ก)

คุณภาพดิน คือ ความสามารถของดินในการทำหน้าที่เพื่อให้พืชเจริญเติบโต โดยไม่ทำให้เกิดการเสื่อมโทรมของดิน หรือไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (Gregorich and Carter, 1997)

1) หลักการของคุณภาพดิน

คุณภาพดิน เน้นขีดความสามารถของดินแต่ละชนิดในการทำหน้าที่ในสภาพธรรมชาติ หรือภายในขอบเขตที่มีการจัดการ เพื่อความสามารถในการผลิตพืชและผลิตสัตว์ โดยคุณภาพของดินมี 2 ส่วน (ยังยุทธ, 2557ก) คือ ส่วนที่ 1 คุณภาพดินที่มาจากภายใน (inherent soil quality) ขึ้นอยู่กับวัตุธรรมชาติเป็นองค์ประกอบของดิน ซึ่งได้มาจากอิทธิพลของลักษณะทางธรณีวิทยาจากการสลายตัวของวัตถุดินกำเนิด และสภาพภูมิประเทศ (Carter *et al.*, 1997) ส่วนที่ 2 คุณภาพดินส่วนที่มีพลวัต (dynamic soil quality) สมบัติของดินบางชนิดเปลี่ยนแปลงภายใต้การใช้ที่ดินและการจัดการดินของมนุษย์ ดังนั้นการจัดการที่ทำให้คุณภาพดินส่วนนี้ดีขึ้น หรือดำรงรักษาคุณภาพดินที่ดีอยู่แล้วให้ดีขึ้น จึงจะถือว่าเป็นการจัดการที่นำไปสู่ความยั่งยืน เช่น การเติมปริมาณอินทรีย์วัตถุที่อาจเปลี่ยนแปลงภายใต้การจัดการในระยะเวลา 1 - 10 ปี จัดการให้เปลี่ยนแปลงได้ในช่วงเวลาค่อนข้างสั้น ภายใต้การปฏิบัติเพื่อการผลิตพืชในระบบการเกษตรที่ยั่งยืน (พิบูลย์, 2554)

2) ตัวชี้วัดบอกคุณภาพดิน (indicators of soil quality)

การเลือกใช้สมบัติของดินเป็นตัวชี้วัดเพื่อประเมินคุณภาพดินนั้น ขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการจัดการดินในการใช้ที่ดิน โดยสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินหลายประการ สามารถกำหนดเป็นตัวชี้วัดคุณภาพดิน และใช้ในการกำหนดดัชนีคุณภาพดินสำหรับประเมินคุณภาพดินได้ (Gregorich and Carter, 1997) โดยตัวชี้วัดบอกคุณภาพดิน มี 3 ประเภท คือ ด้านฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ (ยังยุทธ, 2557ก) ดังตารางที่ 2

(1) ด้านฟิสิกส์ เสถียรภาพทางกายภาพ และการค้ำจุนพืชถิ่นที่อยู่ ตัวชี้บ่งที่สำคัญสำหรับการประเมินคุณภาพดิน ได้แก่ โครงสร้างดิน ความหนาแน่นรวม ความแข็ง อัตราการซึมน้ำ ความสัมพันธ์ของน้ำในดินและระบายน้ำ ความจุความชื้น และความทนทานต่อการสอดแทรก

(2) ด้านเคมี วัฏจักรธาตุอาหาร การกรองและภาวะบัฟเฟอร์ ตัวชี้บ่งที่สำคัญสำหรับการประเมินคุณภาพดิน ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ อินทรีย์วัตถุ เกลือที่ละลายน้ำได้ การปนเปื้อนโลหะและสารชีวพิษ

(3) ด้านชีวภาพ ความหลากหลายทางชีวภาพ และวัฏจักรธาตุอาหาร ตัวชี้บ่งที่สำคัญสำหรับการประเมินคุณภาพดิน ได้แก่ อัตราการหายใจ ไส้เดือน ชนิด และจำนวน

จุลินทรีย์ มวลชีวภาพของจุลินทรีย์ ความหลากหลายทางชีวภาพ และเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อพืช สัตว์ และมนุษย์ วิธีการตรวจวัด 3 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 นับจำนวน หรือหามวลชีวภาพของจุลินทรีย์ในดิน การตรวจนับ จุลินทรีย์ด้วยวิธีการนับเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อ หรือการติดตามตรวจสอบคุณภาพดินทางชีวภาพ เช่น สัตว์หน้าดิน ทำให้เกิดการหมุนเวียนถ่ายทอดพลังงานภายใต้ห่วงโซ่อาหาร (food chain) และ สายใยอาหาร (food web) แมลงที่เป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศอย่างหนึ่ง เช่น แมลงหางดีด เป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อนสารเคมีอันตรายในดิน ตัวมูลสัตว์ พื้นที่ที่มีตัวมูลสัตว์ จำนวนน้อย สามารถบ่งชี้ได้ว่าพื้นที่นั้นมีพืชพันธุ์ไม้ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของสัตว์ป่าน้อย บ่งชี้ว่า มีจำนวนสัตว์น้อย (พรรณทิพย์, 2560)

วิธีที่ 2 วัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ จากการหายใจของดิน (soil respiration) ศักยภาพการแร่ธาตุ (mineralization) ไนโตรเจน (nitrogen) และกิจกรรมเอนไซม์ (enzyme activities) การสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ที่จุลินทรีย์ผลิต และการวัด กิจกรรมของเอนไซม์ จึงช่วยให้ทราบถึงหน้าที่ของจุลินทรีย์ (microbial functions) ที่เกิดขึ้นระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ มีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารพืชที่ลงในดินที่มี อิทธิพลต่อคุณภาพดิน (Bandick and Dick, 1999)

วิธีที่ 3 วัดความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ ความหลากหลาย ด้านชนิด การทำหน้าที่ และด้านองค์ประกอบเชิงโครงสร้างทางเคมีของเซลล์ มีวิธีการตรวจสอบ เช่น เทคนิควิโอมิกส์ (metagenomics) เป็นวิธีการศึกษาจีโนม (genome) ของจุลินทรีย์ ทั้งหมดที่มีในหนึ่งชุมชน (community) ในตัวอย่างธรรมชาติ จากการศึกษาความหลากหลายกลุ่ม โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ดิน เช่น ความหลากหลายกลุ่มโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ดินบริเวณ รากข้าวโพด พบดัชนีความหลากหลายของแบคทีเรียสูง มีค่าเท่ากับ 7.572 และพบประชากรมากของ แบคทีเรียในไฟลัม (phylum) Proteobacteria Acidobacteria Bacteroidetes และ Firmicutes โดยเฉพาะในจีนัส (genus) *Arenimonas* *Sphingomonas* และ *Bacillus* ตามลำดับ ซึ่งแบคทีเรีย เหล่านี้ส่วนใหญ่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน จึงช่วยในการหมุนเวียนธาตุอาหาร รวมทั้งสร้าง ฮอโมนพืช และช่วยเพิ่มความต้านทานของพืชในสภาวะเครียดได้ ดังนั้นแบคทีเรียเหล่านี้จึงมี ความสำคัญในระบบนิเวศเกษตร สามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน (อานนท์ และคณะ, 2564; Ujvari *et al.*, 2020) มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของดิน เช่น ความสามารถในการกักเก็บน้ำในดิน การหมุนเวียนของคาร์บอนและไนโตรเจน และฟอสฟอรัสอินทรีย์ การก่อตัวและการรักษาเสถียรภาพ ของโครงสร้างดิน ในระบบการปลูกพืช เนื่องจากดินที่เติมอินทรีย์วัตถุลงดิน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง ของจุลินทรีย์ในระบบนิเวศเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการก่อตัวของคุณภาพดิน (Schutter and Dick, 2002)

ตารางที่ 2 ตัวชี้บอก (indicators) ที่แนะนำให้ทดสอบ เพื่อประเมินคุณภาพดินในแต่ละด้าน

ปัญหาของดินด้าน	ปัญหาเฉพาะ	ตัวชี้วัดที่ควรประเมิน
ฟิสิกส์	การอัดแน่นของดิน	ความหนาแน่นรวม อัตราการซึมน้ำ
	แผ่นแข็งผิวดิน	ความพรุน การเจริญเติบโตของราก
	การระบายน้ำ	เสถียรภาพของเม็ดดิน การยุ่ยของก้อนดิน
	การซึมน้ำของดิน	อัตราการซึมน้ำ สภาพการนำน้ำ
	การกร่อนดิน	เสถียรภาพของเม็ดดิน โครงสร้างดิน
	กายภาพสมบูรณ์	สังเกตร่องรอยการกร่อนในพื้นที่
	เสถียรภาพ	ความลึกของดินเสถียรภาพเม็ดดิน
		เสถียรภาพของเม็ดดิน โครงสร้างดิน
เคมีและ ความอุดมสมบูรณ์	ความจุความชื้นที่เป็น ประโยชน์	การยุ่ยของก้อนดินปริมาณอินทรีย์คาร์บอน
		ปริมาณความชื้นที่ความจุความชื้นสนาม
		ความพรุน
	อินทรีย์วัตถุ	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน เปอร์เซ็นต์ของ
	เศษซากพืช	พื้นผิวดินที่ปกคลุมด้วยเศษซากพืช
	ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	อินทรีย์คาร์บอน ความเป็นกรดเป็นด่าง
		ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน
		ปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ
ชีวภาพ	ความเค็ม	การนำไฟฟ้า สังเกตคราบเกลือบนผิวดิน
	สภาพโซดิก	อัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (เอสเออาร์)
		ความเป็นกรดเป็นด่าง และโครงสร้างดิน
ชีวนภาพ	สิ่งมีชีวิตในดิน	ไส้เดือนดิน การหายใจของดิน
		มวลชีวภาพจุลินทรีย์
	พืชเป็นโรค	ความแข็งแรงของพืช
		สุขภาพของราก และผลผลิต

ที่มา: USDA (2001a, 2001b) อ้างในยางกูร (2557ก)

3) การประเมินคุณภาพดิน

การประเมินคุณภาพดิน หมายถึง การวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติจำเพาะของดินที่เกี่ยวข้องกับหน้าที่ของดิน เพื่อให้ทราบว่าสมบัติจำเพาะของดินดังกล่าว มีการเปลี่ยนแปลงจนส่งผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของดินเพียงใด เป้าหมายสุดท้ายของการประเมินคุณภาพดิน คือ การทราบข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจัดการดินให้มีผลิตภาพสูงอย่างยั่งยืน (ยงยุทธ, 2557ก) การประเมินคุณภาพดินเน้นการประเมิน เพื่อการปฏิบัติในการจัดการดินประกอบด้วย 9 ขั้นตอน (USDA, 2009) ดังนี้

(1) จำแนกปัญหา ขั้นตอนแรกของการทำงาน คือ ค้นหาปัญหาในพื้นที่ โดยศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ที่เคยศึกษา และรายงานมาแล้ว

(2) หาเป้าหมายด้านคุณภาพดินที่มุ่งหวัง เพื่อให้ทราบเป้าหมายที่แท้จริงของเกษตรกร เช่น บางรายต้องการปรับปรุงคุณภาพดินในพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลง เพื่อเพิ่มรายได้จากการผลิตพืช และบางรายมีพื้นที่อยู่บางแปลงดินเสื่อมโทรม ต้องการปรับปรุงเฉพาะแปลงนั้น และบางรายต้องการแก้ปัญหาบางอย่างในพื้นที่

(3) รวบรวมข้อมูลภูมิหลัง ด้วยการปฏิบัติ 3 ประการ คือ

(3.1) สัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของพื้นที่ บันทึกข้อมูลด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน และวิธีการจัดการพื้นที่ในอดีตและปัจจุบัน เพื่อรับทราบประสบการณ์ของเกษตรกรในการใช้ที่ดิน และปัญหาที่พบ

(3.2) รวบรวมข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

(3.3) รวบรวมข้อมูลดินจากรายงานการสำรวจดิน ประเมินสมบัติดินจากภายใน นำข้อมูลทั้งหมดมาใช้ในการประกอบการวางแผนการประเมินคุณภาพดินในขั้นต่อไป และกำหนดตัวชี้บ่งชี้ที่ต้องระบุไว้ในแผนการประเมินคุณภาพดินก็เป็นภาระงานในขั้นนี้ ส่วนการเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์เพื่อประเมินคุณภาพดิน ต้องให้ความสำคัญในเรื่องข้อมูลชุดดิน ระดับปัญหาการร่อนดิน ประวัติการจัดการดินของแต่ละแปลง แล้วจึงกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินเพื่อให้ได้ตัวแทนที่เหมาะสม

(4) วิเคราะห์ข้อมูลด้านทรัพยากรดิน ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพของทรัพยากรดิน และผลการประเมินตัวชี้บ่งชี้ตามเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับระดับคุณภาพของตัวชี้บ่งชี้แต่ละตัว และภาพรวมของคุณภาพดิน

(5) วางเกณฑ์ทางเลือก จากผลการประเมินคุณภาพดิน กำหนดแนวทางการปฏิบัติ เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินที่เหมาะสม ทั้งแง่หลักการและภาคปฏิบัติ โดยให้ทางเลือกตามสมควร เพื่อเปิดโอกาสให้เกษตรกรได้เลือกแนวทางที่ตนพึงพอใจ และเหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจของแต่ละราย

(6) ประเมินทางเลือก สำหรับทางเลือกต่าง ๆ ที่นำเสนอให้เกษตรกรนำไปปฏิบัติ เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินนั้น ควรวิเคราะห์จุดด้อยและจุดเด่นของแต่ละทางเลือก นอกจากนี้ยังต้องอธิบายผลข้างเคียงทั้งด้านบวกและด้านลบของแต่ละทางเลือกต่อระบบนิเวศ ทรัพยากรธรรมชาติ สังคม และวัฒนธรรมความเกี่ยวข้องกันขนาดของฟาร์ม รูปแบบของการทำงานในฟาร์ม ทรัพยากรที่ใช้ ตลอดจนระบบการทำฟาร์มของเกษตรกร ช่วยเหลือเกษตรกรในการพิจารณาทางเลือกต่าง ๆ อย่างรอบคอบ เช่น การนำน้ำทิ้ง กากตะกอนของเสีย และปุ๋ยอินทรีย์ ต้องคำนึงถึงมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2557) และมาตรฐาน Total Threshold Limit Concentration (TTLC) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2566 คือ องค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตราย และสารอินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2566)

(7) ตัดสินใจ เมื่อเกษตรกรเลือกวิธีการที่เหมาะสมและถูกใจแล้ว ควรช่วยวางแผน การปฏิบัติงาน และกำหนดรายละเอียดของการทำงานแต่ละขั้นตอนอย่างชัดเจน ในรูปของเอกสารที่เข้าใจง่าย

(8) ผลักดันให้บรรลุผลตามแผนงาน ช่วยเหลือเกษตรกรทางเทคนิค ที่จำเป็น เพื่อให้สามารถปฏิบัติตามแผนงานครบถ้วนทุกขั้นตอนและราบรื่น

(9) ประเมินผลสัมฤทธิ์ของแผนงาน เพื่อหาว่า (1) เกษตรกรปฏิบัติได้ครบทุกขั้นตอนหรือไม่ (2) มีปัญหาและอุปสรรคใดบ้างที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติตามแผนงานที่กำหนดไว้ (3) การปฏิบัติตามแผนก่อให้เกิดผลตามความคาดหวังหรือไม่ และ (4) ควรปรับปรุงแผนงานอย่างไรบ้าง เพื่อให้ได้ผลดียิ่งขึ้น

4) การเลือกตัวชี้บอก (ยงยุทธ, 2557ก)

การประเมินด้านการจัดการดิน การคัดเลือกสมบัติดินต่าง ๆ จากตัวชี้บอก (indicators) ที่แนะนำให้ทดสอบเพื่อประเมินคุณภาพดินในแต่ละด้าน

(1) กำหนดเป้าหมายหลักในการจัดการดินสำหรับพื้นที่นั้นให้ชัดเจน เช่น ทำการประเมินคุณภาพดินเพื่อใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักส่วนที่ 2 จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้ระบบการจำแนกสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Fertility Capability Soil Classification System; FCC) (Sanchez *et al.*, 2003) ร่วมกับการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน จากสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินที่เป็นข้อจำกัดสำหรับการปลูกพืช เพื่อเสนอแนวทางการใช้ที่ดิน และการจัดการดินทางการเกษตรให้เหมาะสมตามศักยภาพของดินในพื้นที่ หรือการจัดการดินปลูกยางพาราเชิงอนุรักษ์ในลักษณะแบบผสมผสาน และแบบมีพืชชนิดอื่นปลูกร่วมด้วย จะช่วยส่งเสริมคุณภาพดินด้านการเก็บน้ำ โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุและความหนาแน่นรวมดิน เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมคุณภาพดินด้านการเก็บกักน้ำของดินร่วนเนื้อหยาบที่ใช้ปลูกยางพารา (จุฑามาศ, 2564)

(2) เมื่อทราบเป้าหมายหลักในการจัดการดินแล้ว ก็เลือกหน้าที่สำคัญยิ่งของดินที่สัมพันธ์กับเป้าหมายการจัดการนั้น จำแนกเป้าหมายการจัดการไว้ 3 อย่าง คือ (1) เป้าหมายด้านผลิตภาพ คือ การจัดการเพื่อส่งเสริมเพิ่มพูนหรือดำรงไว้ซึ่งระดับของการผลิตพืชเศรษฐกิจทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ (2) เป้าหมายด้านการหมุนเวียนของเสียจากคอกสัตว์ คือ การจัดการมูลสัตว์และของเสียอื่น ๆ มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม โดยนำมาใช้ประโยชน์ด้านการปรับปรุงดิน อันเป็นการเพิ่มคุณค่าของสิ่งเหล่านี้ และ (3) เป้าหมายด้านการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม คือ การใช้วิธีปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มพูนหรือดำรงไว้ซึ่งคุณภาพดิน อากาศ และน้ำที่ดี ทั้งในไร่นา และระบบนิเวศ

5) การประเมินและการตัดสินใจคุณภาพดิน (ยงยุทธ, 2560)

การประเมินด้วยคู่มือประเมินสุขภาพดินของมหาวิทยาลัยคอร์เนล (Cornell soil health assessment training manual) จากการประเมินตัวชี้ 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 การประเมินตัวชี้ทางฟิสิกส์ ชีวภาพ และเคมี ในห้องปฏิบัติการ

ส่วนที่ 2 แปลงผลการวิเคราะห์เป็นคะแนน (score) ระหว่าง 0 - 100 โดยมีเกณฑ์การใช้คะแนน ดังนี้

คะแนนต่ำ 0 - 30

คะแนนปานกลาง > 30 - 70

คะแนนสูง > 70 - 100

ส่วนที่ 3 นำคะแนนจากตัวชี้วัดทุกตัวมาหาเฉลี่ยแล้วตัดสินระดับคุณภาพดิน

คะแนนต่ำกว่า 40 คุณภาพดินต่ำมาก

คะแนน 40 - 55 คุณภาพดินต่ำ

คะแนน > 55 - 70 คุณภาพดินปานกลาง

คะแนน > 70 - 85 คุณภาพดินสูง

คะแนน > 85 คุณภาพดินสูงมาก

การประเมินคุณภาพดินจากสมบัติดินทางฟิสิกส์ ชีวภาพ และเคมี ต่อจากนั้น จึงดำเนินขั้นตอนการพิจารณาเลือกขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพดิน และประเมินทางเลือกในการวางแผนปรับปรุงดินได้อย่างเหมาะสม

4.3.2 สถานการณ์คุณภาพดินของประเทศไทย

ทรัพยากรที่ดินของประเทศไทยมีทั้งหมด 62 กลุ่มดิน มีการกระจายไปตามภาคต่าง ๆ ดินส่วนใหญ่ที่พบในประเทศไทยเป็นดินที่มีพัฒนาการค่อนข้างสูง ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ทรัพยากรดินของภาคเหนือ เป็นดินที่มีศักยภาพทางการเกษตรอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง แต่มีข้อจำกัดของพื้นที่ของภาคที่เป็นเทือกเขาและความลาดชันสูงมาก

เป็นส่วนใหญ่ดินปัญหาที่พบประกอบด้วย ดินทรายและดินตื้น ทรัพยากรดินภาคกลาง เป็นดินที่มีศักยภาพทางการเกษตรปานกลางถึงสูง ดินส่วนใหญ่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง เนื่องจากในช่วงฤดูน้ำหลากได้พาตะกอนมาทับถมทุกปี ดินปัญหาที่พบประกอบด้วย ดินเปรี้ยวจัด ดินเค็มชายทะเล ดินเค็มบก ดินทราย และดินตื้น ทรัพยากรดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่มีศักยภาพทางการเกษตรต่ำ เนื่องจากดินมีข้อจำกัดในเรื่องเนื้อดิน เช่น มีเนื้อดินออกทรายจัด หรือดินร่วนหยาบทำให้มีความจุในการอุ้มน้ำต่ำ ดินตื้น หรือดินมีก้อนกรวดลูกรังปะปนหนาแน่นในระดับตื้นถึงตื้นมาก ดินเค็ม และพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มของดิน และดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงต่ำมาก ดินปัญหาที่พบประกอบด้วย ดินเค็มบก ดินทราย และดินตื้น ทรัพยากรดินภาคตะวันออก เป็นดินที่มีศักยภาพทางการเกษตรต่ำถึงปานกลางคล้ายคลึงกับ ทรัพยากรดินภาคใต้ดินปัญหาที่พบประกอบด้วย ดินเปรี้ยวจัด ดินเค็มชายทะเล ดินทรายและดินตื้น และทรัพยากรดินภาคใต้ เนื่องจากมีฝนตกชุกและต่อเนื่องนานในรอบปีมีการชะล้างน้ำพา หรือชะละลายธาตุอาหารออกไปจากดินสูง และดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แต่เนื่องจากดินมีความชื้นค่อนข้างสม่ำเสมอ ทำให้เหมาะสมในการปลูกพืชประเภทไม้ผลและไม้ยืนต้น จึงทำให้มีปัญหาทางการเกษตรน้อยกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ดินปัญหาที่พบประกอบด้วย ดินเปรี้ยวจัด ดินเค็มชายทะเล ดินอินทรีย์ ดินทรายและดินตื้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก) ปัจจุบันพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศดินเกิดความเสื่อมโทรมอย่างรวดเร็วและกว้าง เนื่องจากสาเหตุการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรอย่างต่อเนื่อง แต่การปรับปรุงบำรุงดินและการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมยังดำเนินการได้ไม่ทั่วถึง เป็นเหตุให้ทรัพยากรดินเหล่านั้นเสื่อมทั้งคุณภาพและความเหมาะสมในการปลูกพืช และการเพิ่มประชากรในแต่ละปี ยังส่งผลให้มีความต้องการที่ดินเพื่อการเพาะปลูกเพิ่มขึ้นตามด้วย โดยมีการนำพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตรมาใช้ทำการเกษตร เช่น ดินตื้น ดินทราย ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ และการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ต้นน้ำลำธาร ก่อให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินอย่างรุนแรง มีผลให้ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินน้อยลง และทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลงอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก เป็นสาเหตุของการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินต่อพื้นที่เกษตรกรรม จึงทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง ส่งผลต่อคุณภาพดินและผลผลิตลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นปัจจัยตัวชี้วัดที่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของดิน จากข้อมูลสถานการณ์ของอินทรีย์คาร์บอนของประเทศไทย ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย มีรายละเอียดดังนี้

1) อินทรีย์คาร์บอนในดิน (ปีพมา, 2547)

อินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon, SOC) มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องเป็นผลิตผลที่เกิดขึ้นจากสิ่งมีชีวิตในดิน และอินทรีย์คาร์บอนในดิน เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุในดินประมาณ 58 เปอร์เซ็นต์ โดยอินทรีย์คาร์บอนในดินมีทั้งในรูปที่เป็น

สารประกอบอย่างง่าย หรือสารประกอบที่ซับซ้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการสลายตัว และบทบาทภายในระบบดิน เมื่อพิจารณาถึงการกักเก็บคาร์บอนในดิน มักให้ความสนใจในส่วนของอินทรีย์คาร์บอน 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้ง่าย ส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย และส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้ยาก ดังนี้

(1) ส่วนอินทรีย์คาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงได้ง่าย ประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตในดิน โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) เซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) มีครึ่งชีวิต (half life) อยู่ในช่วง 1 - 4 สัปดาห์

(2) ส่วนอินทรีย์คาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย ประกอบด้วยลิกนิน (lignin) ไขมัน (lipid) ซูเบอร์ลิน (suberin) และสารประกอบฮิวมิก (humic) ที่เกิดจากกระบวนการทางชีวภาพ มีครึ่งชีวิตประมาณ 1 - 10 ปี

(3) ส่วนอินทรีย์คาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงยาก เช่น ถ่าน (charcoal) หรือคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส มีครึ่งชีวิตมากกว่า 100 ปี

2) การกักเก็บคาร์บอนในดิน

ความหมาย

ดินถือว่าเป็นแหล่งสำคัญและมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน ซึ่งมีผู้ให้ความหมายการกักเก็บคาร์บอนในดิน ดังต่อไปนี้

การกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) หมายถึง การเก็บกักในช่วงเวลาประมาณ 15 - 50 ปี ในระบบนิเวศบนบก (terrestrial ecosystems) หรือใต้ดิน ในรูปคาร์บอนเนต (Eswaran *et al.*, 1993) หรือในมหาสมุทร (Goh, 2004) โดยดินเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ (Lal, 2008)

การเก็บกักคาร์บอน หมายถึง ปริมาณคาร์บอนสมบูรณ์ที่กักเก็บอยู่ภายในแหล่งน้ำในเวลาที่กำหนด หน่วยวัดเป็นมวล (IPCC, 2000)

นาฏสุตา (2547) ให้ความหมายของการกักเก็บคาร์บอน หมายถึง การยึดคาร์บอนไว้ในต้นไม้ และผลิตภัณฑ์ของไม้ที่มีอายุการใช้งานที่ยืนยาว ต้นไม้ และป่าไม้ เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ เมื่อต้นไม้เติบโตคาร์บอนจึงถูกกักเก็บในราก ลำต้น กิ่งก้าน และใบ โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศเข้าไปเก็บไว้ในมวลชีวภาพของต้นไม้ ดังนั้นคาร์บอนจึงสามารถยึดอยู่กับเนื้อเยื่อไม้ได้อย่างเสถียร และมีระยะเวลาที่ค่อนข้างยาวนาน

ศิริจันทร์ และ มานิจ (2552) กล่าวถึง การกักเก็บคาร์บอน หมายถึง โลกมีระบบเก็บและกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งทางบกและในมหาสมุทร ผ่านกระบวนการ

สังเคราะห์แสงเพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นสารต่าง ๆ ที่ใช้ในการเติบโตของพืชทั้งบนบกและในน้ำ

คณะกรรมการแม่น้ำโขง (2556) ให้ความหมายของ การกักเก็บคาร์บอน คือ การขจัดและสะสมคาร์บอนจากบรรยากาศในอ่างกักเก็บคาร์บอน เช่น มหาสมุทร ป่า หรือดิน ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยหลักการแล้ว การกักเก็บคาร์บอน หมายถึง การสะสมคาร์บอนที่ควรจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ มีวิธีการกักเก็บคาร์บอน 3 วิธีหลัก โดยอยู่ในขั้นตอนการค้นพบและการพัฒนาที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1) การสะสมระยะสั้นในชีวมณฑลบนพื้นโลก โดยพืชจะดูดซับสะสมไว้ในชีวมวลและดิน 2) การสะสมระยะยาวไว้ในผิวดิน โดยการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปในพื้นที่กักเก็บใต้ผิวดินที่มีอยู่หรือที่ถูกขุดหรือเจาะไว้ และ 3) การสะสมระยะยาวในมหาสมุทร โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกฉีดลงไปในน้ำลึกหลายพันฟุต และจะถูกเก็บกักโดยน้ำ

คณะกรรมการแม่น้ำโขง (2556) ให้ความหมายของคำว่า คลังคาร์บอน (carbon stock) คือ ปริมาณของคาร์บอนในแหล่งกักเก็บที่มีความสามารถในการสะสม หรือปล่อยคาร์บอน

สมบุรณ์ (ม.ป.ป.) ได้เสนอความหมายของ การกักเก็บคาร์บอน คือ กระบวนการของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศและเปลี่ยนเป็นอินทรีย์คาร์บอนสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง และคลังคาร์บอน คือ ปริมาณของคาร์บอนที่สะสมในแหล่งกักเก็บคาร์บอนแหล่งใดแหล่งหนึ่ง

จากความหมายของการกักเก็บคาร์บอนในดินข้างต้น กล่าวได้ว่า การกักเก็บคาร์บอนเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศมาเก็บสะสมไว้ในส่วนของชีวมวลและดินอย่างยาวนาน โดยปริมาณการสะสม เรียกว่า คลังคาร์บอน ซึ่งคาร์บอนบางส่วนโดยเฉพาะที่มีความเสถียรภาพต่ำอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งในส่วนของการสะสมหรือการสูญหายจากระบบดินได้โดยการปลดปล่อยคาร์บอนในรูปก๊าซ

3) สถานการณ์ของอินทรีย์คาร์บอนในดิน

(1) สถานการณ์ของอินทรีย์คาร์บอนในดินของโลก

แหล่งคาร์บอน (carbon pools) บนโลก สามารถแบ่งออกเป็นแหล่งใหญ่ ๆ ได้แก่ แหล่งที่อยู่ในดิน (pedosphere) แหล่งที่อยู่ในบรรยากาศ (atmosphere) แหล่งที่อยู่ในน้ำ (hydrosphere) แหล่งที่เป็นส่วนประกอบของสิ่งมีชีวิตบนบก (biosphere) และแหล่งที่อยู่ในชั้นหิน (lithosphere) โดยดินมีปริมาณคาร์บอนในรูปของอินทรีย์คาร์บอนประมาณ 2,400 เพตะกรัม (Pg) หรือคิดเป็น 3.2 เท่าของปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในบรรยากาศ และคิดเป็น 4.4 เท่า ของปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในชีวมวลของสิ่งมีชีวิตบนบก (อภีรักษ์ และคณะ, 2560) ดังนั้น

การสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนในดิน ส่งผลเสียไม่เพียงแต่สุขภาพของดินและการผลิตอาหาร แต่ยังทำให้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรุนแรงขึ้น อินทรีย์คาร์บอนในดิน คือ คาร์บอนที่ยังคงอยู่ในดิน หลังจากย่อยสลายบางส่วนของวัสดุโดยสิ่งมีชีวิต ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบสำคัญของวัฏจักรคาร์บอน อินทรีย์คาร์บอนในดิน มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องของผลผลิตที่เกิดขึ้นจากสิ่งมีชีวิตในดิน อินทรีย์คาร์บอนในดินเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุในดินประมาณ 58 เปอร์เซ็นต์ (Nelson and Sommers, 1996) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในดิน สนับสนุนบทบาทสำคัญของดิน รักษาเสถียรภาพของโครงสร้างดิน การเก็บรักษาและการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช การแทรกซึม และการจัดเก็บน้ำในดิน ดังนั้นอินทรีย์คาร์บอนในดินจึงมีความจำเป็นต่อสุขภาพของดิน ความอุดมสมบูรณ์ และศักยภาพการผลิตอาหารของดิน และการสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนในดิน บ่งชี้ถึงระดับความเสื่อมโทรมของดิน อีกทั้งอินทรีย์คาร์บอนในดินมีทั้งในรูปที่เป็นสารประกอบอย่างง่าย และสารประกอบที่ซับซ้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการสลายตัวและบทบาทภายในระบบดิน โดยปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในดินจะผันแปรไปตามสมบัติและลักษณะของดิน พืชพรรณธรรมชาติ และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งในอดีตและปัจจุบัน (อรรรณพ, 2559; อภิรักษ์ และคณะ, 2560)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินทั่วโลกมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ และจากรายงานของ Govers *et al.* (2013) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินและปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินแต่ละชีวนิเวศ ดังข้อมูลในตารางที่ 3 พบว่า ระดับความลึกของดิน 0 - 3 เมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินแตกต่างกัน โดยในพื้นที่ป่าเขตร้อน และพื้นที่ป่าบอเรียล มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน 291 และ 125 เมกะกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ (1 เมกะกรัม เท่ากับ 106 กรัม) มีปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน 218 และ 150 เมกะกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ขณะที่ป่าพุ่มจะมีปริมาณความหนาแน่นของอินทรีย์คาร์บอนในดิน อยู่ในระดับที่สูงมากกว่าพื้นที่อื่นมากกว่า 1,000 เมกะกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ส่วนพื้นที่ทำการเกษตรในแคลิฟอร์เนีย โดยเฉลี่ยจะพบอินทรีย์คาร์บอนในดินมีปริมาณค่อนข้างต่ำประมาณ 177 เมกะกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ และปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน 248 เมกะกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ทะเลทราย มีปริมาณกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนเพียง 115 เมกะกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ และปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินเพียง 208 เมกะกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ซึ่งการกระจายของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินถูกควบคุมโดยทั้งปัจจัยทางธรรมชาติและมนุษย์ ซึ่งดินสามารถกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนได้มาก เมื่อมีอัตราการสลายตัวต่ำ เช่น ในพื้นที่พรุ หรือเมื่อมีพืชพรรณมาก เช่น ในพื้นที่ป่าฝนเขตร้อน ในขณะที่ความหนาแน่นปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในดินต่ำจะพบในพื้นที่ทะเลทราย และพื้นที่ทำการเกษตร เนื่องจากมีแหล่งของอินทรีย์คาร์บอนต่ำ หรือการกำจัดเศษวัสดุอินทรีย์ เมื่อมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืช รวมทั้งมีอัตราการสลายตัวอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงเนื่องจากสภาพอากาศอบอุ่น หรือการรบกวนของดิน หรือรวมกันของทั้งสองอย่าง และจากรายงาน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศต่าง ๆ เช่น ประเทศอังกฤษ จากรายงานของสถานีทดลองโรธามสเตท (Rothamsted) พบว่า ระบบการปลูกพืชมีผลต่อการลดความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเฉพาะการปลูกพืชเชิงเดี่ยว ทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินลดลงอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับระบบการปลูกพืช และการใช้ประโยชน์ที่ดินในดินเขตร้อน แอฟริกา ส่งผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง และระบบการปลูกพืชแบบชนิดเดียวต่อเนื่อง เช่น อ้อย และพืชเส้นใย ส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงมากกว่าระบบพืชหลายชนิด สาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากการชะล้าง การกร่อนของดิน และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ไม่เพียงพอ สถานีทดลองประเทศแคนาดารายงานการจัดการระบบการปลูกพืชหมุนเวียนกับการใส่เศษซากพืชสู่ดิน มีการสะสมปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มสูงกว่าดินที่ไม่ใส่ และจากผลการศึกษาของสถานีมอร์โรว์ เมืองฮิลลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา จากการปลูกพืชเชิงเดี่ยวอย่างต่อเนื่อง และการปลูกพืชหมุนเวียนระหว่างข้าวโพดกับพืชอื่น ๆ เช่น ข้าวโอ๊ต และพืชตระกูลถั่วสลับกัน ส่งผลต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน พบว่า ระบบการปลูกพืชเชิงเดี่ยว ส่งผลให้ดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลงถึง 52 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ขณะที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินภายใต้ระบบการปลูกพืชหมุนเวียนลดลงในระดับที่ต่ำกว่า 11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า ระบบการปลูกพืชหมุนเวียนที่มีการจัดการดินร่วมด้วยอย่างต่อเนื่องนานกว่า 72 ปี สามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงขึ้น และจากผลการศึกษาจากแปลงทดลองมหาวิทยาลัยออเบิร์นในตะวันออกเฉียงกลางของสหรัฐอเมริกา และแซนบอร์น มหาวิทยาลัยมิสซูรี เมืองโคลัมเบีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ยังพบว่า การจัดการเศษซากพืชลงสู่ดินมีบทบาททำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น เกิดเม็ดดินที่มีความคงทนสูง ส่งผลให้ดินมีความหนาแน่นลดลง ค่าความชื้นน้ำของดินเพิ่มขึ้น สะท้อนให้เห็นว่า ระบบการปลูกพืชหมุนเวียนส่งผลให้ดินมีศักยภาพการผลิตในระยะยาว ในขณะที่การปลูกพืชเชิงเดี่ยวติดต่อกันเป็นเวลากว่า 60 ปี ทำให้เกิดการกร่อนของดินสูง และปริมาณไนโตรเจนลดลงมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม อีกทั้งส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพของดิน (Hartemink, 2003; อรรถนพ, 2559) จากการรวบรวมข้อมูลผลการศึกษาการจัดการสารอินทรีย์ร่วมกับการปลูกพืชมากกว่า 100 ปี พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ หรืออินทรีย์คาร์บอนในดิน เป็นปัจจัยตัวชี้วัดต่อคุณภาพดิน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ และสามารถแนะนำแนวทางในการป้องกันการสูญเสีย และรักษาระดับอินทรีย์วัตถุ หรืออินทรีย์คาร์บอนในดิน ด้วยวิธีการแบบผสมผสาน เช่น การใส่ปุ๋ยให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชต่อการสร้างมวลชีวภาพ การใส่กลับคืนของเศษซากพืช หรือวัสดุอินทรีย์สู่ดิน และลดการไถพรวน ส่งผลต่อคุณภาพของดินในการผลิตพืช และรักษาคุณภาพของดินทางเกษตรที่ยั่งยืน (Reeves, 1997) การใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพ หรือองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ทั้งในระยะสั้น และระยะยาว (Samahadthai *et al.*, 2010)

ตารางที่ 3 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินและปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินแต่ละชีวนิเวศ

ลักษณะชีวนิเวศ	พื้นที่ (10^{12} m^2)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ในดิน (Mg C ha^{-1})		ปริมาณการกักเก็บอินทรีย์ คาร์บอนในดิน (Mg C ha^{-1})	
		0 - 1 m	0 - 3 m	0 - 1 m	0 - 3 m
ป่าบอเรียล	12	93	125	112	150
พื้นที่เกษตร	14	112	177	157	248
ทะเลทราย	18	62	115	112	208
พื้นที่ไม้พุ่ม	8.5	89	146	76	124
ป่าผลัดใบ	7	174	228	122	160
ป่าไม่ผลัดใบเขตอบอุ่น	5	145	204	73	102
ทุ่งหญ้าเขตอบอุ่น	9	117	191	105	172
ป่าผลัดใบเขตร้อน	7.5	158	291	119	218
ป่าไม่ผลัดใบเขตร้อน	17	186	279	316	474
ทุ่งหญ้า savanna เขตร้อน	15	132	230	198	345
พื้นที่ราบไม่มีต้นไม้	8	142	180	114	144
พื้นที่พรุ Peatlands	3.5	-	1,140 - 1,430	-	400 - 500

ที่มา: Govers *et al.* (2013)

(2) สถานการณ์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย จากผลการวิเคราะห์แผนที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (เปอร์เซ็นต์) จากแผนที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (เปอร์เซ็นต์) ของดินชั้นบนที่ความลึก 0 - 30 เซนติเมตร ที่ได้จากวิธีการซ้อนทับเชิงพื้นที่ (Geo - matching) โดยจำแนกตามระดับของปริมาณคาร์บอนในดินรายภาค พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับต่ำมาก (0.3 - 0.5 เปอร์เซ็นต์) มีเนื้อที่รวม 43,952,376 ไร่ มีพื้นที่มากที่สุด คิดเป็น 13.71 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง (0.9 - 1.2 เปอร์เซ็นต์) มีเนื้อที่ 42,560,612 ไร่ คิดเป็น 13.27 เปอร์เซ็นต์ และจัดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง (1.7 - 2.0 เปอร์เซ็นต์) มีเนื้อที่ 4,585,616 ไร่ คิดเป็น 1.43 เปอร์เซ็นต์ ของเนื้อที่ประเทศไทยทั้งหมด (วัฒนา, 2563) เมื่อพิจารณาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตามรายภาคของประเทศไทย แสดงข้อมูลในตารางที่ 4 และภาพที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

ภาคเหนือ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับต่ำมาก มีเนื้อที่ 4,175,327 ไร่ คิดเป็น 3.94 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง มีเนื้อที่ 18,212,893 ไร่ คิดเป็น 17.18 เปอร์เซ็นต์ เป็นพื้นที่ตอนใช้ประโยชน์ที่ดินปลูกไม้ผล และพื้นที่ลุ่มที่ทำนา ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับค่อนข้างสูง เนื้อที่ 803,696 ไร่ คิดเป็น 0.76 เปอร์เซ็นต์

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับต่ำมาก มีเนื้อที่ 33,726,849 ไร่ คิดเป็น 31.96 เปอร์เซ็นต์ เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับภาคอื่น ๆ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง มีเนื้อที่ 7,416,211 ไร่ คิดเป็น 7.03 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับค่อนข้างสูง มีเนื้อที่ 223,816 ไร่ คิดเป็น 0.21 เปอร์เซ็นต์

ภาคกลาง ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับต่ำมาก มีเนื้อที่ 2,025,878 ไร่ คิดเป็น 4.66 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง มีเนื้อที่ 6,331,015 ไร่ คิดเป็น 14.56 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับค่อนข้างสูง พบมากในพื้นที่ภาคกลาง มีเนื้อที่ 2,706,311 ไร่ คิดเป็น 6.23 เปอร์เซ็นต์

ภาคตะวันออก ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับต่ำมาก มีเนื้อที่ 2,862,166 ไร่ คิดเป็น 13.32 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง มีเนื้อที่ 3,865,521 ไร่ คิดเป็น 17.99 เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับค่อนข้างสูง มีเนื้อที่ 410,750 ไร่ คิดเป็น 1.91 เปอร์เซ็นต์

ภาคใต้ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับต่ำมาก มีเนื้อที่ 1,162,156 ไร่ คิดเป็น 2.63 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง มีเนื้อที่ 6,734,972 ไร่ คิดเป็น 15.24 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับค่อนข้างสูง มีเนื้อที่ 441,043 ไร่ คิดเป็น 1.00 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย พบว่า พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินระดับต่ำมาก มีเนื้อที่มากถึง 33,726,849 ไร่ คิดเป็น 76.73 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในระดับต่ำมาก ทั้งประเทศ มีเนื้อที่ 43,952,376 ไร่ เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในระดับต่ำมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับภาคอื่น ๆ รองลงมา คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากดินส่วนใหญ่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะดินบนมีเนื้อดินทราย มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวต่ำ เกิดการสลายตัวสูง และกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินต่ำ ประกอบกับ มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระบบการเกษตรเชิงเดี่ยวที่ขาดการปรับปรุงบำรุงดินที่เพียงพอ ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง

ตารางที่ 4 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตามรายภาคของประเทศไทย

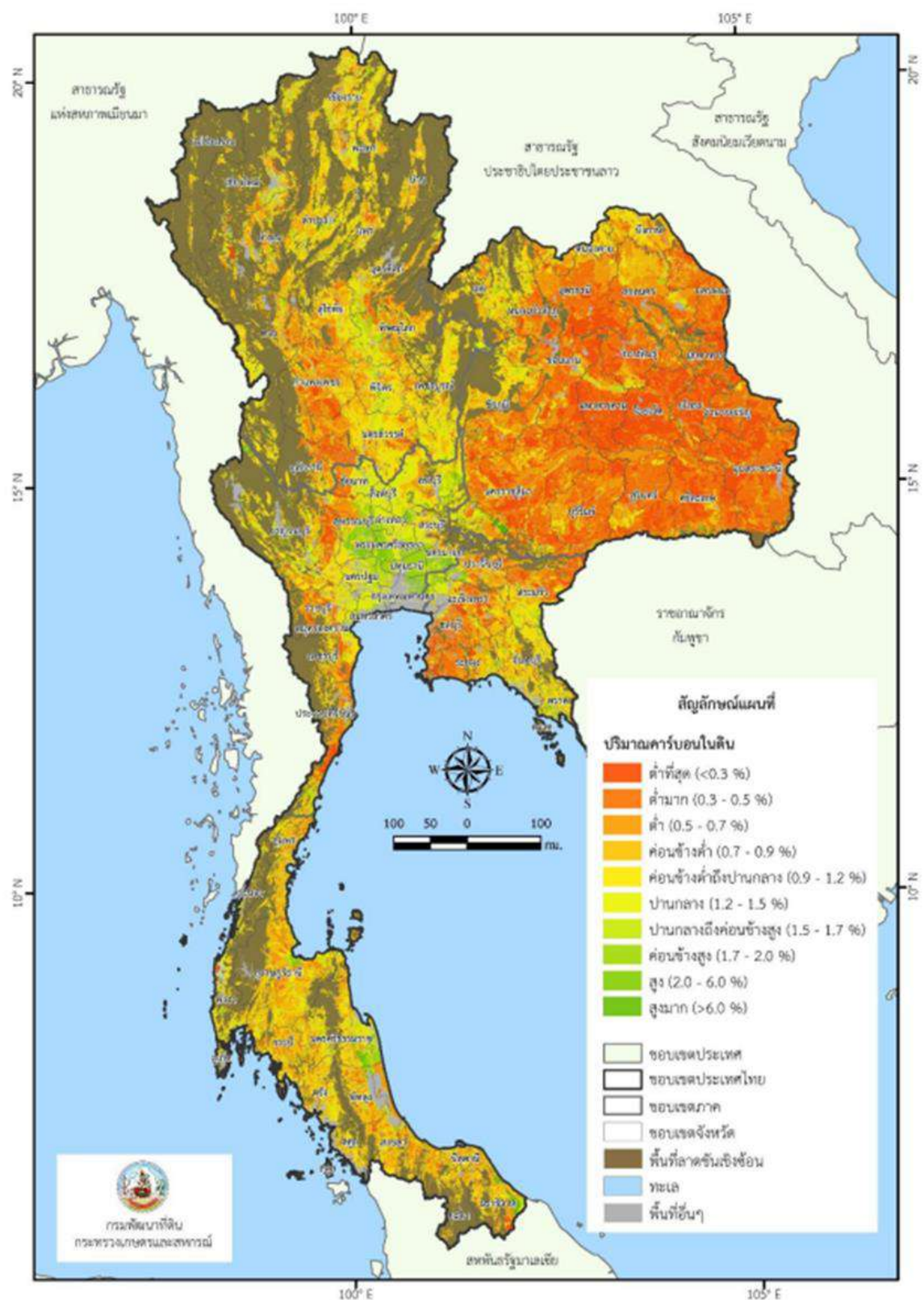
ระดับคาร์บอนในดิน	เนื้อที่											
	ภาคเหนือ		ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		ภาคกลาง		ภาคตะวันออก		ภาคใต้		รวม	
	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์
ต่ำที่สุด (< 0.3 เปอร์เซ็นต์)	1,124,280	1.06	21,877,240	20.73	728,808	1.68	1,348,925	6.28	404,670	0.92	25,483,923	7.94
ต่ำมาก (0.3 - 0.5 เปอร์เซ็นต์)	4,175,327	3.94	33,726,849	31.96	2,025,878	4.66	2,862,166	13.32	1,162,156	2.63	43,952,376	13.71
ต่ำ (0.5 - 0.7 เปอร์เซ็นต์)	7,218,622	6.81	17,072,186	16.18	2,263,387	5.21	2,649,888	12.33	3,311,038	7.49	32,515,121	10.14
ค่อนข้างต่ำ (0.7 - 0.9 เปอร์เซ็นต์)	10,196,126	9.62	9,215,641	8.73	3,287,324	7.57	3,122,583	14.53	10,138,776	22.94	35,960,450	11.21
ค่อนข้างต่ำ ถึง ปานกลาง (0.9 - 1.2 เปอร์เซ็นต์)	18,212,893	17.18	7,416,211	7.03	6,331,015	14.56	3,865,521	17.99	6,734,972	15.24	42,560,612	13.27
ปานกลาง (1.2 - 1.5 เปอร์เซ็นต์)	4,344,802	4.10	1,741,297	1.65	5,481,799	12.62	1,178,965	5.49	2,537,721	5.74	15,284,584	4.77

ที่มา: วัฒนา (2563)

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ระดับคาร์บอนในดิน	เนื้อที่											
	ภาคเหนือ		ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		ภาคกลาง		ภาคตะวันออก		ภาคใต้		รวม	
	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์
ปานกลาง ถึง ค่อนข้างสูง (1.5 - 1.7 เปอร์เซ็นต์)	1,240,431	1.17	608,479	0.58	1,993,917	4.59	238,117	1.11	614,244	1.39	4,695,188	1.46
ค่อนข้างสูง (1.7 - 2.0 เปอร์เซ็นต์)	803,696	0.76	223,816	0.21	2,706,311	6.23	410,750	1.91	441,043	1.00	4,585,616	1.43
สูง (2.0 - 6.0 เปอร์เซ็นต์)	471,625	0.44	85,388	0.08	1,316,362	3.03	301,640	1.41	319,648	0.73	2,494,663	0.78
สูงมาก (> 6.0 เปอร์เซ็นต์)	-	-	-	-	-	-	-	-	343,759	0.78	343,759	0.11
พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	54,549,370	51.44	11,264,403	10.66	13,104,796	30.16	3,399,325	15.81	15,093,139	34.14	97,411,033	30.38
พื้นที่อื่นๆ	3,690,508	3.48	2,302,453	2.18	4,210,843	9.69	2,109,932	9.82	3,095,826	7.00	15,409,562	4.81
รวม	106,027,680	100.00	105,533,963	100.00	43,450,440	100.00	21,487,812	100.00	44,196,992	100.00	320,696,887	100.00

ที่มา: วัฒนา (2563)



ภาพที่ 1 แผนที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย

ที่มา: วัฒนา (2563)

4) สถานการณ์การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินตามรายภาคของประเทศไทย

จากการวิเคราะห์การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน (ตันคาร์บอนต่อไร่) ที่ระดับความลึก 0 - 30 เซนติเมตร ใช้ข้อมูลปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (เปอร์เซ็นต์) ร่วมกับ ความหนาแน่นของดินเฉลี่ย 1.50 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณกรวด ตามกลุ่มชุดดิน รวมถึงข้อมูลผลการวิจัยการกักเก็บอินทรีย์ คาร์บอนในพื้นที่ป่า ของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) นำข้อมูลมาจัดชั้นระดับของปริมาณ การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย ที่ปรับปรุงจากมาตรฐานการกำหนดระดับปริมาณ อินทรีย์วัตถุในดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2553) โดยการจำแนกระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุ และการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การจำแนกระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุและการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน

ระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน	ระดับปริมาณกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน
1. ต่ำมาก (< 0.5 เปอร์เซ็นต์)	1. ต่ำมาก (0 - 2 ตันต่อไร่)
2. ต่ำ (0.5 - 1.0 เปอร์เซ็นต์)	2. ต่ำ (2 - 5 ตันต่อไร่)
3. ค่อนข้างต่ำ (1.0 - 1.5 เปอร์เซ็นต์)	3. ปานกลาง (5 - 8 ตันต่อไร่)
4. ปานกลาง (1.5 - 2.5 เปอร์เซ็นต์)	4. ค่อนข้างสูง (8 - 12 ตันต่อไร่)
5. ค่อนข้างสูง (2.5 - 3.5 เปอร์เซ็นต์)	5. สูง (12 - 16 ตันต่อไร่)
6. สูง (3.5 - 4.5 เปอร์เซ็นต์)	6. สูงมาก (16 - 24 ตันต่อไร่)
7. สูงมาก (> 4.5 เปอร์เซ็นต์)	7. สูงที่สุด (> 24 ตันต่อไร่)

ที่มา: ปรับปรุงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2553) อ้างอิงในวัณนา (2563)

จากข้อมูลการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในระดับต่ำ (2 - 5 ตันต่อไร่) มีพื้นที่ 87,575,163 ไร่ คิดเป็น 27.31 เปอร์เซ็นต์ ในระดับปานกลาง (5 - 8 ตันต่อไร่) มีพื้นที่ 73,953,735 ไร่ คิดเป็น 23.06 เปอร์เซ็นต์ และในระดับสูง (12 - 16 ตันต่อไร่) มีพื้นที่ 59,818,425 ไร่ คิดเป็น 18.65 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจำแนกตามรายภาคปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย ข้อมูลแสดงดัง ตารางที่ 6 และภาพที่ 2 ดังนี้

ภาคเหนือ พื้นที่ส่วนใหญ่มีการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับสูง (12 - 16 ตันต่อไร่) มีพื้นที่ 40,017,518 ไร่ คิดเป็น 37.74 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ อยู่ใน

ระดับปานกลาง (5 - 8 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 26,235,773 ไร่ คิดเป็น 24.75 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในระดับต่ำ (2 - 5 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 14,862,355 ไร่ คิดเป็น 14.02 เปอร์เซ็นต์

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ส่วนใหญ่การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับต่ำ (2 - 5 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 56,712,577 ไร่ คิดเป็น 53.74 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ อยู่ในระดับต่ำมาก (0 - 2 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 17,990,341 ไร่ คิดเป็น 17.05 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในระดับปานกลาง (5 - 8 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 15,922,967 ไร่ คิดเป็น 15.09 เปอร์เซ็นต์

ภาคกลาง พื้นที่ส่วนใหญ่การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับสูง (12 - 16 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 10,971,680 ไร่ คิดเป็น 25.25 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ อยู่ในระดับปานกลาง (5 - 8 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 8,781,766 ไร่ คิดเป็น 20.21 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในระดับค่อนข้างสูง (8 - 12 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 7,838,177 ไร่ คิดเป็น 18.04 เปอร์เซ็นต์

ภาคตะวันออก พื้นที่ส่วนใหญ่การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับปานกลาง (5 - 8 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 6,690,208 ไร่ คิดเป็น 31.13 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ อยู่ในระดับต่ำ (2 - 5 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 6,176,021 ไร่ คิดเป็น 28.74 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในระดับสูงที่สุด (มากกว่า 24 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 2,032,200 ไร่ คิดเป็น 9.46 เปอร์เซ็นต์

ภาคใต้ พื้นที่ส่วนใหญ่การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในระดับปานกลาง (5 - 8 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 16,323,021 ไร่ คิดเป็น 36.93 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ อยู่ในระดับสูงที่สุด (มากกว่า 24 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 14,603,193 ไร่ คิดเป็น 33.05 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในระดับต่ำ (2 - 5 ต้นต่อไร่) มีพื้นที่ 4,947,630 ไร่ คิดเป็น 11.20 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาข้อมูลการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีระดับการกักเก็บคาร์บอนในดินต่ำกว่าภาคอื่น ๆ อย่างชัดเจน มีการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนพื้นที่อยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ รวมเนื้อที่ 74,702,918 ไร่ (วัฒนา, 2563) เนื่องจากดินส่วนใหญ่เป็นดินทราย มีการระบายน้ำดี สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ดอน ใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชไร่ ในสภาพอากาศที่ร้อนชื้น ทำให้อินทรีย์วัตถุสลายตัวอย่างรวดเร็ว (บุญนะ, 2532; กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก) รองลงมา คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคใต้ และภาคกลาง ตามลำดับ ทั้งนี้ควรมีการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรดิน อย่างไรก็ตาม ต้องมีแนวทางจัดการดินและพืชอย่างเหมาะสม เนื่องจากมีเนื้อดินเป็นดินทราย และมีภูมิอากาศร้อนชื้น ทำให้อินทรีย์วัตถุสลายตัวเร็ว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก) ด้านการวางแผนบำรุงดินเพิ่มอินทรีย์วัตถุของดินในพื้นที่เกษตรกรรม แนวทางการยกระดับอินทรีย์วัตถุในดิน และรักษาระดับอินทรีย์วัตถุในดินสูงมากขึ้นในทุกปี ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลการศึกษาการจัดการสารอินทรีย์ร่วมกับการปลูกพืชมากกว่า 100 ปี พบว่า อินทรีย์วัตถุ หรืออินทรีย์คาร์บอนในดิน เป็นปัจจัยตัวชี้วัดต่อคุณภาพดิน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยแนะนำแนวทางในการป้องกันการสูญเสีย และรักษา

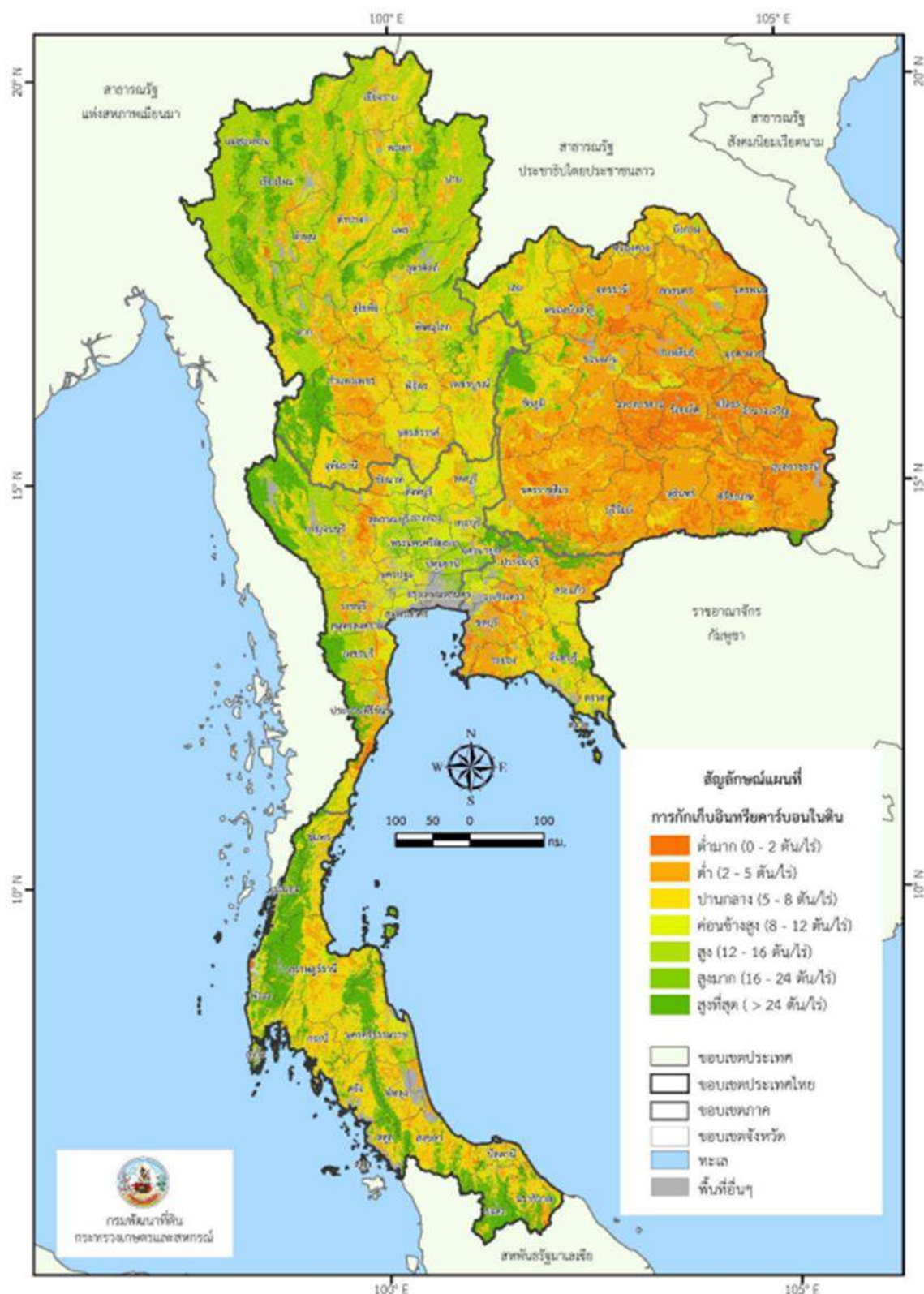
ระดับอินทรีย์วัตถุ หรืออินทรีย์คาร์บอนในดิน ด้วยวิธีการใส่ปุ๋ยให้เพียงพอ หรือการใส่กลับคืนของเศษซากพืชสู่ดิน และลดการไถพรวน ส่งผลต่อคุณภาพของดินในการผลิตพืช และรักษาคุณภาพของดินทางเกษตรที่ยั่งยืน (Reeves, 1997)

ดังนั้น การจัดการวางแผนด้านบำรุงดินเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินให้เหมาะสมกับพื้นที่เพาะปลูก จึงต้องพิจารณาถึงข้อมูลสถานภาพของความอุดมสมบูรณ์ของดินตามรายการของประเทศไทย ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารในดิน ประกอบด้วยปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณโพแทสเซียม รวมทั้งสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่เกษตรกรรมกับชนิดเพาะปลูกพืชตามรายการ เพื่อให้เข้าใจถึงพื้นฐานทรัพยากรดินของประเทศ

ตารางที่ 6 ปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย

ระดับ การกักเก็บ คาร์บอนในดิน	เนื้อที่											
	ภาคเหนือ		ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		ภาคกลาง		ภาคตะวันออก		ภาคใต้		รวม	
	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์	ไร่	เปอร์เซ็นต์
ต่ำมาก (0 - 2 ตัน/ไร่)	985,013	0.93	17,990,341	17.05	666,377	1.53	1,243,012	5.78	380,787	0.86	21,265,530	6.63
ต่ำ (2 - 5 ตัน/ไร่)	14,862,355	14.02	56,712,577	53.74	4,876,580	11.22	6,176,021	28.74	4,947,630	11.20	87,575,163	27.31
ปานกลาง (5 - 8 ตัน/ไร่)	26,235,773	24.75	15,922,967	15.09	8,781,766	20.21	6,690,208	31.13	16,323,021	36.93	73,953,735	23.06
ค่อนข้างสูง (8 - 12 ตัน/ไร่)	7,507,878	7.08	3,158,262	2.99	7,838,177	18.04	1,404,100	6.54	3,824,671	8.65	23,733,088	7.40
สูง (12 - 16 ตัน/ไร่)	40,017,518	37.74	6,359,740	6.03	10,971,680	25.25	1,716,708	7.99	752,779	1.70	59,818,425	18.65
สูงมาก (16 - 24 ตัน/ไร่)	118,225	0.11	14,128	0.01	798,203	1.84	115,631	0.54	269,085	0.61	1,315,272	0.41
สูงที่สุด (> 24 ตัน/ไร่)	12,610,410	11.89	3,073,495	2.91	5,306,814	12.21	2,032,200	9.46	14,603,193	33.05	37,626,112	11.73
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	3,690,508	3.48	2,302,453	2.18	4,210,843	9.69	2,109,932	9.82	3,095,826	7.00	15,409,562	4.81
รวม	106,027,680	100.00	105,533,963	100.00	43,450,440	100.00	21,487,812	100.00	44,196,992	100.00	320,696,887	100.00

ที่มา: วัฒนา (2563)



ภาพที่ 2 แผนที่การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินของประเทศไทย

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก)

5) สถานการณ์ความอุดมสมบูรณ์ของดินตามภาคของประเทศไทย

ประเทศไทยพื้นที่ทำการเกษตรมีปัญหาดินเสื่อมความอุดมสมบูรณ์ มีระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำมากที่สุดถึง 49.38 เปอร์เซ็นต์ ระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง 44.07 เปอร์เซ็นต์ และระดับความอุดมสมบูรณ์สูง 6.55 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับต่ำมากที่สุด คือ 71.53 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง 67.28 47.66 25.10 และ 11.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สาเหตุที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับต่ำ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นดินทรายที่เกิดจากการสลายตัวผุพังของหินทราย มีคุณภาพต่ำ ส่งผลให้ปริมาณอนุภาคดินเหนียว และอินทรีย์วัตถุในดินต่ำ นอกจากสาเหตุทางธรรมชาติแล้ว ยังพบว่า กิจกรรมของมนุษย์ก็ส่งผลต่อระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยในอดีตมากกว่า 50 ปีที่ผ่านมา มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากระบบนิเวศป่าไม้มาทำการเกษตร โดยเฉพาะระบบการเกษตรเชิงเดี่ยว ซึ่งเป็นระบบเกษตรที่ขาดการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน และอนุรักษ์ดินอย่างเพียงพอ ทำให้คุณภาพของธาตุอาหารเปลี่ยนแปลงไปในทางลบ ดินเกิดการกร่อน และการชะล้างธาตุอาหารสูง ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง ส่งผลทำให้ผลผลิตลดลง และมีการบุกรุกพื้นที่ป่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง และดินเกิดสภาพเสื่อมโทรมเพิ่มขึ้น ทรัพยากรดินของประเทศไทยมีลักษณะและสมบัติดินเฉพาะตัวแตกต่างกันไป ดินส่วนใหญ่ที่พบในประเทศไทยเป็นดินที่มีพัฒนาการค่อนข้างสูง ซึ่งจะส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ดังนั้นสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินประเทศไทยสามารถแบ่งตามภาค ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก) ได้ดังนี้

(1) ความอุดมสมบูรณ์ของดินภาคเหนือ

พื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นภูเขาสูงชัน พื้นที่สูงสลับซับซ้อนมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าเกษตรกรใช้พื้นที่ในการทำการเกษตร โดยขาดการอนุรักษ์ดินและน้ำ ขาดการปรับปรุงดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง จากข้อมูลการวิเคราะห์ดิน จำนวน 15,498 ตัวอย่าง คิดเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ ดินภาคเหนือมีความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับปานกลาง คิดเป็น 70.43 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับต่ำ คิดเป็น 25.10 เปอร์เซ็นต์ และบางส่วนที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับต่ำ คิดเป็น 4.47 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 7 และภาพที่ 3) จากการประเมินสมบัติทางเคมีบางประการของดิน ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ มีดังนี้

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จากข้อมูลการวิเคราะห์ดิน จำนวน 15,875 ตัวอย่าง พบว่า จำนวนตัวอย่างมากที่สุด 6,094 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 38.39 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ในช่วง 4.6 - 5.5 จัดเป็นดินกรดจัดมากถึงกรดจัด รองลงมา คือ 6,017 ตัวอย่าง

หรือคิดเป็น 37.90 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.6 - 6.5 จัดเป็นดินกรดปานกลาง ถึงกรดเล็กน้อย จำนวน 2,255 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 14.20 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.6 - 7.5 จัดเป็นดินเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย (ตารางที่ 8 และภาพที่ 4) ซึ่งความเป็นกรดของดิน จะส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน โดยเฉพาะฟอสฟอรัสจะทำปฏิกิริยากับ ธาตุบางชนิดในดิน ทำให้แปรสภาพเป็นฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำยาก และไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช และจุลธาตุบางชนิดจะละลายออกมามาก ทำให้เป็นพิษกับพืชได้ ดังนั้นก่อนการปลูกพืชจะต้องมี การปรับปรุงดินโดยการใส่ปูน เพื่อยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างให้เหมาะสมกับการปลูกพืช เช่น ปูนมาร์ล (marl) โดโลไมต์ (dolomite) และปูนขาว เป็นต้น

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จากจำนวนตัวอย่างดิน 15,661 ตัวอย่าง มีจำนวน 7,743 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 49.44 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ใน ระดับต่ำ (น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ จำนวน 4,421 ตัวอย่าง คิดเป็น 28.23 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และจำนวน 3,497 ตัวอย่าง คิดเป็น 22.33 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ใน ระดับปานกลาง (10 - 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 9 และภาพที่ 5)

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ จากจำนวนตัวอย่างดิน 15,754 ตัวอย่าง พบว่า จำนวน 6,348 ตัวอย่าง คิดเป็น 40.29 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ใน ระดับต่ำ (น้อยกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ จำนวน 5,982 ตัวอย่าง คิดเป็น 37.97 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และจำนวน 3,424 ตัวอย่าง คิดเป็น 21.73 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ใน ระดับปานกลาง (60 - 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 10 และภาพที่ 6)

(2) ความอุดมสมบูรณ์ของดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินที่เกิดจากการสลายตัวของ หินทราย จึงทำให้ดินมีอนุภาคดินทรายสูง จึงเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำตามธรรมชาติ จากข้อมูลการวิเคราะห์ดิน จำนวน 31,642 ตัวอย่าง คิดเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ ของดินระดับต่ำ คิดเป็น 71.53 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับปานกลาง คิดเป็น 28.03 เปอร์เซ็นต์ และบางส่วนของดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับสูง คิดเป็น 0.45 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 7 และภาพที่ 3) จากการประเมินสมบัติทางเคมีบางประการของดินใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ มีดังนี้

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นดินที่เกิดการกร่อนและชะล้างธาตุอาหารสูง เนื่องจากมีอนุภาคดินทรายสูง จึงมีผลทำให้ดิน มีสภาพความเป็นกรด ซึ่งจากข้อมูลการวิเคราะห์ดิน 34,032 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่อยู่ในระดับกรดจัด

ถึงกรดจัดมาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 4.6 - 5.5 มีจำนวน 19,212 ตัวอย่าง คิดเป็น 56.45 เปอร์เซ็นต์ และดินกรดรุนแรงมาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 4.6 มีจำนวน 5,518 ตัวอย่าง คิดเป็น 16.21 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8 และภาพที่ 4)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จากจำนวนตัวอย่างดิน 33,899 ตัวอย่าง มีจำนวน 24,554 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 72.43 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ จำนวน 5,971 ตัวอย่าง คิดเป็น 17.61 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อยู่ในระดับปานกลาง (10 - 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และจำนวน 3,374 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 9.95 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 9 และภาพที่ 5)

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน 31,859 ตัวอย่าง มีจำนวนตัวอย่างดิน 25,701 ตัวอย่าง คิดเป็น 80.67 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ จำนวน 3,226 ตัวอย่าง คิดเป็น 10.13 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และจำนวน 2,932 ตัวอย่าง คิดเป็น 9.20 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง (60 - 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 10 และภาพที่ 6)

(3) ความอุดมสมบูรณ์ของดินภาคกลาง

ดินในพื้นที่ภาคกลางส่วนใหญ่จัดเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าดินในภาคอื่น ๆ เนื่องจากสภาพทั่วไปเป็นพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำแม่กลอง วัตถุดิบกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำพา แต่บางพื้นที่ยังพบดินปัญหา เช่น ดินเค็มภาคกลาง และดินเปรี้ยว สำหรับข้อมูลการวิเคราะห์ดินภาคกลาง 12,172 ตัวอย่าง มีความอุดมสมบูรณ์ของดินส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็น 58.95 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับสูง คิดเป็น 29.86 เปอร์เซ็นต์ และความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับต่ำ คิดเป็น 11.19 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 7 และภาพที่ 3) จากการประเมินสมบัติทางเคมีบางประการของดินภาคกลาง ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ มีดังนี้

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ภาคกลางจำนวนตัวอย่าง 12,833 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน พบว่าตัวอย่างดินส่วนใหญ่จำนวน 5,192 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 40.46 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.6 - 6.5 เป็นดินกรดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย รองลงมา คือ จำนวน 3,070 ตัวอย่าง หรือคิดเป็น 23.92 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 4.6 - 5.5 เป็นดินกรดจัดมากถึงกรดจัด และจำนวน 3,050 ตัวอย่าง คิดเป็น 23.77 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ในช่วง 6.6 - 7.5 เป็นดินกลางถึงด่างเล็กน้อย (ตารางที่ 8 และภาพที่ 4)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีปริมาณกระจายอยู่ทั้ง 3 ระดับ ใกล้เคียงกันจากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ จำนวน 12,271 ตัวอย่าง คือ มีจำนวน 4,238 ตัวอย่าง คิดเป็น 34.54 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ จำนวน 4,171 ตัวอย่าง คิดเป็น 33.99 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และจำนวน 3,862 ตัวอย่าง คิดเป็น 31.47 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง (10 - 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 9 และภาพที่ 5)

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ 12,778 ตัวอย่าง พบว่า จำนวน 7,130 ตัวอย่าง คิดเป็น 55.80 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) จำนวน 3,421 ตัวอย่าง คิดเป็น 26.77 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และจำนวน 2,227 ตัวอย่าง คิดเป็น 17.43 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง (60 - 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 10 และภาพที่ 6) ปริมาณโพแทสเซียมในดินภาคกลางส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับสูง ดินที่มีการพัฒนาการไม่มากนัก เป็นดินเหนียวที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่พัดพากับน้ำ และมีการใช้ประโยชน์ที่ดินในการปลูกข้าว ซึ่งดินเหนียวประกอบด้วยส่วนที่เป็นแร่ดินเหนียว และแร่ปฐมภูมิที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ เช่น เฟลด์สปาร์ (feldspar) และไมกา (mica) และดินในทีลุ่มจะมีองค์ประกอบของอิลไลต์ (illite) ที่มีแร่ดินเหนียวอยู่ในระหว่างผลึก เมื่อมีการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่ถูกวิธีอย่างต่อเนื่อง จึงพบบางพื้นที่ที่มีปริมาณโพแทสเซียมในระดับต่ำ

(4) ความอุดมสมบูรณ์ของดินภาคตะวันออก

พื้นที่ภาคตะวันออกเป็นดินที่ได้รับอิทธิพลจากตะกอนลำน้ำจากแม่น้ำปราณบุรี จันทบุรี และลุ่มน้ำโตนเลสาบ เป็นดินที่มีการพัฒนาการสูง เนื่องจากการสลายตัวของหินทราย ซึ่งทำให้มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ จากตัวอย่าง 4,436 ตัวอย่าง ความอุดมสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับปานกลาง 47.95 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในระดับต่ำ 47.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งบางส่วนของความอุดมสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับสูง 4.40 เปอร์เซ็นต์ จากการประเมินสมบัติทางเคมีบางประการของดินภาคตะวันออก ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (ตารางที่ 7 และภาพที่ 3) มีดังนี้

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ดินในภาคตะวันออกเป็นดินที่มีพัฒนาการของดินที่สูงจึง ทำให้คงเหลือประจุที่เป็นด่างในดินน้อย ส่งผลให้ดินมีสภาพความเป็นกรด โดยจากข้อมูลผลวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินส่วนใหญ่จึงอยู่ในระดับกรดจัดมากถึงกรดจัด มีค่าในช่วง 4.6 - 5.5 มีจำนวน 2,268 ตัวอย่าง คิดเป็น 47.17 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งดินที่มี

สภาพกรดจัดรุนแรงมาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้อยกว่า 4.6 มีจำนวน 835 ตัวอย่าง คิดเป็น 17.37 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8 และภาพที่ 4)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน จากจำนวนตัวอย่างดินทั้งหมด 4,713 ตัวอย่าง มีตัวอย่างดิน 2,270 ตัวอย่าง คิดเป็น 48.16 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีจำนวน 1,432 ตัวอย่าง คิดเป็น 30.38 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง (10 - 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมีจำนวน 1,011 ตัวอย่าง คิดเป็น 21.45 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 9 และภาพที่ 5)

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ 4,535 ตัวอย่าง พบว่า จำนวน 3,151 ตัวอย่าง คิดเป็น 69.48 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) จำนวน 1,008 ตัวอย่าง คิดเป็น 22.23 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และจำนวน 376 ตัวอย่าง คิดเป็น 8.29 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง (60 - 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 10 และภาพที่ 6)

(5) ความอุดมสมบูรณ์ของดินภาคใต้

ภาคใต้เป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากมรสุมเขตร้อนจึงทำให้มีฝนตกชุก ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการสลายตัวของวัตถุดิบกำเนิดดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีการชะล้างสูง ทำให้แร่ธาตุสลายตัว และแปรสภาพเป็นดินเหนียวจำพวกเคโอลิไนต์ (kaolinite) ซึ่งมีธาตุอาหารต่ำ จากตัวอย่างดินทั้งหมด 8,263 ตัวอย่าง ความอุดมสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับต่ำ คิดเป็น 67.28 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ อยู่ในระดับปานกลาง 32.09 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในระดับสูง 0.63 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 7 และภาพที่ 3) จากการประเมินสมบัติเคมีบางประการของดินภาคใต้ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ มีดังนี้

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ส่วนใหญ่อยู่ในระดับกรดจัดถึงกรดจัดมาก มีค่าในช่วง 4.6 - 5.5 มีจำนวน 5,054 ตัวอย่าง คิดเป็น 58.17 เปอร์เซ็นต์ และดินกรดรุนแรง มีค่าน้อยกว่า 4.6 มีจำนวน 1,845 ตัวอย่าง คิดเป็น 21.23 เปอร์เซ็นต์ และจำนวน 1,171 ตัวอย่าง หรือ คิดเป็น 13.48 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.6 - 6.5 เป็นดินกรดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย (ตารางที่ 8 และภาพที่ 4)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทั้งหมด 8,590 ตัวอย่าง มีจำนวนตัวอย่างดิน 5,958 ตัวอย่าง คิดเป็น 69.36 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีจำนวน 1,682 ตัวอย่าง คิดเป็น 19.58 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง (10 - 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

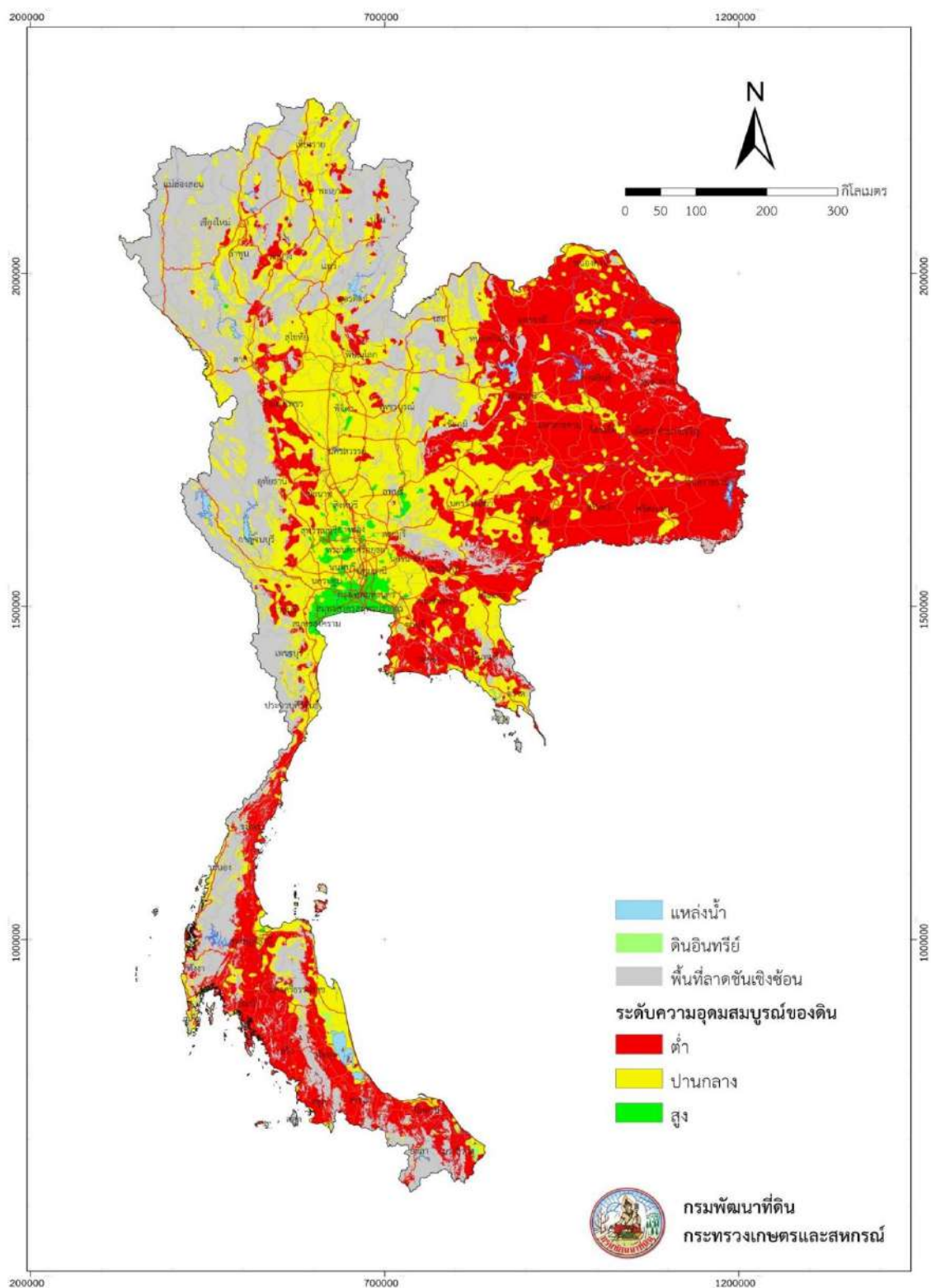
และมีจำนวน 950 ตัวอย่าง คิดเป็น 11.06 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 9 และภาพที่ 5)

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ 8,380 ตัวอย่าง พบว่า จำนวน 6,238 ตัวอย่าง คิดเป็น 74.44 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) จำนวน 1,376 ตัวอย่าง คิดเป็น 16.42 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง (60 - 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และจำนวน 766 ตัวอย่าง คิดเป็น 9.14 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง (มากกว่า 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 10 และภาพที่ 6)

ตารางที่ 7 การกระจายของข้อมูลระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นบนในประเทศไทย

ภาค	จำนวน ข้อมูล	ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน					
		ต่ำ		ปานกลาง		สูง	
		จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์
เหนือ	15,498	3,890	25.10	10,915	70.43	693	4.47
ตะวันออกเฉียงเหนือ	31,642	22,633	71.53	8,868	28.03	141	0.45
กลาง	12,172	1,362	11.19	7,175	58.95	3,635	29.86
ตะวันออก	4,436	2,114	47.66	2,127	47.95	195	4.40
ใต้	8,263	5,559	67.28	2,652	32.09	52	0.63
รวม	72,011	35,558	49.38	31,737	44.07	4,716	6.55

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก)



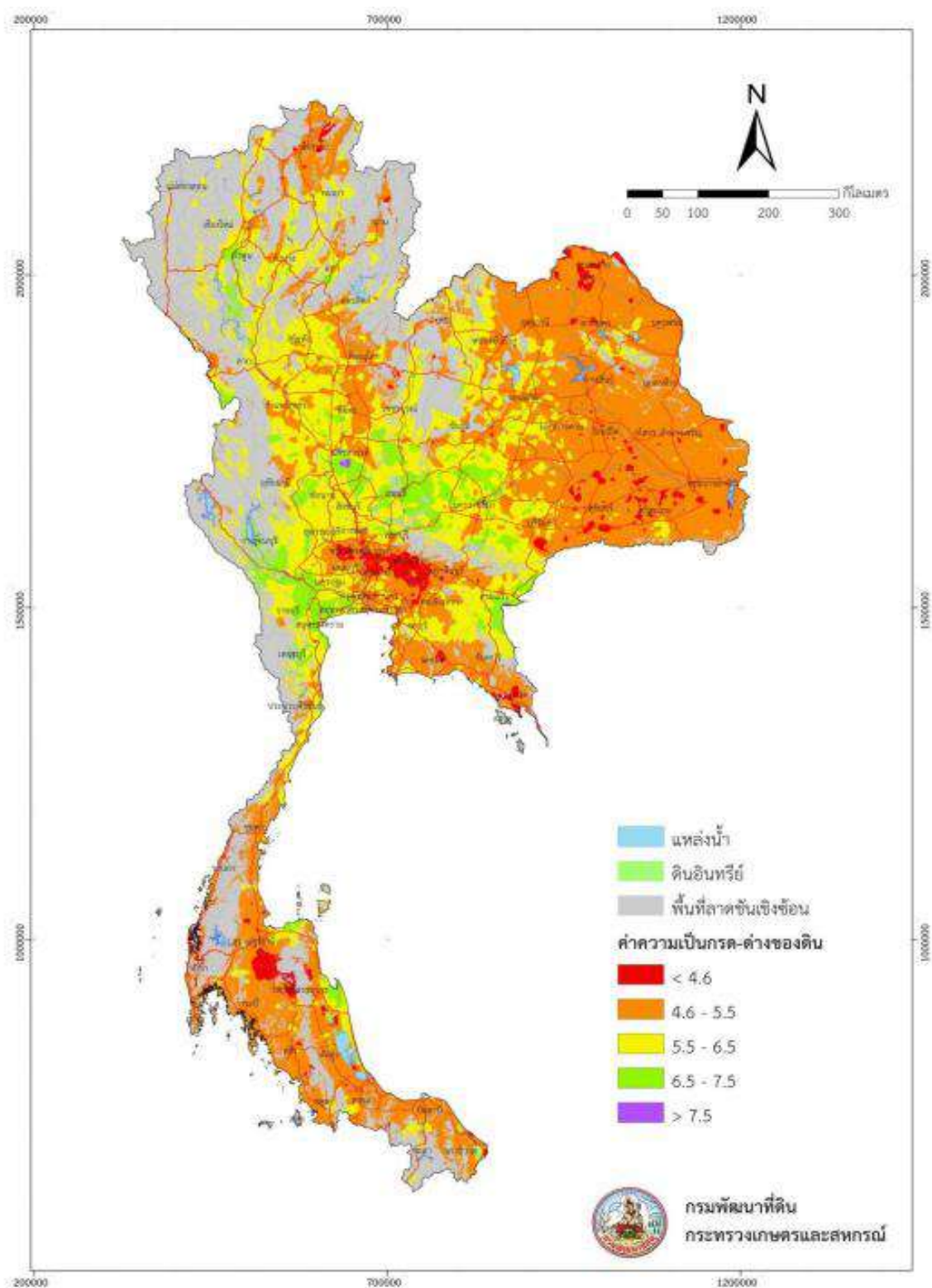
ภาพที่ 3 การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นบนของประเทศไทย

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก)

ตารางที่ 8 การกระจายของความเป็นกรดเป็นด่างของดินในแต่ละภาคของประเทศไทย

ภาค	จำนวน ข้อมูล	< 4.6		4.6 - 5.5		5.6 - 6.5		6.6 - 7.5		> 7.5	
		จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์
เหนือ	15,875	1,039	6.54	6,094	38.39	6,017	37.90	2,255	14.20	470	2.96
ตะวันออกเฉียงเหนือ	34,032	5,518	16.21	19,212	56.45	6,354	18.67	2,318	6.81	630	1.85
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
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	46.83	19,888	26.09	8,530	11.19	1,639	2.15

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก)



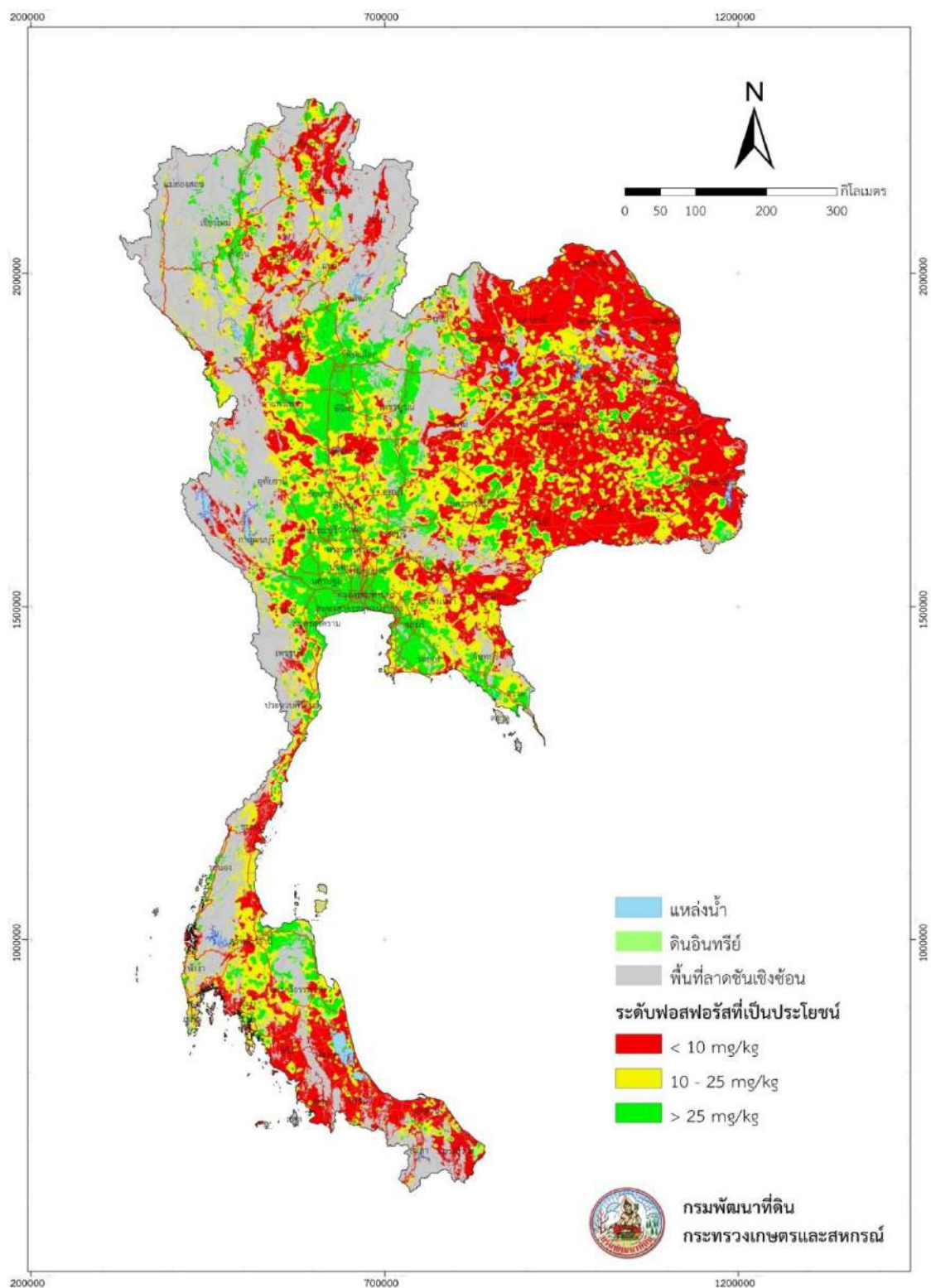
ภาพที่ 4 การประเมินระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินชั้นบนของประเทศไทย

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก)

ตารางที่ 9 การกระจายข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในระดับต่าง ๆ ในแต่ละภาค
ของประเทศไทย

ภาค	จำนวน ข้อมูล	ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
		ต่ำ (< 10)		ปานกลาง (10 - 25)		สูง (> 25)	
		จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์
เหนือ	15,661	7,743	49.44	3,497	22.33	4,421	28.23
ตะวันออกเฉียงเหนือ	33,899	24,554	72.43	5,971	17.61	3,374	9.95
กลาง	12,271	4,238	34.54	3,862	31.47	4,171	33.99
ตะวันออก	4,713	2,270	48.16	1,432	30.38	1,011	21.45
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)



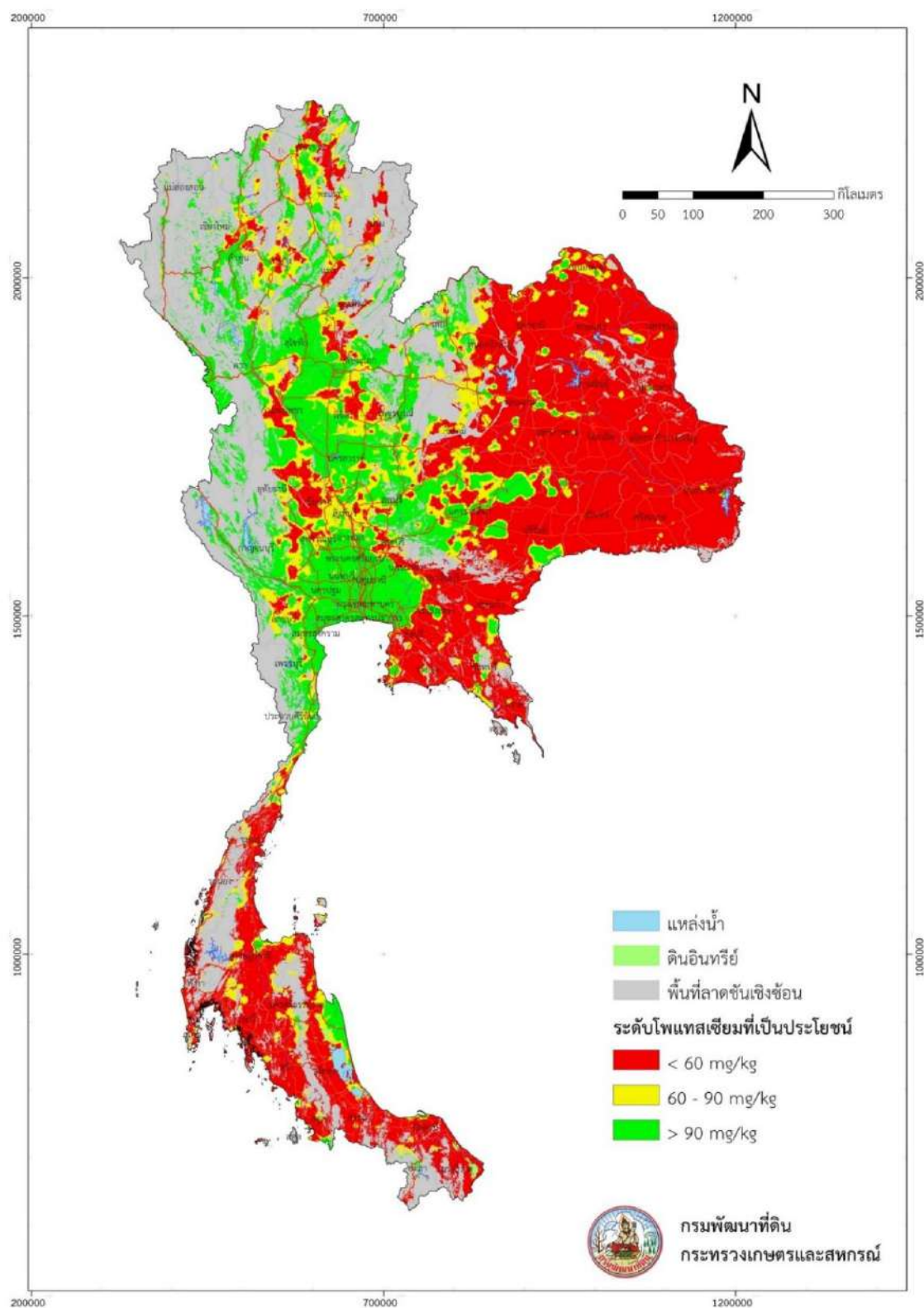
ภาพที่ 5 การประเมินระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินชั้นบนของประเทศไทย

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก)

ตารางที่ 10 การกระจายข้อมูลปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในระดับต่าง ๆ ในแต่ละภาคของประเทศไทย

ภาค	จำนวน ข้อมูล	ระดับโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
		ต่ำ (< 60)		ปานกลาง (60 - 90)		สูง (> 90)	
		จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์
เหนือ	15,754	6,348	40.29	3,424	21.73	5,982	37.97
ตะวันออกเฉียงเหนือ	31,859	25,701	80.67	2,932	9.20	3,226	10.13
กลาง	12,778	3,421	26.77	2,227	17.43	7,130	55.80
ตะวันออก	4,535	3,151	69.48	376	8.29	1,008	22.23
ใต้	8,380	6,238	74.44	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 6 การประเมินระดับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินชั้นบนของประเทศไทย

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก)

6) สภาพการใช้ที่ดินพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย

การใช้ที่ดินของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 - 2561 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ก; 2562ข) จากการสำรวจโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง สามารถแบ่งตามสภาพการใช้ที่ดินหลักได้ 5 ประเภท ประกอบด้วย 1) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเนื้อที่ 18,744,001 ไร่ หรือ คิดเป็น 5.84 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่ประเทศ 2) พื้นที่เกษตรกรรม มีเนื้อที่ 178,737,674 ไร่ หรือ คิดเป็น 55.73 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่ประเทศ 3) พื้นที่ป่าไม้ มีเนื้อที่ 55,448,017 ไร่ หรือคิดเป็น 17.29 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่ประเทศ 4) พื้นที่แหล่งน้ำ มีเนื้อที่ 9,373,612 ไร่ หรือคิดเป็น 2.92 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่ประเทศ และ 5) พื้นที่เบ็ดเตล็ด ได้แก่ พื้นที่ทิ้งร้าง พื้นที่ลุ่ม ทุ่งหญ้าธรรมชาติ ไม้ละเมาะ เหมือง นาเกลือ ที่ทิ้งขยะ หาดทราย และพื้นที่ถม เป็นต้น มีเนื้อที่ 9,185,067 ไร่ หรือ คิดเป็น 2.86 เปอร์เซ็นต์ โดยพื้นที่เกษตรกรรมมีเนื้อที่มากที่สุดจากการใช้ที่ดินของประเทศไทย โดยแบ่งตามชนิดพืช 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 พืชไร่ที่สำคัญทางเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว อ้อยโรงงาน มันสำปะหลัง และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ กลุ่มที่ 2 พืชไม้ยืนต้นที่สำคัญทางเศรษฐกิจ ได้แก่ ยางพารา และ ปาล์มน้ำมัน และกลุ่มที่ 3 พืชที่นิยมปลูกแบบไร่นวนเวียนบนพื้นที่สูง ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวไร่ และ กะหล่ำปลี (ตารางที่ 11 และภาพที่ 7) มีรายละเอียดดังนี้

ภาคเหนือ พื้นที่เกษตรกรรม 43,064,465 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ใช้ในการทำเกษตรกรรมประเภทต่าง ๆ ได้แก่ พื้นที่นาข้าวมากที่สุด 16,404,039 ไร่ รองลงมา คือ พืชไร่ 14,815,888 ไร่ ไร่นวนเวียน 3,837,644 ไร่ ไม้ผล 3,761,711 ไร่ ไม้ยืนต้น 3,722,709 ไร่ พื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ 434,824 ไร่ และสถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 87,650 ไร่

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่เกษตรกรรม 74,052,057 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ใช้ในการทำเกษตรกรรมประเภทต่าง ๆ ได้แก่ พื้นที่นาข้าวมากที่สุด 42,691,633 ไร่ รองลงมา คือ พืชไร่ 19,079,601 ไร่ ไม้ยืนต้น 10,781,521 ไร่ ไม้ผล 857,265 ไร่ พื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ 480,950 ไร่ สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 156,660 ไร่ และไร่นวนเวียน 4,427 ไร่

ภาคกลาง พื้นที่เกษตรกรรม 21,244,118 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ใช้ในการทำเกษตรกรรมประเภทต่าง ๆ ได้แก่ พื้นที่นาข้าวมากที่สุด 8,316,323 ไร่ รองลงมา คือ พืชไร่ 7,134,796 ไร่ ไม้ผล 1,928,396 ไร่ ไม้ยืนต้น 1,847,018 ไร่ สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 1,223,649 ไร่ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ 793,936 ไร่

ภาคตะวันออก พื้นที่เกษตรกรรม 13,329,202 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ใช้ในการทำเกษตรกรรมประเภทต่าง ๆ ได้แก่ พื้นที่ไม้ยืนต้นมากที่สุด 5,230,281 ไร่ รองลงมา คือ พืชไร่ 2,736,994 ไร่ นาข้าว 2,569,837 ไร่ ไม้ผล 1,846,263 ไร่ สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 809,913 ไร่ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ 135,914 ไร่

ภาคใต้ พื้นที่เกษตรกรรม 27,047,832 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ใช้ในการทำเกษตรกรรมประเภทต่าง ๆ ได้แก่ พื้นที่ไม้ยืนต้นมากที่สุด 23,011,950 ไร่ รองลงมา คือ ไม้ผล 2,027,994 ไร่ นาข้าว 1,470,501 ไร่ สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 457,751 ไร่ พืชไร่ 40,112 ไร่ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ 39,524 ไร่

จากข้อมูลการใช้ที่ดินในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว มีพื้นที่มากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ รองลงมา คือ พื้นที่สำหรับการปลูกพืชไร่ ไม้ยืนต้น และไม้ผล ตามลำดับ พื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทยในแต่ละภาคมีความหลากหลายของชนิดพืชปลูก จากข้อมูลดังกล่าวสามารถบ่งชี้ถึงแหล่งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่จะเกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยวในพื้นที่เกษตรกรรมซึ่งเป็นแหล่งอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุที่มีปริมาณมาก มีความสำคัญสำหรับการบำรุงดิน

ตารางที่ 11 เนื้อที่การใช้ที่ดินของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 - 2561

ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่ (ไร่)					
	ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคกลาง	ภาคตะวันออก	ภาคใต้	รวม
1. พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	4,259,380	6,095,420	4,408,831	1,875,246	2,105,124	18,744,001
2. พื้นที่เกษตรกรรม	43,064,465	74,052,057	21,244,118	13,329,202	27,047,832	178,737,674
- นาข้าว	16,404,039	42,691,633	8,316,323	2,569,837	1,470,501	71,452,333
- พืชไร่	14,815,888	19,079,601	7,134,796	2,736,994	40,112	43,807,391
- ไม้ยืนต้น	3,722,709	10,781,521	1,847,018	5,230,281	23,011,950	44,593,479
- ไม้ผล	3,761,711	857,265	1,928,396	1,846,263	2,027,994	10,421,629
- ไร่มวนเวียน	3,837,644	4,427	-	-	-	3,842,071
- สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	87,650	156,660	1,223,649	809,913	457,751	2,735,623
- พื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ	434,824	480,950	793,936	135,914	39,524	1,885,148
3. พื้นที่ป่าไม้	17,501,845	14,577,092	4,839,833	12,289,746	104,656,533	55,448,017
4. พื้นที่น้ำ	1,738,539	3,850,691	1,547,658	627,349	1,609,375	9,373,612
5. พื้นที่เบ็ดเตล็ด	1,517,279	4,033,950	1,672,741	816,182	1,144,915	9,185,067
รวม	106,027,680	105,533,963	43,450,440	21,487,812	44,196,992	320,696,887

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2562ก)

4.3.3 อินทรีย์วัตถุต่อการปรับปรุงคุณภาพดิน

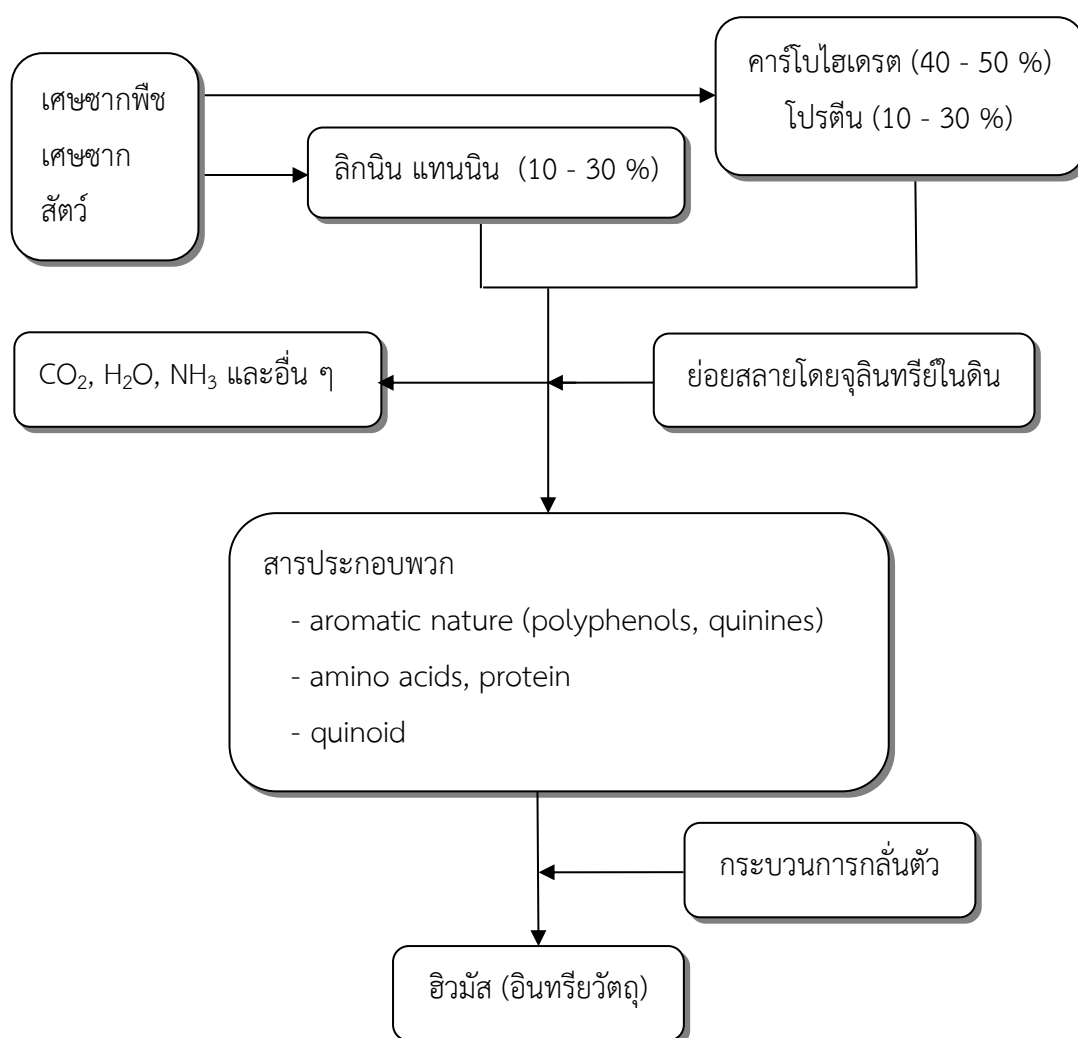
อินทรีย์วัตถุ (organic matter) หมายถึง สิ่งที่ได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ซากพืช ซากสัตว์ รวมถึงสิ่งขับถ่าย ของมนุษย์และสัตว์ รวมไปถึงเซลล์ของจุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และส่วนที่ตายแล้ว ซึ่งกระบวนการย่อยสลายประกอบด้วยหลายขั้นตอนตั้งแต่อยู่ในรูปเดิม หรือเปลี่ยนแปลงแต่ยังจำรูปเดิมได้จนถึงเปลี่ยนแปลงจากเดิมโดยสมบูรณ์ เมื่อย่อยสลายต่อไปขั้นสุดท้ายจะได้ฮิวมัส (humus) แต่ไม่รวมถึงรากพืช หรือเศษซากพืช หรือสัตว์ที่ยังไม่ย่อยสลาย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) อินทรีย์วัตถุในดินเป็นแหล่งกำเนิดของอาหารและพลังงาน ทำหน้าที่ควบคุมความสมดุลของการดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันแบบถ้อยทีถ้อยอาศัยในดิน (Alexander, 1977) แหล่งที่มาของอินทรีย์วัตถุในดินจะประกอบด้วยสารต่าง ๆ ที่ได้จากสารอินทรีย์ทั้งหมดในดิน รวมถึงมวลชีพในดิน เช่น ซากพืช ซากสัตว์ และจุลินทรีย์ ซึ่งซากพืชเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุที่มีมากที่สุด ซึ่งมีทั้งส่วนต่าง ๆ ของพืชที่อยู่บนดินและใต้ดิน โดยทั่วไปจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สารประกอบประเภทสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์จากพืชประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน องค์กรประกอบละลายน้ำได้ องค์กรประกอบที่ละลายในอีเทอร์ และแอลกอฮอล์ และโปรตีน สำหรับสารอนินทรีย์ในพืชจะเป็นส่วนของแร่ธาตุอาหารหลายชนิด ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ดินรวมถึงระบบรากพืชในดินด้วย เมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน จะมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินหลายชนิด ซึ่งทำหน้าที่แสดงบทบาทเฉพาะกลุ่มในการแปรสภาพสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน (ภาพที่ 8)

(1) ขั้นตอนการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์คาร์บอน เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ที่เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของกลุ่มจุลินทรีย์ในดิน ภายหลังการเพิ่มวัสดุอินทรีย์ให้แก่ดิน คือ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในเศษพืช ซึ่งเป็นองค์กรประกอบหลักอยู่ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งพืช ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) มีอยู่ประมาณ 15 - 60 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) มีอยู่ประมาณ 10 - 30 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน (lignin) มีอยู่ประมาณ 5 - 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของพืช นอกจากนี้ยังมีสารโพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ เช่น แป้ง สารเพคติก (pectic substance) อินูลิน (inulin) และไคติน (chitin) องค์กรประกอบอินทรีย์ในพืชดังกล่าวนี้ มีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดพืช (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558)

(2) ขั้นตอนการแปรสภาพแร่ธาตุอาหารให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์สาร ในระหว่างกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนในดิน จะเกิดกิจกรรมการแปรสภาพ หรือเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารในดิน ให้อยู่ในรูปอนุมูล หรือสารอนินทรีย์ ซึ่งเกิดขึ้นโดยกิจกรรมของกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน อีกทั้งการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์วัตถุในดินภายหลังการย่อยสลาย

สารอินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์วัตถุส่วนที่เปลี่ยนแปลงง่ายไปเป็นธาตุอาหาร หรือกระบวนการมิเนอรัไลเซชัน (mineralization) และทำให้เกิดอินทรีย์วัตถุส่วนที่เสถียร หรือเปลี่ยนแปลงยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งฮิวมัสในส่วนของสารฮิวมิก โดยกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์สาร โดยการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์แต่ละชนิดทำหน้าที่ได้เฉพาะกลุ่ม ธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น หลังจากเกิดกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สาร จะอยู่ในรูปอนุโมลที่เป็นประจุบวกประกอบด้วย ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ และจุลธาตุ (Tivy, 1991)



ภาพที่ 8 กระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ

ที่มา: กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน (2558ข)

ดังนั้นการเกิดขึ้นตอนการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์คาร์บอน และแร่ธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์สาร เป็นการบ่งบอกให้ทราบถึงบทบาทสำคัญและความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์วัตถุในดินกับจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน อินทรีย์วัตถุ หรืออินทรีย์สารในดิน เป็นปัจจัยเริ่มต้นของการเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี การย่อยสลายอินทรีย์สารและการแปรสภาพแร่ธาตุในดินนั้น จุลินทรีย์จะสังเคราะห์เอนไซม์ (enzyme) ขึ้นมา เพื่อทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาทางเคมี และแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ ให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์สารที่พืชและจุลินทรีย์ดิน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Russell, 1982)

2) ความสำคัญของอินทรีย์วัตถุในดิน

โดยทั่วไปในดินที่เหมาะสมในการปลูกพืชควรต้องมีองค์ประกอบหลักสำคัญอยู่ 4 ส่วน คือ แร่ธาตุอาหารพืช 45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของอากาศ 25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของน้ำ 25 เปอร์เซ็นต์ และส่วนของอินทรีย์วัตถุ 5 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุมีความสำคัญต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของดินเนื่องจากอินทรีย์วัตถุในดินจะเกี่ยวข้องกับสมบัติของดินทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข)

อินทรีย์วัตถุในดินมีบทบาทสำคัญในด้านต่าง ๆ ของดิน (Vargas *et al.*, 2019) ทั้งสมบัติของดินและเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินในฐานะที่เป็นแหล่งอาหารของพืชและจุลินทรีย์ดิน อินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์กับการทำหน้าที่ของดินเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน จากข้อมูลผลการศึกษาของอนนท์ (2547) และยงยุทธ (2557ก) ได้รวบรวมและสรุปความสำคัญของอินทรีย์วัตถุในดินไว้ ดังต่อไปนี้

(1) เพิ่มกิจกรรม ความหลากหลาย และจำนวนของจุลินทรีย์ในดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งพลังงานและอาหารของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในดิน

(2) เกิดเม็ดดิน ช่วยทำให้เม็ดดินเกิดการจับเป็นก้อน จากสารที่เกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดินจะช่วยเชื่อมอนุภาคดินเข้าด้วยกัน

(3) เพิ่มช่องว่างในดิน ทำให้ดินมีความพรุน สามารถกักเก็บความชื้น และถ่ายเทอากาศได้มากขึ้น

(4) เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืช โดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถัน และธาตุอาหารเสริมหลายชนิด ผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์แล้วปลดปล่อยธาตุอาหารออกมา

(5) ดูดซับธาตุอาหาร ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะช่วยดูดซับธาตุอาหารพืชเพื่อสำรองไว้ได้มาก และค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมาให้เป็นประโยชน์กับพืช ในระยะต่อไป

- (6) เพิ่มความสามารถในการละลายธาตุอาหารในดิน เช่น โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส จากกรดอินทรีย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ
- (7) เพิ่มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity, CEC) ในการดูดซับธาตุอาหารไม่ให้สูญเสียไปจากดินได้ง่าย
- (8) ช่วยรักษาสภาพความเป็นกรดเป็นด่างในดิน ไม่ให้เปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน
- (9) ช่วยลดความเป็นพิษของธาตุบางตัวที่มีปริมาณมากเกินไปในดิน เช่น เหล็ก และอะลูมิเนียม
- (10) ช่วยเพิ่มค่าความจุบัฟเฟอร์ (buffering capacity) ของดิน ในการเพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH)
- (11) ช่วยเพิ่มประชากรของสิ่งมีชีวิต และจุลินทรีย์ดินที่อาศัยอินทรีย์วัตถุเป็นอาหาร และยังช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในดินให้มากขึ้นอีกด้วย
- (12) ช่วยป้องกันดินแน่น จากแรงกระทำของเม็ดฝน หรือการเขตรกรรม
- (13) ลดการระเหยน้ำของดินจากอินทรีย์วัตถุที่ปกคลุมอยู่บนผิวดิน ทำให้ดินไม่ถูกแสงแดดโดยตรง
- (14) ลดการชะล้างพังทลายดิน โดยน้ำและลมจากการที่อนุภาคของดินเกาะกันเป็นก้อนทำให้ถูกพัดพาได้ยาก

อินทรีย์วัตถุในดินเป็นองค์ประกอบสำคัญของดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติต่าง ๆ ของดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ อันส่งผลกระทบต่อเนื่องไปถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน รวมทั้งการพัฒนาระบบนิเวศของแต่ละสภาพแวดล้อม หากปราศจากอินทรีย์วัตถุในดินแล้ว ดินจะขาดแหล่งธาตุอาหารของพืชขาดความอุดมสมบูรณ์ ถือได้ว่าอินทรีย์วัตถุในดินเป็นปัจจัยตัวชี้วัดต่อคุณภาพดิน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของดิน ดังนั้นแนวทางในการป้องกันการสูญเสียและรักษาระดับอินทรีย์วัตถุในดิน ส่งผลต่อคุณภาพของดินในการผลิตพืช และรักษาคุณภาพของดินทางเกษตรที่ยั่งยืน

3) สถานการณ์ของอินทรีย์วัตถุในดินของประเทศไทย

สมบัติดินในประเทศไทยส่วนใหญ่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ (< 1.5 เปอร์เซ็นต์) จนถึงปานกลาง (1.5 - 3.5 เปอร์เซ็นต์) คิดเป็น 62.33 และ 33.02 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด โดยดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุระดับต่ำ (< 1.5 เปอร์เซ็นต์) พบกระจายสูงสุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากผลวิเคราะห์ดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำทั่วประเทศ เมื่อพิจารณาภาพรวมของปริมาณอินทรีย์วัตถุ พบว่า พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินมีระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ (< 1.5 เปอร์เซ็นต์) มากที่สุด คือ 86.36 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันออก 59.95 เปอร์เซ็นต์ ภาคใต้ 52.47 เปอร์เซ็นต์ ภาคเหนือ 43.67 เปอร์เซ็นต์ และภาคกลาง 29.14 เปอร์เซ็นต์ แสดงรายละเอียดการกระจายของข้อมูลปริมาณอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในระดับต่าง ๆ ในแต่ละภาคของประเทศไทย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก) (ตารางที่ 12 และภาพที่ 9) ดังนี้

(1) ภาคเหนือ อินทรีย์วัตถุในดิน จากข้อมูลการวิเคราะห์ดิน จำนวน 15,882 ตัวอย่าง พบว่า จำนวนตัวอย่างมากที่สุด 8,125 ตัวอย่าง หรือ คิดเป็น 51.16 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง (1.5 - 3.5 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือ 6,935 ตัวอย่าง หรือ คิดเป็น 43.67 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์) และจำนวน 822 ตัวอย่าง คิดเป็น 5.18 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในระดับสูง (มากกว่า 3.5 เปอร์เซ็นต์) โดยจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคเหนือมีลักษณะเป็นพื้นที่สูง มีความลาดชัน ทำให้มีการชะล้างของดินสูง ในพื้นที่ที่ไม่มีการอนุรักษ์ดินที่ถูกต้อง ทำให้เกิดการชะล้างหน้าดิน ซึ่งอินทรีย์วัตถุในดินก็จะถูกชะล้างไปด้วย

(2) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อินทรีย์วัตถุในดิน จากการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ จากตัวอย่างดิน 34,023 ตัวอย่าง ดินส่วนใหญ่จำนวน 29,382 ตัวอย่าง คิดเป็น 86.36 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำ (น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือ จำนวนตัวอย่างดิน 4,378 ตัวอย่าง คิดเป็น 12.87 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง (1.5 - 3.5 เปอร์เซ็นต์) และจำนวนตัวอย่างดิน 263 ตัวอย่าง คิดเป็น 0.77 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับสูง (มากกว่า 3.5 เปอร์เซ็นต์)

(3) ภาคกลาง อินทรีย์วัตถุในดิน จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ จำนวน 12,792 ตัวอย่าง ดินส่วนใหญ่จำนวน 7,256 ตัวอย่าง คิดเป็น 56.72 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง (1.5 - 3.5 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือ จำนวน 3,728 ตัวอย่าง คิดเป็น 29.14 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำ (น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์) และจำนวน 1,808 ตัวอย่าง คิดเป็น 14.13 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับสูง (มากกว่า 3.5 เปอร์เซ็นต์)

(4) ภาคตะวันออก อินทรีย์วัตถุในดิน จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 4,804 ตัวอย่าง โดยมีจำนวน 2,880 ตัวอย่าง คิดเป็น 59.95 เปอร์เซ็นต์ ดินส่วนใหญ่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำ (น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือ จำนวน 1,649 ตัวอย่าง คิดเป็น 34.33 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง (1.5 - 3.5 เปอร์เซ็นต์) และจำนวน 275 ตัวอย่าง คิดเป็น 5.72 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับสูง (มากกว่า 3.5 เปอร์เซ็นต์)

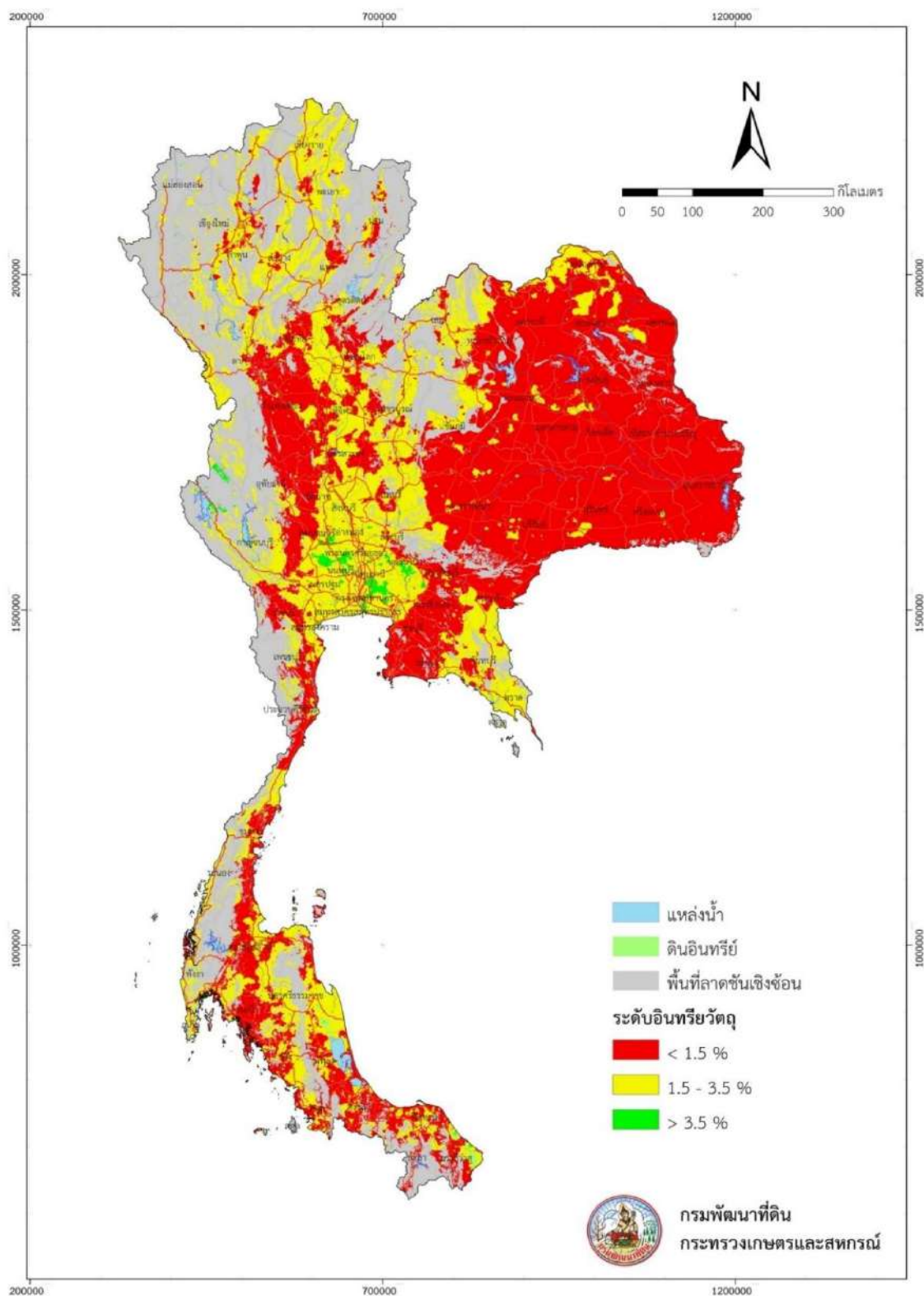
(5) ภาคใต้ อินทรีย์วัตถุในดิน จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทั้งหมด 8,645 ตัวอย่าง มีจำนวน 4,536 ตัวอย่าง คิดเป็น 52.47 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำ (น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือ จำนวน 3,734 ตัวอย่าง คิดเป็น 43.16 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง (1.5 - 3.5 เปอร์เซ็นต์) และจำนวน 375 ตัวอย่าง คิดเป็น

4.34 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับสูง (มากกว่า 3.5 เปอร์เซ็นต์) อย่างไรก็ตามพื้นที่บริเวณปากพนัง และรอบ ๆ ทะเลสาบสงขลา บางส่วนเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางและสูง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นบริเวณพื้นที่ลุ่มทำให้มีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนลำนํ้า

ตารางที่ 12 การกระจายของข้อมูลปริมาณอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในระดับต่าง ๆ ในแต่ละภาคของประเทศไทย

ภาค	จำนวน ข้อมูล	ระดับอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)					
		ต่ำ (< 1.5)		ปานกลาง (1.5 - 3.5)		สูง (> 3.5)	
		จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	จำนวน	เปอร์เซ็นต์
เหนือ	15,882	6,935	43.67	8,125	51.16	822	5.18
ตะวันออกเฉียงเหนือ	34,023	29,382	86.36	4,378	12.87	263	0.77
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
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 9 การประเมินระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินชั้นบนของประเทศไทย

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก)

จากสถานการณ์อินทรีย์วัตถุในดินพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่าดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุระดับต่ำพบกระจายสูงสุดในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือคิดเป็น 61.91 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลผลวิเคราะห์ดินมีอินทรีย์วัตถุต่ำทั่วประเทศ เมื่อพิจารณาภาพรวมของปริมาณอินทรีย์วัตถุ พบว่า พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินมีระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมากที่สุด คือ 86.36 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณของมวลชีวภาพ (biomass) ที่มีน้อยตามธรรมชาติ สภาพแวดล้อมแห้งแล้ง ขาดการปรับปรุง ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และอนุรักษ์ดินอย่างเพียงพอ ดินเกิดการกร่อน และการชะล้างสูง ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง เกิดการสูญเสียอินทรีย์วัตถุในดิน และความอุดมสมบูรณ์ลดลง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช การสูญเสียอินทรีย์วัตถุในดินเกิดได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม คือ ทางตรงเกิดจากการชะล้างพังทลายของดิน และทางอ้อมเกิดจากสภาพอากาศ การรบกวนดิน (Yan *et al.*, 2013) ดังนั้นการจัดการวัสดุอินทรีย์ และเสถียรภาพของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน อินทรีย์วัตถุในดินเป็นองค์ประกอบสำคัญของดินที่มีอิทธิพลต่อระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทั้งสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางชีวภาพของดิน และความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพดินมีความจำเป็นต้องเพิ่มและรักษาระดับอินทรีย์วัตถุของดินอย่างถูกต้องและเหมาะสม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และรักษาคุณภาพดินของพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย

4) การจัดการอินทรีย์วัตถุต่อการเพิ่มคุณภาพดิน

กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก) ได้กำหนดเกณฑ์ในการจำแนกระดับของอินทรีย์วัตถุในดินของประเทศไทย (ตารางที่ 13) ไว้ดังนี้

ตารางที่ 13 การจำแนกระดับอินทรีย์วัตถุในดิน

ระดับอินทรีย์วัตถุในดิน		ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)
1. ต่ำ	1. ต่ำมาก	< 0.5
	2. ต่ำ	0.5 - 1.0
	3. ต่ำปานกลาง	1.0 - 1.5
2. ปานกลาง	4. ปานกลาง	1.5 - 2.5
	5. สูงปานกลาง	2.5 - 3.5
3. สูง	6. สูง	3.5 - 4.5
	7. สูงมาก	> 4.5

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2558ก)

สำหรับการพิจารณาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ตามการจำแนกระดับอินทรีย์วัตถุในดิน ถ้าดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำถึงต่ำมาก คือ ต่ำกว่า 0.5 และ 0.5 - 1.0 เปอร์เซ็นต์ จำเป็นต้องเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงไปจำนวนมาก ถ้าดินมีอินทรีย์วัตถุตั้งแต่ 1.0 - 2.0 เปอร์เซ็นต์ ดินนั้นมีอินทรีย์วัตถุระดับปานกลาง ควรเพิ่มลงไปบ้าง ถ้าดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป หากไม่มีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงไปก็จะต้องรักษาระดับนี้ไว้ตลอด ถ้าดินมีอินทรีย์วัตถุระดับ 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ ก็ไม่จำเป็นต้องเพิ่มลงไป

(1) แหล่งที่มาของอินทรีย์วัตถุในดิน (โสฬส, 2559)

(1.1) จากการย่อยสลายตัวของเศษชิ้นส่วนของพืชที่ไถสับกลบลงไป ในดิน เช่น ตอซัง เศษวัสดุของพืช หลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว หรืออาจเป็นพืชที่ปลูกเพื่อไถกลบ เช่น ปุ๋ยพืชสด

(1.2) จากการย่อยสลายตัวของซากพืชและซากสัตว์โดยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ กลุ่มจุลินทรีย์ที่สำคัญ คือ แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท และรา

(1.3) จากการสลายตัวของสิ่งขับถ่ายทั้งหลายจากสัตว์ หรือคน

(1.4) จากการสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยหมักที่ใส่ลงไป

(1.5) จากเซลล์ของจุลินทรีย์ในดินที่ยังมีชีวิตอยู่ หรือตายแล้ว รวมถึงสารที่จุลินทรีย์ในดินสังเคราะห์ขึ้น

(2) ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์และการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน

(2.1) ปัจจัยคุณภาพของสารอินทรีย์ที่ใช้ปรับปรุงดิน และสารที่เป็นปฏิปักษ์ต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต (allelochemicals) คุณภาพของสารอินทรีย์ หมายถึง องค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์นั้น ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมการสลายตัว การปลดปล่อยธาตุอาหาร และการสร้างอินทรีย์วัตถุในดิน เช่น ส่วนเหลือจากการเก็บเกี่ยวของพืชเกษตรหลัก เช่น ตอซังข้าว ใบ ตอ และรากอ้อย ใบและต้นมันสำปะหลัง ใบและต้นข้าวโพด และส่วนต้นของถั่วลิสง รวมทั้งซากใบไม้จากต้นไม้ที่ขึ้นในไร่นา และสารอินทรีย์ที่ได้รับการส่งเสริมให้ใช้เป็นปุ๋ยพืชสด โดยกรมพัฒนาที่ดินหลายชนิด เช่น ปอเทือง ถั่วมะแฮะ ถั่วพราง และโสนอัฟริกัน เป็นต้น สารอินทรีย์เหล่านี้มีคุณภาพต่างกัน (Vityakon and Dangthaisong, 2005) โดยศักยภาพที่จะสลายตัว และปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน โดยใช้เกณฑ์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ลิควิน และโพลีฟีนอล (polyphenols) (Palm *et al.*, 2001)

(2.2) ปัจจัยสภาพแวดล้อมและการจัดการดิน ปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นและอุณหภูมิดิน การจัดการที่เปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เช่น การไถพรวน และ

ปัจจัยจำเพาะของดิน เช่น เนื้อดิน แร่ธาตุของดิน และความเป็นกรดเป็นด่าง ที่มีผลต่อกิจกรรมทางชีวภาพ และปริมาณธาตุอาหารอื่น ๆ ในดิน (Myers *et al.*, 1994) สำหรับเนื้อดินที่มีแร่ดินเหนียว จะมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง การสลายตัวเกิดได้ช้า และมีการระบายอากาศในดินน้อยลง ทำให้อัตราการย่อยสลายของเศษซากพืชเป็นไปได้ช้ากว่าในดินร่วน (Thonissen *et al.*, 2000) สำหรับปัจจัยการระบายอากาศมีผลต่อการสลายตัว สารอินทรีย์มีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่ต่างกัน ในสภาพน้ำขัง หรือสภาพระบายอากาศปกติ และความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีผลต่อการสลายตัวของซากอินทรีย์ และการปลดปล่อยไนโตรเจน เพราะความเป็นกรดเป็นด่างมีอิทธิพลต่อกิจกรรมและชนิดของประชากรจุลินทรีย์ โดยทั่วไปดินที่มีความเป็นกรดน้อยหรือใกล้เป็นกลางมักมีแบคทีเรีย ในขณะที่สภาพความเป็นกรดมาก เชื้อราจะมีกิจกรรมสูงกว่าแบคทีเรีย (Paul and Clark, 1989) อีกทั้งความชื้นดินที่มีผลอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตที่ทำการย่อยสลาย โดยทั่วไปกิจกรรมจุลินทรีย์ดินจะดีที่สุดหรือใกล้พลังงานศักย์ของน้ำที่ - 0.1 บาร์ หรือ - 0.01 บาร์ และจะลดลงเมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำท่วมขังที่มีพลังงานศักย์น้ำใกล้เคียงศูนย์ หรือเมื่อดินแห้งทำให้พลังงานศักย์น้ำเป็นลบ (Paul and Clark, 1996) เชื้อราและแอคติโนมัยซีท สามารถทนต่อความเครียดของน้ำได้สูงสุดถึง - 400 บาร์ สูงกว่าแบคทีเรียสามารถทนต่อความเครียดของน้ำได้สูงสุดในช่วง - 10 ถึง - 15 บาร์ (Swift *et al.*, 1979) การเปลี่ยนรูปไนโตรเจนจากอินทรีย์เป็นอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบกระบวนการย่อยสลายที่ได้รับผลกระทบจากความชื้นดิน กระบวนการไนโตรเจนมิเนอรัไลเซชัน (N mineralization) ได้แก่ แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) และไนตริฟิเคชัน (nitrification) ได้รับผลกระทบจากความชื้นดินต่างกัน และเกิดจากกระบวนการของจุลินทรีย์ที่ต่างกัน เช่น จุลินทรีย์ *Nitrosomonas* ที่ดำเนินกระบวนการไนตริฟิเคชัน ทนต่อความเครียดของน้ำต่ำกว่า ส่วนจุลินทรีย์ที่ดำเนินกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ได้แก่ *Clostridium* และ *Penicillium* (Paul and Clark, 1996) ซึ่งการจัดการดินที่มีการรบกวนดิน เช่น การไถพรวน การกำจัดวัชพืช และการใส่ปุ๋ย เป็นต้น ทำให้มีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินลดลง ซึ่งมีผลต่อการสะสมและการกระจายของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน เนื่องจากการไถพรวนลดอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบกับมีการไถพรวน (Paustian *et al.*, 1997)

(2.3) บทบาทของจุลินทรีย์ดินในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ โดยองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ที่มีผลต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน วัตถุประสงค์จากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเอนไซม์ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้น เป็นต้น ในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ จุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน และปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งสามารถตรวจวัดกิจกรรมได้จากการวัดการหายใจ (respiration) ดังนั้นมวลชีวภาพจุลินทรีย์ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมา จึงมีความสัมพันธ์กับการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เช่น รายงานของ Allison and Vitousek (2005) ที่ศึกษาอิทธิพลของชนิดของสารอาหารต่อการหายใจ และการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ในดิน พบว่า สารอาหารที่มีโครงสร้างแบบง่าย คือ

แอมโมเนียม (ammonium) ฟอสเฟต (phosphate) และอะซิเตท (acetate) ส่งผลให้การหายใจและมวลชีวภาพจุลินทรีย์สูงกว่าสารอาหารที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน คือ เซลลูโลส จากการสืบค้นรายงานวิจัยการศึกษาระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงและการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน ที่ได้รับการใส่สารอินทรีย์ที่ต่างคุณภาพกันทุกปีอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 13 ปี พบว่า การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมตลอดช่วงการย่อยสลาย 1 ปี มีค่าสูง 70 - 90 เปอร์เซ็นต์ ของคาร์บอนในสารอินทรีย์ที่ใส่ในดิน ในสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบเป็นสารประกอบต้านทานการย่อยสลาย เช่น ลิกนิน และโพลีฟีนอลต่ำ ได้แก่ ซากต้นถั่วลันเตา และฟางข้าว แต่การปลดปล่อยมีค่าต่ำ 38 เปอร์เซ็นต์ ในสารอินทรีย์ที่มีลิกนินและโพลีฟีนอลสูง ได้แก่ ใบพลวงร่วง และใบมะขามร่วง (Puttaso *et al.*, 2011)

(2.4) บทบาทของสัตว์ในดินในการย่อยสลายสารอินทรีย์ สัตว์ในดินชนิดต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบของลูกโซ่อาหารที่ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ มีบทบาทหลักทำให้เกิดการหมุนเวียนเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ที่มีแหล่งที่มาจากพืชทั้งส่วนเหนือดินและใต้ดิน (Bardgett, 2005) ถึงแม้ว่าจุลินทรีย์ เช่น เชื้อรา และแบคทีเรีย จะเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมการหมุนเวียนธาตุอาหาร แต่จุลินทรีย์ก็ได้รับอิทธิพลจากสัตว์ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เดียวกัน สัตว์ในดินมีอิทธิพลต่อกระบวนการสลายตัว ทั้งโดยตรงทำให้ซากอินทรีย์มีขนาดเล็กลง และโดยอ้อมที่ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนหน้าที่ของจุลินทรีย์จากการที่สัตว์กินจุลินทรีย์ และจากการขับถ่ายมูลที่มีสารอาหาร (Cole and Bardgett, 2002) เช่น ไส้เดือน มีอิทธิพลมากที่สุดต่อการย่อยสลายผสมคลุกเคล้าเศษซากอินทรีย์ในโปรไฟล์ดิน นับว่าเป็นบทบาททางนิเวศวิศวกรรม (ecosystem engineering) แบบหนึ่ง (Jones *et al.*, 1994) อีกทั้งการเคลื่อนที่ของสัตว์ไปในดินยังมีผลต่อการแพร่กระจายของส่วนที่ใช้ในการสืบพันธุ์ เช่น สปอร์ โดยติดไปกับพื้นผิวร่างกายของสัตว์ หรือผ่านลำไส้ของสัตว์ ถึงแม้สัตว์ทุกชนิดในดินมีส่วนในกระบวนการสลายตัว การเปลี่ยนรูปธาตุอาหารในดิน และยังส่งผลกระทบทางอ้อมกับโครงสร้างและหน้าที่ประชากรจุลินทรีย์ (Newell, 1984)

(3) หลักการพิจารณาเพิ่มอินทรีย์วัตถุและคุณภาพดินทางการเกษตร

การพิจารณาเพิ่มอินทรีย์วัตถุและคุณภาพดินในพื้นที่ทางการเกษตรในการนำมาปฏิบัติในพื้นที่ทางการเกษตรต้องเป็นไปตามหลัก 6 ประการ (ยงยุทธ, 2557ก) ดังนี้

(3.1) เพิ่มอินทรีย์วัตถุ

การจัดการในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในพื้นที่เกษตรกรรมต้องคืนกลับลงไปทดแทน โดยปริมาณสารอินทรีย์ที่ลงไปในดินให้มากกว่าอัตราการสลายตัว เพื่อให้อินทรีย์วัตถุในดินจากการใช้ดินในการปลูกพืชแต่ละปีสูงกว่าเดิม ซึ่งอินทรีย์วัตถุเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินในฐานะที่เป็นแหล่งอาหารของพืชและจุลินทรีย์ดิน จากการศึกษาพบว่าอินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์กับการทำหน้าที่ของดินเป็นอย่างมาก เป็นตัวชี้วัดคุณภาพดินที่สำคัญ

มีความสัมพันธ์คุณสมบัติดินด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ (ยงยุทธ, 2557ก; พัทธ์พงศ์, 2560) โดยหลักการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินในพื้นที่ 1 ไร่ สามารถคำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้ดังนี้

การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ใช้ตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรงร่อนช่องขนาด 2 มิลลิเมตร ที่มีในดินบนที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0 - 15 เซนติเมตร ในพื้นที่ 1 ไร่ ค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนี้

พื้นที่ 1 ไร่	= 1,600	ตารางเมตร
	= 1,600 × 10,000	ตารางเซนติเมตร
ชั้นดินไถพรวนมีความลึก	= 15	เซนติเมตร
ความหนาแน่นดินรวม	= 1.3	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ดังนั้นดิน 1 ไร่ ชั้นไถพรวนมีน้ำหนัก	= 1,600 × 10,000 ตารางเซนติเมตร × 15 เซนติเมตร	
	× 1.3	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
	= 312,000,000	กรัม
	= 312,000	กิโลกรัม

กำหนดให้ดินมีอินทรีย์วัตถุ 1 เปอร์เซ็นต์ อาจคำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน 1 ไร่ ดังนี้

ดิน 100	กิโลกรัม มีอินทรีย์วัตถุ	= 1	กิโลกรัม
ดิน 312,000	กิโลกรัม มีอินทรีย์วัตถุ	= 312,000 × 1 × 10 ⁻²	กิโลกรัม
		= 3,120	กิโลกรัม

จากวิธีการคำนวณข้างต้น สามารถแสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินบนพื้นที่ 1 ไร่ ที่มีอินทรีย์วัตถุ 0.5 ถึง 4.0 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีในดินเมื่อดินมีเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีในดินเมื่อดินมีเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน

อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (กิโลกรัมต่อไร่)	ปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากระดับเดิม (กิโลกรัมต่อไร่)
0.5	1,560	-
1.0	3,120	1,560
1.5	4,680	1,560
2.0	6,240	1,560
2.5	7,800	1,560
3.0	9,360	1,560
3.5	10,920	1,560
4.0	12,480	1,560

ที่มา: ยงยุทธ และคณะ (2551)

(3.2) การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน สามารถทำได้ 3 วิธี สามารถเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับพื้นที่ หรือเลือกวิธีการแบบผสมผสานในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ที่มีต้นทุนต่ำ และเป็นวิธีการที่เหมาะสม ดังนี้

(3.2.1) ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก วิธีนี้สามารถกำหนดอัตราการใส่ได้ในพื้นที่ตัวอย่าง เช่น การใส่ปุ๋ยหมักที่มีความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์ ดังนี้ การใส่ปุ๋ยหมักหากต้องการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินบนจาก 1.0 เป็น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ด้วยการใช้ปุ๋ยหมักที่มีความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์ และการแปรสภาพของปุ๋ยหมักจนเป็นอินทรีย์วัตถุในดิน น้ำหนักปุ๋ยแห้งจะลดลงอีก 20 เปอร์เซ็นต์ จะต้องใช้ปุ๋ยหมักที่มีความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์ กี่กิโลกรัมต่อไร่ จึงสามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินสู่ระดับต้องการ ใช้ข้อมูลข้างต้นในการคำนวณ ตามขั้นตอน ดังนี้

เมื่อการแปรสภาพของปุ๋ยหมักจนเป็นอินทรีย์วัตถุในดินน้ำหนักปุ๋ยแห้งจะลดลงอีก 20 เปอร์เซ็นต์

ถ้าให้มีอินทรีย์วัตถุในดิน 100 กิโลกรัม ต้องใช้ปุ๋ยหมักแห้ง	120	กิโลกรัม
ถ้าให้มีอินทรีย์วัตถุในดิน 1,560 กิโลกรัม ต้องใช้ปุ๋ยหมักแห้ง	$(120 \times 1,560)$	กิโลกรัม
	100	
	= 1,872	กิโลกรัม

เมื่อปุ๋ยหมักที่ใส่มีความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์ ต้องใช้ปริมาณเท่าใด

ถ้าให้ได้ปุ๋ยหมักแห้ง 100 กิโลกรัม ต้องใช้ปุ๋ยหมักชื้น	130	กิโลกรัม
--	-----	----------

$$\begin{aligned} &\text{ถ้าให้ปุ๋ยหมักแห้ง 1,872 กิโลกรัม ต้องใช้ปุ๋ยหมักขึ้น} && \frac{(130 \times 1,872)}{100} && \text{กิโลกรัม} \\ & && = 2,433.60 && \text{กิโลกรัม} \end{aligned}$$

แสดงว่าการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินบนความลึก 15 เซนติเมตร จากระดับ 1.0 เป็น 1.5 เปอร์เซ็นต์ นั้นต้องใส่ปุ๋ยหมักที่มีความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 2,433.60 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ ประมาณ 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร แต่ถ้าต้องการให้ดินในระดับความลึก 30 เซนติเมตร มีอินทรีย์วัตถุตามเกณฑ์ดังกล่าว ต้องใช้ปุ๋ยหมักมากขึ้นเป็นสองเท่า (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

(3.2.2) การปลูกพืชปุ๋ยสด เช่น พืชตระกูลถั่วที่กรมพัฒนาที่ดิน ได้ส่งเสริมใช้เป็นพืชปุ๋ยสด มี 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วพุ่ม ให้น้ำหนักสด 1,500 - 2,400 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 300 - 672 กิโลกรัมต่อไร่ ถั่วพรี และปอเทือง ให้น้ำหนักสด 2,500 - 3,000 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 500 - 840 กิโลกรัมต่อไร่ โสนอัฟริกัน ให้น้ำหนักสด 2,000 - 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 400 - 1,120 กิโลกรัมต่อไร่ และถั่วมะแฮะ ให้น้ำหนักสด 2,000 - 2,500 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 400 - 700 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อทำการสับกลบเป็น ปุ๋ยพืชสด วิธีนี้ไม่สามารถกำหนดอัตราได้ เพราะปริมาณของมวลชีวภาพที่ได้แต่ละครั้งขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืช และอายุพืชปุ๋ยสด (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ก)

(3.2.3) การไถกลบเศษพืช เช่น การไถกลบตอซังข้าว ข้าวโพด หรือวัชพืช วิธีนี้ไม่สามารถกำหนดอัตราได้ เพราะปริมาณชีวมวลของเศษพืชที่ไถกลบแต่ละครั้ง ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูก ความมากน้อยของส่วนที่ตกค้างในแปลงหลังเก็บเกี่ยว

(3.3) ไม่ไถพรวนเกินความจำเป็น การไถพรวนน้อยลงจะทำให้อัตรา การสลายของอินทรีย์วัตถุช้าลง โดยการไถพรวนทำให้โครงสร้างดินแตกสลายมากเกินไป จะเร่งอัตรา การสลายตัวของเศษซากพืช เพิ่มการกร่อนดิน ทำลายที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตบางชนิด และทำให้ดินอัดตัว แน่น จึงต้องไถพรวนดินเท่าที่จำเป็นเท่านั้น โดยการไถพรวนแบบอนุรักษ์ ได้แก่ การลดการไถพรวน การไถพรวนแบบทิ้งเศษเหลือ และการไม่ไถพรวนดิน จะส่งผลให้เศษซากพืชเหลือมากกว่า การไถพรวนแบบปกติ ซึ่งจะเป็นแหล่งของอินทรีย์วัตถุในดิน (ภัทรา และคณะ, 2554)

(3.4) จัดการศัตรูพืชและธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ การจัดการ ทางเคมีในส่วนที่เกี่ยวข้องกับศัตรูพืชและธาตุอาหาร ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการใช้สารเคมีเหล่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบอันไม่พึงประสงค์ หรืออาจใช้เทคนิคการควบคุมศัตรูพืชแบบอื่นร่วมด้วย ในลักษณะผสมผสาน

(3.5) ป้องกันมิให้ดินแน่น การจัดการเพื่อลดการอัดแน่นของดิน มีความสำคัญมาก เนื่องจากเมื่อดินอัดแน่นจะลดขนาดของช่องว่างในดิน ลดการแทรกซึมน้ำ และ ลดการกักเก็บน้ำและอากาศ เป็นอุปสรรคในการขนถ่ายของราก และการเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ

ในดิน โดยสภาพดินแน่นเกิดจากการกดทับซ้ำซากของยานพาหนะ และเครื่องมือกลหนัก เช่น การเพิ่มอินทรีย์วัตถุ การไถกลบพืชปุ๋ยสด และเศษพืช เพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ทำให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น เช่น ดินร่วนซุย และดินเกาะจับตัวกันได้ดี ส่งผลให้โครงสร้างของดินดีขึ้น ทำให้รากพืชดูดธาตุอาหารได้ดียิ่งขึ้น (กันยารัตน์ และคณะ, 2555)

(3.6) มีวัสดุปกคลุมผิวดิน วัสดุปกคลุมดินเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมจะมีปัญหาใหญ่ 2 ประการ คือ เกิดการกร่อนดินง่าย และเกิดขึ้นแข็งปิดผิวดิน เมื่อดินแห้งมีวัสดุปกคลุมผิวดิน นอกจากจะป้องกันปัญหาทั้งสองประการแล้วยังช่วยให้ดินมีสภาพเหมาะสม สำหรับเป็นถิ่นที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น แมลง และไส้เดือนดิน และลดการระเหยของน้ำที่ผิวดิน การจัดการเพื่อให้มีสิ่งปกคลุมดินทำได้ 2 วิธี คือ เหลือเศษซากพืชหลังการเก็บเกี่ยวไว้ในแปลง และปลูกพืชคลุมดิน

(3.7) ใช้ระบบปลูกพืชหลากหลายชนิด เป็นการใช้ประโยชน์จากความหลากหลายชนิดพืชในระบบนิเวศ เช่น การปลูกพืชแถบ และการปลูกพืชหมุนเวียน ซึ่งการปลูกพืชเหล่านี้มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารพืช จากระบบรากพืชที่แตกต่างกัน รวมถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน จากงานวิจัยชี้ให้เห็นว่า การปลูกพืชหมุนเวียนในระยะยาว ช่วยเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนในดิน ชีวมวล และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน โดยมีผลเชิงบวกต่อคุณภาพ และการทำงานของดิน เช่น การปลูกข้าวโพดสลับกับข้าวสาลี และปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยคอก มีผลให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น เพิ่มการกักเก็บสารอาหารไนโตรเจนและแร่ธาตุ และลดการสูญเสียฟอสฟอรัสในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะดินทราย และดินเนื้อละเอียด ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ (Caterina *et al.*, 2021)

4.3.4 การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อการปรับปรุงคุณภาพดิน

1) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรมภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร มีการนำไปใช้ประโยชน์หลากหลาย เช่น เป็นแหล่งอาหารสัตว์ เป็นแหล่งพลังงาน เป็นแหล่งวัตถุดิบในการแปรรูปเชิงอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย ยังคงเหลือในพื้นที่อีกมากที่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ ซึ่งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรถือว่าเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารที่สำคัญสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุ เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ และปรับปรุงคุณภาพดิน

(1) ประเภทและแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทยถือว่าเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุที่สำคัญที่มีปริมาณมากเพียงพอ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่ม

อินทรีย์วัตถุและปรับปรุงคุณภาพดิน วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากเศษพืช และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากมูลสัตว์

(1.1) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากเศษพืช

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากเศษพืช เป็นวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร หรือจากการแปรรูปสินค้าทางการเกษตร ทำให้เกิดมวลชีวภาพที่เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของพืชที่ต้องอาศัยแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโต จากนั้นแปรเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง หรือแปรสภาพเป็นของเหลว สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ และธาตุอาหารที่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ที่สำคัญ สำหรับเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารพืชในดิน แหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร โดยปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากผลผลิตพืชที่เกิดขึ้น สามารถนำมาคำนวณจากการคูณด้วยค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิตพืช เพื่อประเมินปริมาณชีวมวลของวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2561) มีสมการ ดังนี้

การประเมินปริมาณการเกิดชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้จากการเก็บเกี่ยว หรือจากการแปรรูปสินค้าทางการเกษตร มีสมการ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น} &= \text{ปริมาณผลผลิต} \times \text{สัดส่วนชีวมวลต่อปริมาณผลผลิต} \\ (\text{ตันต่อปี}) & \quad (\text{ตันต่อปี}) \quad (\text{ตันชีวมวลต่อตันผลผลิต}) \\ \text{ปริมาณชีวมวลที่เกิดขึ้น} &= \text{ปริมาณพื้นที่โค่น} \times \text{สัดส่วนชีวมวลต่อพื้นที่โค่น} \\ (\text{ตันต่อปี}) & \quad (\text{ไร่ต่อปี}) \quad (\text{ตันชีวมวลต่อไร่}) \end{aligned}$$

วัสดุเหลือใช้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร หรือจากการแปรรูปสินค้าทางการเกษตร มีข้อมูลปริมาณที่เกิดขึ้น การนำไปใช้ประโยชน์และปริมาณคงเหลือในแต่ละปีจากพืช 8 ชนิด จากการจำแนกวัสดุเหลือใช้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรแต่ละพืช เช่น ข้าว ได้แก่ ฟางข้าว และแกลบ อ้อย ได้แก่ ใบ ยอดอ้อย และชานอ้อย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ ยอดใบลำต้นข้าวโพด และชังข้าวโพด มันสำปะหลัง ได้แก่ เหง้ามันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง และเปลือกมันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ลำต้นและใบทางปาล์ม ทะลายปาล์ม เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม ถั่ว ได้แก่ ใบ และลำต้น ยางพารา ได้แก่ กิ่งก้านยางพารา และปึกไม้ยางพารา และมะพร้าว ได้แก่ จั่น ทะลาย เปลือกกาบ และกะลา สามารถประเมินปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นได้จากการคูณด้วยค่าสัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้ต่อปริมาณผลผลิตที่ใช้ประเมินการเกิดวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิด โดยแสดงค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อปริมาณผลผลิตของพืชแต่ละชนิด ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แสดงค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อปริมาณผลผลิตของพืชแต่ละชนิด

ชนิดพืช	ชนิดวัสดุเหลือใช้	ค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต (ตันต่อตันผลผลิต)
ข้าว	แกลบ	0.230
	ฟางข้าว	1.169
	ฟางข้าว (นาปรัง)	1.522
อ้อย	ใบ และยอด	0.153
	ชานอ้อย	0.279
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ลำต้น (ต้น ยอด ใบ)	1.245
	ซัง	0.216
	เปลือก	0.208
มันสำปะหลัง	เหง้า	0.097
	ลำต้น ยอด และใบ	0.250
	กากมันสำปะหลัง	0.333
ปาล์มน้ำมัน	ลำต้น	11.253
	หาง และใบ	0.134
	ทะลาย	0.199
	เส้นใย	0.131
	กะลา	0.056
ถั่วเหลือง/ถั่วเขียว/ถั่วลิสง	ยอด ใบ และลำต้น	1.177
ยางพารา	ลำต้นส่วนที่ตัดทิ้ง	0.176 (3.14 ตันต่อไร่)
	กิ่ง	0.002 (0.035 ตันต่อไร่)
	ใบ และยอด	0.083 (1.48 ตันต่อไร่)
	รากไม้	0.571 (10.13 ตันต่อไร่)
	ปีกไม้ และเศษไม้	0.440 (7.82 ตันต่อไร่)
	ขี้เลื่อย	0.093 (1.65 ตันต่อไร่)

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ชนิดพืช	ชนิดวัสดุเหลือใช้	ค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต (ตันต่อตันผลผลิต)
มะพร้าว	จั่น และทะลาย	1.150
	ทาง และใบ	1.860
	เปลือก	0.050
	กะลา	0.201

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2561)

(1.1.1) สถานการณ์ของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากเศษพืช

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากเศษพืชภายหลัง

การเก็บเกี่ยว หรือแปรรูป สามารถประเมินปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรตามรายภาคของประเทศไทย จากผลผลิตทางการเกษตรคูณด้วยค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อปริมาณผลผลิต (ตารางที่ 15) นำมาใช้ประเมินการเกิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแต่ละชนิด จากข้อมูลผลผลิตพืชปีการผลิต 2565 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) มีพื้นที่และปริมาณผลผลิตพืชสูงจาก 8 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี 26,806,578 ตัน ข้าวนาปรัง 6,171,197 ตัน อ้อย 105,855,280 ตัน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 4,847,845 ตัน มันสำปะหลัง 34,068,005 ตัน ปาล์มน้ำมัน 16,903,728 ตัน ถั่วเหลืองและถั่วเขียว 21,234 ตัน ยางพารา 4,892,451 ตัน และมะพร้าว 651,855,616 ลูก ซึ่งการผลิตพืชแต่ละชนิด จะเกิดปริมาณวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตและการแปรรูปผลิตภัณฑ์ สามารถประเมินปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพืชแต่ละชนิดในพื้นที่แต่ละภาคของประเทศไทย ดังนี้ ภาคเหนือ ในพื้นที่ 17 จังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในพื้นที่ 19 จังหวัด ภาคกลาง และภาคตะวันออก ในพื้นที่ 24 จังหวัด และภาคใต้ ในพื้นที่ 17 จังหวัด รวมทั้งหมด 77 จังหวัด รายละเอียดแสดงสัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้ต่อปริมาณผลผลิตพืชแต่ละชนิด ในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2565 ดังตารางที่ 16 ดังนี้

ภาคเหนือ ปริมาณวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรม

แบ่งออกเป็น 1) วัสดุเหลือใช้จากข้าวมากที่สุด ได้แก่ พางข้าว (นาปี) มีปริมาณมากที่สุด 9,495,895.72 ตัน พางข้าว (นาปรัง) 3,138,773.42 ตัน และแกลบ 1,868,311.39 ตัน 2) วัสดุเหลือใช้จากอ้อย ได้แก่ ขานอ้อย 6,660,864.69 ตัน ยอดและใบ 3,652,732.25 ตัน 3) วัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ลำต้น 4,131,559.89 ตัน ชัง 716,800.75 ตัน และเปลือก 690,252.58 ตัน 4) วัสดุเหลือใช้จากมันสำปะหลัง ได้แก่ เหง้า 825,519.37 ตัน ลำต้น ยอด และใบ 2,127,627.25 ตัน และ

กากมันสำปะหลัง 2,833,999.50 ตัน 5) วัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ลำต้น 1,150,765.54 ตัน ใบและทางปาล์ม 13,703.24 ตัน ทะลาย 20,350.34 ตัน เส้นใย 13,396.45 ตัน และกะลา 5,726.73 ตัน 6) วัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว ได้แก่ จั่นและทะลาย 877,520.15 ตัน ทางและใบ 1,419,293.46 ตัน เปลือก 38,153.05 ตัน และกะลา 153,375.26 ตัน 7) วัสดุเหลือใช้จากยางพารา ได้แก่ ลำต้น ส่วนที่ตัดทิ้ง 43,473.28 ตัน กิ่ง 494.02 ตัน ใบและยอด 20,502.00 ตัน ราก 141,043.85 ตัน ปีกไม้ เศษไม้ 108,685.28 ตัน และขี้เลื่อย 22,972.12 ตัน และ 8) วัสดุเหลือใช้จากถั่วชนิดต่าง ๆ ยอด ใบ และลำต้น 17,390.18 ตัน

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปริมาณวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่ เกษตรกรรม แบ่งออกเป็น 1) วัสดุเหลือใช้จากข้าวมากที่สุด ได้แก่ พางข้าว (นาปี) มีปริมาณมากที่สุด 15,581,950.53 ตัน พางข้าว (นาปรัง) 1,645,146.54 ตัน และแกลบ 3,065,738.77 ตัน 2) วัสดุเหลือใช้จากอ้อย ได้แก่ ชานอ้อย 14,195,240.44 ตัน ยอดและใบ 7,784,486.69 ตัน 3) วัสดุเหลือใช้จากมันสำปะหลัง ได้แก่ เหง้า 1,812,704.67 ตัน ลำต้น ยอด และใบ 4,671,919.25 ตัน และ กากมันสำปะหลัง 6,222,996.44 ตัน 4) วัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ ลำต้น 1,100,043.41 ตัน ชัง 190,850.90 ตัน และเปลือก 183,782.35 ตัน 5) วัสดุเหลือใช้จากยางพารา ได้แก่ ลำต้นส่วนที่ตัดทิ้ง 230,830.80 ตัน กิ่ง 2,623.07 ตัน ใบและยอด 108,857.24 ตัน รากไม้ 748,885.34 ตัน ปีกไม้และเศษไม้ 577,074.52 ตัน และขี้เลื่อย 121,972.57 ตัน 6) วัสดุเหลือใช้จาก มะพร้าว ได้แก่ จั่นและทะลาย 287,228.60 ตัน ทางและใบ 464,516.04 ตัน เปลือก 12,488.20 ตัน และกะลา 50,202.56 ตัน 7) วัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ลำต้น 3,822,902.92 ตัน ใบและ ทางปาล์ม 45,522.88 ตัน ทะลาย 67,604.88 ตัน เส้นใย 44,503.71 ตัน และกะลา 19,024.49 ตัน และ 8) วัสดุเหลือใช้จากถั่วชนิดต่าง ๆ ยอด ใบ และลำต้น 7,594.00 ตัน

ภาคกลาง และภาคตะวันออก ปริมาณวัสดุเหลือใช้ ในพื้นที่เกษตรกรรม แบ่งออกเป็น 1) วัสดุเหลือใช้จากอ้อยมากที่สุด ได้แก่ ชานอ้อย 4,758,638.74 ตัน ยอดและใบ 8,677,517.71 ตัน 2) วัสดุเหลือใช้จากข้าว ได้แก่ พางข้าว (นาปี) มีปริมาณ 5,865,897.04 ตัน พางข้าว (นาปรัง) 4,548,862.28 ตัน และแกลบ 1,154,111.48 ตัน 3) วัสดุเหลือใช้ จากมะพร้าว ได้แก่ จั่นและทะลาย 438,221,766.90 ตัน ทางและใบ 708,776,075.16 ตัน เปลือก 19,053,120.30 ตัน และกะลา 76,593,543.61 ตัน 4) วัสดุเหลือใช้จากมันสำปะหลัง ได้แก่ เหง้า 666,372.44 ตัน ลำต้น ยอด และใบ 1,717,454.75 ตัน และกากมันสำปะหลัง 2,287,649.73 ตัน 5) วัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ ลำต้น 803,963.73 ตัน ชัง 139,482.86 ตัน และเปลือก 134,316.83 ตัน 6) วัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ลำต้น 14,203,502.84 ตัน ใบและทางปาล์ม 169,134.40 ตัน ทะลาย 251,177.20 ตัน เส้นใย 165,347.81 ตัน และกะลา 70,683.03 ตัน 7) วัสดุเหลือใช้จากยางพารา ได้แก่ ลำต้นส่วนที่ตัดทิ้ง 74,602.10 ตัน กิ่ง 847.75 ตัน ใบและยอด

35,181.71 ตัน รากไม้ 242,033.20 ตัน ปีกไม้และเศษไม้ 186,505.44 ตัน และซี่เลื่อย 39,420.47 ตัน และ 8) วัสดุเหลือใช้จากถั่วชนิดต่าง ๆ ยอด ใบ และลำต้น 8.24 ตัน

ภาคใต้ ปริมาณวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรม แบ่งออกเป็น 1) วัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว ได้แก่ จั่นและทะลาย 310,247,442.75 ตัน ทางและใบ 501,791,516.10 ตัน เปลือก 13,489,019.25 ตัน และกะลา 54,225,857.39 ตัน 2) วัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมัน ลำต้น 171,040,479.89 ตัน ใบและทางปาล์ม 2,036,739.03 ตัน ทะลาย 3,024,709.46 ตัน เส้นใย 1,991,140.40 ตัน และกะลา 851,174.52 ตัน 3) วัสดุเหลือใช้จากยางพารา ได้แก่ ลำต้นส่วนที่ตัดทิ้ง 512,165.20 ตัน กิ่ง 5,820.06 ตัน ใบและยอด 241,532.49 ตัน รากไม้ 1,661,627.13 ตัน ปีกไม้และเศษไม้ 1,280,413.20 ตัน และซี่เลื่อย 270,632.79 ตัน และ 4) วัสดุเหลือใช้จากข้าว ได้แก่ ฟางข้าว (นาปี) 393,146.39 ตัน ฟางข้าว (นาปรัง) 59,779.59 ตัน และ แกลบ 77,351.30 ตัน

ตารางที่ 16 แสดงสัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้ต่อปริมาณผลผลิตพืชแต่ละชนิดปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2565

ชนิดพืช	ผลผลิต (ตัน)	ชนิดวัสดุเหลือใช้	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ตัน)				
			ทั้งประเทศ	ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคกลาง/ตะวันออก	ภาคใต้
ข้าว	26,806,578	กลบ	6,165,512.94	1,868,311.39	3,065,738.77	1,154,111.48	77,351.30
		ฟางข้าว	31,336,889.68	9,495,895.72	15,581,950.53	5,865,897.04	393,146.39
	6,171,197	ฟางข้าว (นาปรัง)	9,392,561.83	3,138,773.42	1,645,146.54	4,548,862.28	59,779.59
อ้อย	105,855,580	ใบ และยอด	16,195,857.84	3,652,732.25	7,784,486.69	4,758,638.74	-
		ชานอ้อย	29,533,623.12	6,660,864.69	14,195,240.44	8,677,517.71	-
ข้าวโพด เลี้ยงสัตว์	4,847,845	ลำต้น (ต้น ยอด ใบ)	6,035,567.03	4,131,559.89	1,100,043.41	803,963.73	-
		ซัง	1,047,134.52	716,800.75	190,850.90	139,482.86	-
		เปลือก	1,008,351.76	690,252.58	183,782.35	134,316.83	-
มันสำปะหลัง	34,068,005	เหง้า	3,304,596.49	825,519.37	1,812,704.67	666,372.44	-
		ลำต้น ยอด และใบ	8,517,001.25	2,127,627.25	4,671,919.25	1,717,454.75	-
		กากมันสำปะหลัง	11,344,645.67	2,833,999.50	6,222,996.44	2,287,649.73	-
ปาล์มน้ำมัน	16,903,728	ลำต้น	190,217,651.18	1,150,765.54	3,822,902.92	14,203,502.84	171,040,479.89
		ใบ และทาง	2,265,099.55	13,703.24	45,522.88	169,134.40	2,036,739.03
		ทะลาย	3,363,841.87	20,350.34	67,604.88	251,177.20	3,024,709.46
		เส้นใย	2,214,388.37	13,396.45	44,503.71	165,347.81	1,991,140.40
		กะลา	946,608.77	5,726.73	19,024.49	70,683.03	851,174.52

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ชนิดพืช	ผลผลิต (ตัน)	ชนิดวัสดุเหลือใช้	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ตัน)				
			ทั้งประเทศ	ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคกลาง/ตะวันออก	ภาคใต้
ถั่วเหลือง/ ถั่วลิสง	21,234	ยอด ใบ และลำต้น	24,992.42	17,390.18	7,594.00	8.24	-
ยางพารา	4,892,451	ลำต้นส่วนที่ตัดทิ้ง	861,071.38	43,473.28	230,830.80	74,602.10	512,165.20
		กิ่ง	9,784.90	494.02	2,623.07	847.75	5,820.06
		ใบ และยอด	406,073.43	20,502.00	108,857.24	35,181.71	241,532.49
		รากไม้	2,793,589.52	141,043.85	748,885.34	242,033.20	1,661,627.13
		ปึกไม้ และเศษไม้	2,152,678.44	108,685.28	577,074.52	186,505.44	1,280,413.20
		ขี้เลื่อย	454,997.94	22,972.12	121,972.57	39,420.47	270,632.79
มะพร้าว (ลูก)	651,855,616	จั่น และทะลาย	749,633,958.40	877,520.15	287,228.60	438,221,766.90	310,247,442.75
		หาง และใบ	1,212,451,445.76	1,419,293.46	464,561.04	708,776,075.16	501,791,516.10
		เปลือก	32,592,780.80	38,153.05	12,488.20	19,053,120.30	13,489,019.25
		กะลา	131,022,978.82	153,375.26	50,202.56	76,593,543.61	54,225,857.39

ที่มา: ประเมินจากปริมาณผลผลิตพืช สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2565)

(1.1.2) การคาดการณ์การเกิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
จากเศษพืชด้วยปฏิทินการเกิดวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมแต่ละภาคของประเทศไทย

แนวทางการวางแผนการจัดการวัสดุเหลือใช้จาก
เศษเหลือทิ้งภายหลังการเก็บเกี่ยว หรือแปรรูปผลิตภัณฑ์ การเกิดขึ้นของเศษวัสดุเหลือใช้จากรอบ
การผลิตพืชแต่ละชนิด รอบการปลูก และการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละภาคขึ้นอยู่กับ
ชนิดของพืช สภาพภูมิประเทศ และสภาพภูมิอากาศของแต่ละภาคของประเทศไทย และได้จัดทำ
ข้อมูลการเกิดขึ้นของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีในแต่ละภาคของประเทศไทยเป็นรายเดือน
เรียกว่า ปฏิทินวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรม โดยวิเคราะห์จากรอบการปลูก และ
รอบการเก็บเกี่ยวพืชแต่ละชนิดของแต่ละภาค โดยดัดแปลงมาจากคู่มือการพัฒนา และการลงทุนผลิต
พลังงานจากชีวมวล (กลุ่มชีวมวล สำนักวิจัย คำนวณพลังงาน, 2554; อุทกษ, 2563) นำข้อมูลจาก
ปฏิทินวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของแต่ละภาค ใช้เป็นคู่มือวางแผนจัดการด้านบำรุงดินด้วย
อินทรีย์วัตถุจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ได้เหมาะสมตามช่วงเวลา ลดปัญหาการขาดแคลน
วัสดุ กรณีต้องการแหล่งอินทรีย์วัตถุจากภายนอกพื้นที่ สามารถรวบรวมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
ที่มีในท้องถิ่น และเลือกชนิดของวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรได้ตรงตามช่วงเวลา ปัจจุบันวัสดุเหลือใช้
ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ต้นข้าวโพด และเปลือกมันสำปะหลัง ในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวจะมี
มีราคาถูกกว่าช่วงนอกฤดูกาล โดยข้อมูลปฏิทินวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เกิดขึ้นตามรายภาค
ของประเทศไทย ได้แก่ พื้นที่ภาคเหนือ (ตารางที่ 17) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ตารางที่ 18)
ภาคตะวันออก (ตารางที่ 19) ภาคกลาง (ตารางที่ 20) และภาคใต้ (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 17 ปฏิทินการเกิดวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมภาคเหนือ

ภาคเหนือ	ชนิดวัสดุ	ปีปฏิทิน															
		ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ข้าวนาปี	แกลบ/ฟางข้าว																
ข้าวนาปรัง	แกลบ/ฟางข้าว																
อ้อยโรงงาน	ชานอ้อย/ใบ/ยอด																
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ซัง/ลำต้น																
ปาล์มน้ำมัน	กะลา/เส้นใย/ทะลาย/ ทางปาล์ม																
มันสำปะหลัง	เหง้ามัน/ใบ/ กากมันสำปะหลัง																

ที่มา: อุกฤษ (2563)

ตารางที่ 18 ปฏิทินการเกิดวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ภาค	ชนิดวัสดุ	ปีปฏิทิน															
		ตะวันออกเฉียงเหนือ															
		ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ข้าวนาปี	แกลบ/ฟางข้าว																
ข้าวนาปรัง	แกลบ/ฟางข้าว																
อ้อยโรงงาน	ชานอ้อย/ใบ/ยอด																
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ซัง/ต้นข้าวโพด																
มันสำปะหลัง	เหง้ามัน/ใบ/กากมันสำปะหลัง																
ไม้ยางพารา	เศษไม้/ซี้เลื่อย																

ที่มา: อุกฤษ (2563)

ตารางที่ 19 ปฏิทินการเกิดวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมภาคตะวันออก

ภาคตะวันออก	ชนิดวัสดุ	ปีปฏิทิน															
		ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ข้าวนาปี	แกลบ/ฟางข้าว																
ข้าวนาปรัง	แกลบ/ฟางข้าว																
อ้อยโรงงาน	ชานอ้อย/ใบ/ยอด																
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ซัง/ลำต้น																
ปาล์มน้ำมัน	กะลา/เส้นใย/ทะลาย/ทางปาล์ม																
มันสำปะหลัง	เห้งน้ำมัน/ใบ/กากมันสำปะหลัง																
ไม้ยางพารา	เศษไม้/ปึกไม้/ขี้เลื่อย																

ที่มา: อุกฤษ (2563)

ตารางที่ 20 ปฏิทินการเกิดวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมภาคกลาง

ภาคกลาง	ชนิดวัสดุ	ปีปฏิทิน															
		ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ข้าวนาปี	แกลบ/ฟางข้าว																
ข้าวนาปรัง	แกลบ/ฟางข้าว																
อ้อย โรงงาน	ชานอ้อย/ใบ/ยอด																
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ซัง/ลำต้น																
มันสำปะหลัง	เหง้ามัน/ใบ/กากมันสำปะหลัง																
ปาล์มน้ำมัน	กะลา/เส้นใย/ทะลาย/ทางปาล์ม																

ที่มา: อุกฤษ (2563)

ตารางที่ 21 ปฏิทินการเกิดวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมภาคใต้

ภาคใต้	ชนิดวัสดุ	ปีปฏิทิน															
		ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ข้าวนาปี	แกลบ/ฟางข้าว																
ข้าวนาปรัง	แกลบ/ฟางข้าว																
ปาล์มน้ำมัน	กะลา/เส้นใย/ทะลาย/ทางปาล์ม																
ไม้ยางพารา	เศษไม้/ปึกไม้/ขี้เลื่อย																

ที่มา: อุกฤษ (2563)

(1.1.3) สภาพปัญหาการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง

ปัญหาการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง

ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม จากการประเมินทางสิ่งแวดล้อมด้านผลกระทบต่ออากาศ ได้พิจารณาถึงปริมาณการเกิดหมอกควันที่เกิดจากการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น การเผาฟางข้าวและตอซังในพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุด คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลาง โดยเฉพาะพื้นที่ที่สามารถปลูกข้าวได้ต่อเนื่องปีละ 2 ครั้ง ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวด้วยรถเกี่ยววนวดจะมีฟางข้าวเหลือทิ้งในพื้นที่ ซึ่งบางพื้นที่มีการอัดก้อนฟางข้าวนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การอัดก้อนฟางขายเป็นอาหารสัตว์ หรือนำไปใช้ทางการเกษตร แต่ยังมีอีกหลายพื้นที่ที่ยังไม่มีการนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์ เมื่อถึงรอบการปลูกข้าวจะจัดการด้วยการเผาฟางข้าว และตอซังข้าวทิ้ง เนื่องจากฟางข้าวเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้ทันก่อนฤดูเพาะปลูกใหม่ เกษตรกรส่วนใหญ่จึงนิยมจัดการฟางข้าวและตอซังข้าวด้วยการเผาทิ้ง จึงเกิดปัญหาหมอกควันและฝุ่นละอองจากการเผาเศษพืชในพื้นที่นาข้าวของเกษตรกร เมื่อคิดจากชีวมวลของฟางข้าวทั้งหมดต่อปี พบว่า ฟางข้าวถูกเผาทิ้งคิดเป็น 48 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณชีวมวลทั้งหมด (สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน, 2559) นอกจากนี้ยังพบปัญหาการเผาวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดในส่วนของเปลือก ซังข้าวโพด ต้น ใบ และตอข้าวโพด ในพื้นที่โล่งแจ้ง พบว่า วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรปล่อยก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกมาเมื่อเผาในที่โล่งแจ้ง เช่น การเผาส่วนของเปลือกและซังข้าวโพดจะปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 68.63 กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวลแห้ง ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) 3.57 กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวลแห้ง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) 0.46 กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวลแห้ง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 1,917.69 กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวลแห้ง ขณะที่การเผาส่วนของต้น ใบ และตอข้าวโพด จะปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 63.74 กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวลแห้ง ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 2.31 กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวลแห้ง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.54 กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวลแห้ง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1,147.43 กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวลแห้ง ซึ่งการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไม่เพียงแต่จะปล่อยก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังส่งผลกระทบต่อภาวะฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง จากการเผาเปลือกและซังข้าวโพด ทำให้เกิดปริมาณฝุ่นรวม 23.38 กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวลแห้ง และการเผาส่วนของต้น ใบ และตอข้าวโพด ทำให้เกิดปริมาณฝุ่นรวม 3.39 กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวลแห้ง (วีรชัย และคณะ, 2555) ซึ่งการเกิดก๊าซและฝุ่นละอองจากการเผาเศษพืชในพื้นที่โล่งแจ้ง ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและประชาชน และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว แสดงรายละเอียดปริมาณก๊าซและปริมาณฝุ่นรวมที่เกิดจากการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ปริมาณก๊าซและปริมาณฝุ่นรวมที่เกิดจากการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
ในที่โล่งแจ้ง

สารมลพิษ	ปริมาณ (กรัมต่อกิโลกรัมชีวมวลแห้ง)	
	เปลือก และซังข้าวโพด	ต้น ใบ และตอข้าวโพด
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	68.63	63.74
ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂)	3.57	2.31
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	0.46	0.54
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	1,917.69	1,147.43
ปริมาณฝุ่นรวม	23.38	3.39

ที่มา: วีรชัย และคณะ (2555)

(1.1.4) การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์

การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ ซึ่งในแต่ละปีมีปริมาณมากและมีการนำไปใช้ประโยชน์หลากหลาย เช่น เป็นแหล่งพลังงาน เป็นเชื้อเพลิงแปรรูป และอาหารสัตว์ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามยังคงเหลือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรปริมาณมากที่ยังไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น จากงานวิจัยสถานภาพการใช้ประโยชน์ของชีวมวลฟางข้าวในพื้นที่ภาคเหนือและภาคกลางของประเทศไทย พบว่า ชีวมวลของฟางข้าวที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีการนำไปใช้ประโยชน์คิดเป็น 22 เปอร์เซ็นต์ของชีวมวลทั้งหมด แบ่งออกเป็นอาหารสัตว์คิดเป็น 14.67 เปอร์เซ็นต์ ปุ๋ยอินทรีย์คิดเป็น 4.89 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ คิดเป็น 2.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถูกเผาทิ้งคิดเป็น 48 เปอร์เซ็นต์ของชีวมวลทั้งหมด และยังไม่มีมีการนำไปใช้ประโยชน์คิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของชีวมวลทั้งหมด หากนำส่วนซากพืชที่เผาทิ้งรวมกับฟางข้าวที่ยังไม่นำไปใช้ประโยชน์มีมากถึง 78 เปอร์เซ็นต์ของชีวมวลทั้งหมดที่เกิดขึ้น (สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน, 2559) ซึ่งจะเห็นได้ว่ายังมีฟางข้าวอีกจำนวนมากที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ดังนั้นการส่งเสริมนโยบายการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยนำหลักการโมเดลเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว (Bio - Circular - Green Economy : BCG Model) ประกอบด้วย 3 เศรษฐกิจหลัก คือ B ย่อมาจาก bio economy ระบบเศรษฐกิจชีวภาพ มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรชีวภาพอย่างคุ้มค่า เชื่อมโยงกับ C ย่อมาจาก circular economy ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนที่คำนึงถึงการนำวัสดุต่างๆ กลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด และทั้ง 2 เศรษฐกิจนี้ อยู่ภายใต้ G ย่อมาจาก green economy ระบบเศรษฐกิจสีเขียว ซึ่งมุ่งแก้ไขปัญหามลพิษ เพื่อลดผลกระทบต่อโลก

อย่างยั่งยืน (กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, 2563) จะเป็นแนวทางนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงภาคเกษตรจากเดิมที่มีจากการเผาวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรทิ้ง ปรับเปลี่ยนมาเป็นการพัฒนาสินค้าและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้มีมูลค่าที่สูงขึ้นได้ สามารถใช้ประโยชน์จากพื้นที่ได้มากขึ้น โดยมุ่งเน้นยกระดับผลผลิตเกษตรสู่มาตรฐานสูงครอบคลุมทั้งด้านคุณภาพโภชนาการความปลอดภัย และระบบการผลิตที่ยั่งยืน ส่งผลกระทบทางสังคม เช่น การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัสดุคลุมดิน เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุจากการสับกลบ ผลิตเป็นปุ๋ยหมัก และผลิตเป็นไบโอชาร์ เป็นต้น นำมาใช้ในพื้นที่ลดต้นทุนการผลิต สิ่งเหล่านี้ช่วยบำรุงดินยกระดับอินทรีย์วัตถุในดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และรักษาคุณภาพดินในพื้นที่เกษตรกรรม ส่งผลต่อผลผลิตพืชที่เพิ่มขึ้น สร้างรายได้ที่เพิ่มขึ้นในภาคเกษตรกรรม และสร้างรายได้ให้ครอบครัว ทำให้เกิดความกินดีอยู่ดีมีการย้ายแรงงานกลับคืนถิ่น สอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลที่มุ่งเน้นให้แต่ละชุมชนใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ เป็นเครื่องมือในการสร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจและสังคมให้กับชุมชนของตนเองได้ หากสามารถจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยลดผลกระทบในด้านต่าง ๆ เช่น ลดการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และหมอกควัน ไม่ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ลดอากาศเป็นพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของคนและสัตว์ ลดภาวะฝุ่นละออง ลดการตกค้างของสารเคมีที่เกิดจากการกำจัดวัชพืช และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินไม่เกิดการสูญเสียอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืชในดิน ช่วยให้สุขภาพของเกษตรกรและสมาชิกในชุมชนดีขึ้น และช่วยเพิ่มความสมดุลให้กับธรรมชาติ

(1.2) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากมูลสัตว์

การเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยเป็นภาคเกษตรกรรมมีความสำคัญประกอบด้วยเกษตรกรรายย่อยที่เลี้ยงสัตว์ควบคู่กับการปลูกพืช ฟาร์มขนาดกลาง และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่ที่มีเทคโนโลยีที่ทันสมัย ซึ่งของเสียที่ได้จากการเลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่ คือ มูลสัตว์ โดยปริมาณมูลสัตว์สดจากการเพาะเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจ พบว่า ปริมาณมูลสดโคนมสูงสุด 15 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน รองลงมา คือ มูลสดกระบือ 8 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน มูลสดโคเนื้อ 5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน มูลสดสุกร 1.2 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน มูลสดแพะ 1.00 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน มูลสดไก่และมูลเป็ด 0.03 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน สามารถนำค่าตัวแปรคงที่สำหรับการประเมินอัตราส่วนมูลที่เก็บได้ อัตราส่วนของแข็งทั้งหมด และอัตราส่วนของแข็งระเหยได้ของมูลสัตว์ทั้ง 8 ชนิด ได้แก่ โคเนื้อ โคนม กระบือ สุกร ไก่ เป็ด แพะ และช้าง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556) แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 23 ซึ่งมูลสัตว์เหล่านี้มีปริมาณเกิดขึ้นมากในแต่ละวัน ตลอดจนมีปริมาณธาตุอาหารหลักธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในมูลสัตว์ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

ตารางที่ 23 ค่าสัดส่วนปริมาณมูลสัตว์สด อัตราส่วนมูลที่เก็บได้ อัตราส่วนของแข็งทั้งหมด และ อัตราส่วนของแข็งระเหยได้

ชนิด	ปริมาณมูลสด (กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน)	อัตราส่วน มูลที่เก็บได้	อัตราส่วน ของแข็งทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วน ของแข็งระเหยได้ (เปอร์เซ็นต์)
โคเนื้อ	5.00	0.50	17.44	13.37
โคนม	15.00	0.80	17.44	13.37
กระบือ	8.00	0.50	17.77	13.64
สุกร	1.20	0.80	35.22	24.84
ไก่	0.03	0.80	33.99	22.34
เป็ด	0.03	0.40	26.82	17.44
แพะ	1.00	0.20	-	-
ช้าง	40.00	0.50	26.64	21.61

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2556)

(1.2.1) สถานการณ์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากมูลสัตว์

สถานการณ์ปริมาณมูลสัตว์ในพื้นที่เกษตรกรรมตามรายภาคของประเทศไทย สามารถประเมินปริมาณมูลสัตว์ต่อจำนวนสัตว์แต่ละชนิดด้วยการคำนวณจากค่าสัดส่วนปริมาณการขับถ่ายมูลสัตว์สด และปริมาณมูลสัตว์แห้งแต่ละชนิดจากรายงานของกรมปศุสัตว์ (2565) มีจำนวนการเพาะเลี้ยงทางปศุสัตว์ ปี 2565 จำนวน 8 ชนิด ได้แก่ โคเนื้อ จำนวน 9,394,111 ตัว โคนม 812,235 ตัว กระบือ 1,741,141 ตัว สุกร 10,759,194 ตัว ไก่ 498,862,811 ตัว เป็ด 33,604,921 ตัว แพะ 1,505,381 ตัว และแกะ 128,314 ตัว (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 จำนวนปลุสัศัรรายภาคในประเทศไทย ปี 2565

ชนิด	จำนวนปลุสัศัร (ตัว)				
	ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคกลาง	ภาคใต้	รวมทั้งประเทศ
โคเนื้อ	1,457,694	5,267,099	1,534,587	1,134,731	9,394,111
โคนม	93,250	248,278	463,438	7,269	812,235
กระบือ	326,233	1,275,152	111,437	28,319	1,741,141
สุกร	1,826,916	2,290,370	5,161,895	1,480,013	10,759,194
ไก่	71,117,274	109,585,424	276,442,192	41,717,921	498,862,811
เป็ด	4,745,513	8,201,296	17,036,814	3,621,298	33,604,921
แพะ	202,004	333,656	525,912	443,809	1,505,381
แกะ	23,412	10,665	63,118	31,119	128,314

ที่มา: กรมปลุสัศัร (2565)

จากการประเมินปริมาณปลุสัศัรจากการเพาะเลี้ยงปลุสัศัรเศรษฐกิจ ในปี 2565 ทั้ง 8 ชนิด จากการคำนวณด้วยค่าสัดส่วนปริมาณการขัปลายปลุสัศัรแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในปี 2565 พบว่า ประเทศไทยมีปริมาณปลุสัศัรทั้งประเทศ ได้แก่ ปริมาณปลุสัศัรโคเนื้อรวม 1,104.00 พันตัน ปริมาณปลุสัศัรโคนมรวม 452.16 พันตัน ปริมาณปลุสัศัรกระบือรวม 332.15 พันตัน ปริมาณปลุสัศัรสุกรรวม 925.26 พันตัน ปริมาณปลุสัศัรไก่รวม 950.04 พันตัน ปริมาณปลุสัศัรเป็ดรวม 25.09 พันตัน ปริมาณปลุสัศัรแพะรวม 107.26 พันตัน และปริมาณปลุสัศัรแกะรวม 9.29 พันตัน สามารถแยกปริมาณปลุสัศัรแต่ละชนิดตามรายภาคของประเทศ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 25 รายละเอียดดังนี้

ภาคเหนือ พบว่า ปริมาณปลุสัศัร แสดงตามลำดับปริมาณมากที่สุด (ตารางที่ 25) ดังนี้ 1) ปริมาณปลุสัศัรโคเนื้อสดสูงสุด 2,660.29 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณปลุสัศัรโคเนื้อแห้ง 177.840 พันตันต่อปี 2) ปริมาณปลุสัศัรกระบือสด 952.60 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณปลุสัศัรกระบือแห้ง 64.97 พันตันต่อปี 3) ปริมาณปลุสัศัรสุกรสด 800.19 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณปลุสัศัรสุกรแห้ง 159.01 พันตันต่อปี 4) ปริมาณปลุสัศัรไก่สด 778.73 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณปลุสัศัรไก่แห้ง 139.18 พันตันต่อปี 5) ปริมาณปลุสัศัรโคนมสด 510.54 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณปลุสัศัรโคนมแห้ง 54.61 พันตันต่อปี 6) ปริมาณปลุสัศัรแพะสด 73.73 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณปลุสัศัรแพะแห้ง 14.75 พันตันต่อปี 7) ปริมาณปลุสัศัรเป็ดสด 51.96 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณปลุสัศัรเป็ดแห้ง 3.62 พันตันต่อปี และ 8) ปริมาณปลุสัศัรแกะสด

8.55 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลแกะแห้ง 1.71 พันตันต่อปี เมื่อคิดปริมาณมูลสัตว์แห้งของภาคเหนือ เป็นลำดับ 3 ของประเทศ คิดเป็น 15.29 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณมูลสัตว์ทั้งหมดของประเทศ โดยพบว่า ปริมาณมูลโคเนื้อสูงสุด 32,365.22 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดตาก ปริมาณมูลโคนมสูงสุด 31,171.81 ตันต่อปี ปริมาณมูลกระบือสูงสุด 10,349.51 ตันต่อปี และมูลสุกรสูงสุด 24,689.06 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดเชียงใหม่ ปริมาณมูลไก่สูงสุด 20,953.19 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดนครสวรรค์ ปริมาณมูลเป็ดสูงสุด 686.09 ตันต่อปี ปริมาณมูลแพะสูงสุด 3,766.29 ตันต่อปี และปริมาณมูลแกะสูงสุด 510.12 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดเพชรบูรณ์ แสดงในตารางที่ 26

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ปริมาณมูลสัตว์ แสดงตามลำดับปริมาณมากที่สุด (ตารางที่ 25) ดังนี้ 1) ปริมาณมูลโคเนื้อสดสูงสุด 9,199.75 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลโคเนื้อแห้ง 615.00 พันตันต่อปี 2) ปริมาณมูลกระบือสด 3,446.33 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลกระบือแห้ง 242.31 พันตันต่อปี 3) ปริมาณมูลโคนมสด 1,344.96 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลโคนมแห้ง 143.84 พันตันต่อปี 4) ปริมาณมูลไก่สด 1,142.39 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลไก่แห้ง 204.17 พันตันต่อปี 5) ปริมาณมูลสุกรสด 958.04 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลสุกรแห้ง 190.38 พันตันต่อปี 6) ปริมาณมูลแพะสด 112.35 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลแพะแห้ง 22.98 พันตันต่อปี 7) ปริมาณมูลเป็ดสด 84.25 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลเป็ดแห้ง 5.88 พันตันต่อปี และ 8) ปริมาณมูลแกะสด 3.77 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลแกะแห้ง 0.76 พันตันต่อปี เมื่อคิดปริมาณมูลสัตว์แห้งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คิดเป็น 36.94 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณมูลสัตว์ทั้งหมดของประเทศ พบว่า ปริมาณมูลโคเนื้อสูงสุด 70,729.74 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดสุรินทร์ ปริมาณมูลโคนมสูงสุด 91,931.94 ตันต่อปี ปริมาณมูลไก่สูงสุด 50,139.79 ตันต่อปี ปริมาณมูลแพะสูงสุด 9,102.08 ตันต่อปี และปริมาณมูลแกะสูงสุด 248.93 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดนครราชสีมา ปริมาณมูลกระบือสูงสุด 31,506.17 ตันต่อปี และมูลสุกรสูงสุด 24,17.66 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดบุรีรัมย์ และปริมาณมูลเป็ดสูงสุด 816.83 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดชัยภูมิ แสดงในตารางที่ 27

ภาคกลาง และภาคตะวันออก พบว่า ปริมาณมูลสัตว์ แสดงตามลำดับปริมาณมากที่สุด (ตารางที่ 25) ดังนี้ 1) ปริมาณมูลไก่สดสูงสุด 3,001.12 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลไก่แห้ง 525.05 พันตันต่อปี 2) ปริมาณมูลโคเนื้อสด 2,583.63 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลโคเนื้อแห้ง 172.72 พันตันต่อปี 3) ปริมาณมูลโคนมสด 2,332.14 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลโคนมแห้ง 249.45 พันตันต่อปี 4) ปริมาณมูลสุกรสด 2,249.65 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลสุกรแห้ง 447.05 พันตันต่อปี 5) ปริมาณมูลกระบือสด 281.95 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลกระบือแห้ง 19.23 พันตันต่อปี 6) ปริมาณมูลแพะสด 185.64 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลแพะแห้ง 37.13 พันตันต่อปี 7) ปริมาณมูลเป็ดสด 183.77 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลเป็ดแห้ง 12.82 พันตันต่อปี และ 8) ปริมาณมูลแกะสด 22.74 พันตันต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลแกะแห้ง 4.55

พินต้นต่อปี เมื่อคิดปริมาณมูลสัตว์แห้งของภาคกลางและภาคตะวันออก คิดเป็น 37.96 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณมูลสัตว์ทั้งหมดของประเทศ โดยพบว่า ปริมาณมูลโคเนื้อสูงสุด 39,501.44 ตันต่อปี ปริมาณมูลแพะสูงสุด 8,509.10 ตันต่อปี และปริมาณมูลแกะสูงสุด 2,244.24 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดกาญจนบุรี ปริมาณมูลโคนมสูงสุด 51,591.30 ตันต่อปี และปริมาณมูลไก่สูงสุด 118,208.81 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดลพบุรี ปริมาณมูลกระปือสูงสุด 3,5030.03 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดชัยนาท มีปริมาณมูลสุกรสูงสุด 140,416.60 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดราชบุรี และปริมาณ มูลเป็ดสูงสุด 1,554.69 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดนครปฐม แสดงในตารางที่ 28

ภาคใต้ พบว่า ปริมาณมูลสัตว์ แสดงตามลำดับปริมาณมากที่สุด (ตารางที่ 25) ดังนี้ 1) ปริมาณมูลโคเนื้อสดสูงสุด 2,070.88 พินต้นต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลโคเนื้อแห้ง 138.44 พินต้นต่อปี 2) ปริมาณมูลสุกรสด 648.25 พินต้นต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลสุกรแห้ง 128.82 พินต้นต่อปี 3) ปริมาณมูลไก่สด 456.81 พินต้นต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลไก่แห้ง 81.64 พินต้นต่อปี 4) ปริมาณมูลแพะสด 161.99 พินต้นต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลแพะแห้ง 32.40 พินต้นต่อปี 5) ปริมาณ มูลกระปือสด 82.69 พินต้นต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลกระปือแห้ง 5.64 พินต้นต่อปี 6) ปริมาณมูลโคนมสด 39.81 พินต้นต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลโคนมแห้ง 4.26 พินต้นต่อปี 7) ปริมาณมูลเป็ดสด 39.71 พินต้น ต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลเป็ดแห้ง 2.77 พินต้นต่อปี และ 8) ปริมาณมูลแกะสด 11.36 พินต้นต่อปี คิดเป็นปริมาณมูลแกะแห้ง 2.27 พินต้นต่อปี เมื่อคิดปริมาณเฉลี่ยของมูลสัตว์แห้งของภาคใต้ คิดเป็น 9.84 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณมูลสัตว์ทั้งหมดของประเทศ โดยพบว่า ปริมาณมูลโคเนื้อสูงสุด 27,181.15 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดนครศรีธรรมราช ปริมาณมูลโคนมสูงสุด 2,689.69 ตันต่อปี ปริมาณมูลสุกร สูงสุด 39,548.51 ตันต่อปี ปริมาณมูลไก่สูงสุด 20,355.01 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดพัทลุง ปริมาณมูลกระปือสูงสุด 1,215.58 ตันต่อปี และปริมาณมูลเป็ดสูงสุด 526.43 ตันต่อปี พบมากใน จังหวัดสงขลา ปริมาณมูลแพะสูงสุด 5,027.07 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดยะลา และปริมาณมูลแกะ สูงสุด 1,260.15 ตันต่อปี พบมากในจังหวัดปัตตานี แสดงรายละเอียดในตารางที่ 29

ตารางที่ 25 การประเมินปริมาณมูลสัตว์สดและปริมาณมูลสัตว์แห้งชนิดต่าง ๆ ตามรายภาคของประเทศไทย ปี 2565

ภาค	ชนิด มูลสัตว์	ปริมาณมูลสัตว์ (พันตันต่อปี)							
		โคเนื้อ	โคนม	กระบือ	สุกร	ไก่	เป็ด	แพะ	แกะ
เหนือ	มูลสด	2,660.29	510.54	952.60	800.19	778.73	51.96	73.73	8.55
	มูลแห้ง	177.84	54.61	64.97	159.01	139.18	3.62	14.75	1.71
ตะวันออกเฉียงเหนือ	มูลสด	9,199.75	1,344.96	3,446.33	958.04	1,142.39	84.25	112.35	3.77
	มูลแห้ง	615.00	143.84	242.31	190.38	204.17	5.88	22.98	0.76
กลาง	มูลสด	2,583.63	2,332.14	281.95	2,249.65	3,001.12	183.77	185.64	22.74
	มูลแห้ง	172.72	249.45	19.23	447.05	525.05	12.82	37.13	4.55
ใต้	มูลสด	2,070.88	39.81	82.69	648.25	456.81	39.71	161.99	11.36
	มูลแห้ง	138.44	4.26	5.64	128.82	81.64	2.77	32.40	2.27
รวมทั้งประเทศ	มูลสด	16,514.55	4,227.45	4,763.57	4,656.13	5,379.05	359.69	533.71	46.42
	มูลแห้ง	1,104.00	452.16	332.15	925.26	950.04	25.09	107.26	9.29

ที่มา: ประเมินจากจำนวนปศุสัตว์รายภาคในประเทศไทย ปี 2565 กรมปศุสัตว์ (2565)

ตารางที่ 26 ชนิดและปริมาณของมูลสัตว์แห้งในภาคเหนือ

จังหวัด	ปริมาณ (ตันต่อปี)								
	มูลโคเนื้อ	มูลโคนม	มูลกระบือ	มูลสุกร	มูลไก่	มูลเป็ด	มูลแพะ	มูลแกะ	ปริมาณทั้งหมด
กำแพงเพชร	3,926.00	123.56	2,307.68	18,742.79	7,325.84	199.44	815.41	98.70	33,539.42
เชียงราย	6,508.03	2,779.87	3,212.19	6,779.06	11,097.65	135.70	395.59	31.24	30,939.33
เชียงใหม่	22,664.42	31,171.81	10,349.51	24,689.06	14,497.11	62.65	577.38	37.52	104,049.46
ตาก	32,365.22	7.61	5,768.60	6,415.41	3,077.31	30.25	1,234.50	101.10	49,000.00
นครสวรรค์	9,994.46	679.30	1,993.03	21,875.25	20,953.19	564.47	2,545.88	407.78	59,013.36
น่าน	7,690.84	37.48	1,948.62	5,526.56	4,356.92	63.02	219.15	9.56	19,852.15
พะเยา	7,254.32	146.40	1,498.96	1,554.35	4,730.13	62.35	130.23	30.08	15,406.82
พิจิตร	5,130.52	269.38	1,787.12	3,788.91	8,309.77	655.15	723.65	98.99	20,763.49
พิษณุโลก	7,813.57	166.90	5,600.72	13,135.72	7,181.08	593.38	1,211.36	111.40	35,814.13
เพชรบูรณ์	10,292.15	1,254.95	1,836.90	9,903.42	18,332.24	686.09	3,766.29	510.12	46,582.16
แพร่	5,739.06	248.88	2,200.74	3,264.58	3,013.99	20.58	138.77	16.42	14,643.02
แม่ฮ่องสอน	10,690.85	2.34	8,674.31	4,313.24	1,817.21	11.48	215.86	12.85	25,738.14
ลำปาง	19,058.18	1,571.77	3,277.51	14,003.59	10,111.48	29.34	457.20	47.60	48,556.67
ลำพูน	4,143.65	14,371.36	1,233.30	8,720.56	8,606.58	15.38	88.48	8.03	37,187.34
สุโขทัย	16,815.07	1,746.28	1,889.48	6,319.06	2,931.10	168.92	908.78	61.25	30,839.94

ตารางที่ 26 (ต่อ)

จังหวัด	ปริมาณ (ตันต่อปี)								
	มูลโคเนื้อ	มูลโคนม	มูลกระบือ	มูลสุกร	มูลไก่	มูลเป็ด	มูลแพะ	มูลแกะ	ปริมาณทั้งหมด
อุดรดิตถ์	6,003.07	1.17	5,145.68	4,873.68	7,883.59	115.99	196.88	16.50	24,236.56
อุทัยธานี	1,751.08	28.69	6,242.96	5,108.34	4,950.17	210.77	1,120.92	109.94	19,522.87
รวม	177,840.49	54,607.75	64,967.31	159,013.58	139,175.36	3,624.96	14,746.33	1,709.08	615,684.86

ที่มา: ประเมินจากจำนวนปศุสัตว์รายภาคในประเทศไทย ปี 2565 กรมปศุสัตว์ (2565)

ตารางที่ 27 ชนิดและปริมาณของมูลสัตว์แห้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จังหวัด	ปริมาณ (ตันต่อปี)								
	มูลโคเนื้อ	มูลโคนม	มูลกระบือ	มูลสุกร	มูลไก่	มูลเป็ด	มูลแพะ	มูลแกะ	ปริมาณทั้งหมด
กาฬสินธุ์	18,954.72	442.13	7,266.76	7,373.89	6,419.98	257.52	507.06	6.94	41,229.00
ขอนแก่น	38,452.48	23,204.64	9,819.19	11,917.52	13,108.55	561.43	1,896.18	12.48	98,972.47
ชัยภูมิ	14,364.91	4,272.58	3,677.39	12,197.35	17,622.79	816.83	2,707.79	74.68	55,734.32
นครพนม	18,748.66	7.03	15,612.29	9,672.77	5,150.14	109.84	464.86	10.22	49,775.81
นครราชสีมา	65,742.81	91,931.94	15,744.32	23,390.96	50,139.79	795.21	9,102.08	248.93	257,096.04
บุรีรัมย์	64,217.55	3,226.10	31,506.17	24,172.66	27,246.78	356.65	1,527.52	112.57	152,366.00

ตารางที่ 27 (ต่อ)

จังหวัด	ปริมาณ (ตันต่อปี)								
	มูลโคเนื้อ	มูลโคนม	มูลกระบือ	มูลสุกร	มูลไก่	มูลเป็ด	มูลแพะ	มูลแกะ	ปริมาณทั้งหมด
มหาสารคาม	42,659.93	5,251.71	14,349.32	11,421.04	9,152.92	317.70	909.80	34.82	84,097.24
มุกดาหาร	10,784.79	-	3,487.01	3,391.49	2,046.33	33.60	196.44	4.16	19,943.82
ยโสธร	22,937.70	25.77	6,931.01	5,283.64	4,033.38	152.98	151.18	5.55	39,521.21
ร้อยเอ็ด	48,080.32	451.50	15,186.92	11,804.36	8,650.94	428.91	457.93	35.48	85,096.36
เลย	5,975.50	3,945.81	2,824.26	6,040.70	3,244.56	147.40	755.26	28.83	22,962.32
ศรีสะเกษ	63,665.50	3,103.13	20,973.45	6,472.86	10,307.22	316.44	369.16	27.96	105,235.72
สกลนคร	35,307.16	2,795.68	19,583.82	7,820.75	6,322.21	244.77	582.32	12.56	72,669.27
สุรินทร์	70,729.74	532.90	30,348.35	12,358.11	10,483.36	396.59	499.54	47.60	125,396.19
หนองคาย	7,043.01	15.81	3,214.38	9,548.30	3,615.94	167.38	629.77	34.24	24,268.83
อุดรธานี	22,667.47	4,499.21	13,854.65	16,591.18	10,223.27	368.98	1,477.01	24.24	69,706.01
อุบลราชธานี	64,671.28	134.69	27,926.96	10,924.14	16,400.36	405.10	743.07	39.49	121,245.09
รวม	615,003.53	143,840.63	242,306.25	190,381.72	204,168.52	5,877.33	22,976.97	760.75	1,425,315.70

ที่มา: ประเมินจากจำนวนปศุสัตว์รายภาคในประเทศไทย ปี 2565 กรมปศุสัตว์ (2565)

ตารางที่ 28 ชนิดและปริมาณของมูลสัตว์แห้งในภาคกลางและภาคตะวันออก

จังหวัด	ปริมาณ (ตันต่อปี)								
	มูลโคเนื้อ	มูลโคนม	มูลกระบือ	มูลสุกร	มูลไก่	มูลเป็ด	มูลแพะ	มูลแกะ	ปริมาณทั้งหมด
กรุงเทพมหานคร	606.22	67.93	52.97	5.31	291.77	34.65	747.59	96.00	1,902.44
กาญจนบุรี	39,501.44	19,504.19	2,343.92	55,361.65	68,619.28	562.37	8,509.10	2,244.24	196,646.19
จันทบุรี	294.27	1,950.65	94.79	6,935.38	8,745.82	28.99	21.32	6.06	18,077.28
ฉะเชิงเทรา	2,920.71	67.34	731.85	17,610.32	29,574.36	820.20	570.86	104.68	52,400.32
ชลบุรี	2,612.41	970.35	1,727.57	26,329.06	75,886.46	270.79	514.72	143.52	108,454.88
ชัยนาท	6,978.84	685.16	3,530.03	17,828.88	13,753.49	887.54	3,021.76	305.07	46,990.77
ตราด	208.26	0.58	119.88	5,995.53	1257.63	12.68	32.41	0.80	7,627.77
นครนายก	1,345.92	66.76	2,716.32	5,941.13	15,746.57	432.90	174.76	34.97	26,459.33
นครปฐม	5,617.30	17,342.72	93.60	6,482.08	15,747.70	1,554.69	1,061.35	219.51	48,118.95
นนทบุรี	272.06	-	37.84	-	264.11	113.88	274.41	23.58	985.88
ปทุมธานี	602.81	22.84	180.82	0.17	1,230.28	329.86	240.24	32.41	2,639.43
ประจวบคีรีขันธ์	21,413.42	20,361.52	113.71	10,045.56	4,112.54	51.58	3,362.23	88.91	59,549.47
ปราจีนบุรี	2,308.39	47.43	2,514.40	35,590.66	47,744.56	458.09	138.77	32.56	88,834.86
พระนครศรีอยุธยา	1,344.21	10.54	342.13	1,582.29	1,257.00	462.26	570.35	25.11	5,593.89
เพชรบุรี	30,437.00	8,088.40	185.20	9,401.47	4,979.22	403.48	2,668.52	93.22	56,256.51
ระยอง	2,786.14	0.58	144.98	11,291.62	8,991.42	366.07	73.00	13.43	23,667.24

ตารางที่ 28 (ต่อ)

จังหวัด	ปริมาณ (ตันต่อปี)								
	มูลโคเนื้อ	มูลโคนม	มูลกระบือ	มูลสุกร	มูลไก่	มูลเป็ด	มูลแพะ	มูลแกะ	ปริมาณทั้งหมด
ราชบุรี	13,757.35	26,780.93	206.51	140,416.60	25,926.05	481.44	1,720.03	97.97	209,386.88
ลพบุรี	8,831.30	51,591.30	760.73	42,029.57	118,208.81	769.72	5,365.94	274.63	227,832.00
สมุทรปราการ	62.83	-	12.15	-	95.85	7.04	37.81	26.86	242.54
สมุทรสงคราม	154.70	-	2.79	49.26	140.09	3.82	18.54	0.88	370.08
สมุทรสาคร	104.56	-	7.58	1.91	289.78	8.91	34.46	1.39	448.59
สระบุรี	3,748.61	100,993.61	2,070.90	5,755.65	40,134.88	763.70	2,006.70	186.59	155,660.64
สิงห์บุรี	396.26	72.62	50.38	1,017.49	4,363.35	106.27	1,361.38	12.26	7,380.01
สุพรรณบุรี	24,802.00	819.85	1,016.63	42,101.20	32,216.89	2,672.28	3,811.70	442.38	107,882.93
อ่างทอง	1,608.71	-	171.06	5,277.72	5,467.51	1,216.78	790.74	39.35	14,571.87
รวม	172,715.72	249,445.30	19,228.74	447,050.51	525,045.42	12,819.99	37,128.69	4,546.38	1,467,980.75

ที่มา: ประเมินจากจำนวนปศุสัตว์รายภาคในประเทศไทย ปี 2565 กรมปศุสัตว์ (2565)

ตารางที่ 29 ชนิดและปริมาณของมูลสัตว์แห้งในภาคใต้

จังหวัด	ปริมาณ (ตันต่อปี)								
	มูลโคเนื้อ	มูลโคนม	มูลกระบือ	มูลสุกร	มูลไก่	มูลเป็ด	มูลแพะ	มูลแกะ	ปริมาณทั้งหมด
กระบี่	8,040.37	-	151.15	9,061.93	5,379.93	39.87	2,641.65	34.53	25,349.43
ชุมพร	5,861.67	697.46	107.54	8,316.44	3,367.51	52.94	553.27	10.66	18,967.49
ตรัง	11,964.66	-	71.10	8,322.70	4,962.76	79.41	1,354.22	8.61	26,763.46
นครศรีธรรมราช	27,181.15	86.67	490.70	31,525.48	12,394.16	492.77	3,740.59	60.30	75,971.82
นราธิวาส	12,155.47	1.76	462.61	682.04	2,261.34	236.75	3,753.95	289.66	19,843.58
ปัตตานี	8,102.47	2.34	214.08	400.47	2,039.15	238.69	3,690.81	1,261.15	15,949.16
พังงา	1,335.79	-	481.93	3,550.34	3,677.84	26.16	1,038.42	12.70	10,123.18
พัทลุง	19,947.20	2,689.69	878.62	39,548.51	20,355.01	475.55	1,967.79	34.97	85,897.34
ภูเก็ต	297.44	-	133.03	91.65	553.96	19.59	183.16	5.33	1,284.16
ยะลา	7,175.87	7.61	349.90	459.57	1,960.08	202.59	5,027.07	306.60	15,489.29
ระนอง	1,180.48	-	331.77	1,264.25	716.63	13.31	574.22	6.64	4,087.30
สงขลา	20,633.22	771.24	1,215.58	7,976.72	12,417.57	526.43	4,275.97	158.19	47,974.92
สตูล	4,188.55	-	30.27	1,113.76	3,490.49	76.27	2,257.82	49.64	11,206.80
สุราษฎร์ธานี	10,374.25	-	721.30	16,505.53	8,064.87	285.87	1,339.11	32.70	37,323.63
รวม	138,438.59	4,256.77	5,639.58	128,819.39	81,641.30	2,766.20	32,398.05	2,271.68	396,231.56

ที่มา: ประเมินจากจำนวนปศุสัตว์รายภาคในประเทศไทย ปี 2565 กรมปศุสัตว์ (2565)

(1.2.2) สภาพปัญหาที่เกิดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากมูลสัตว์

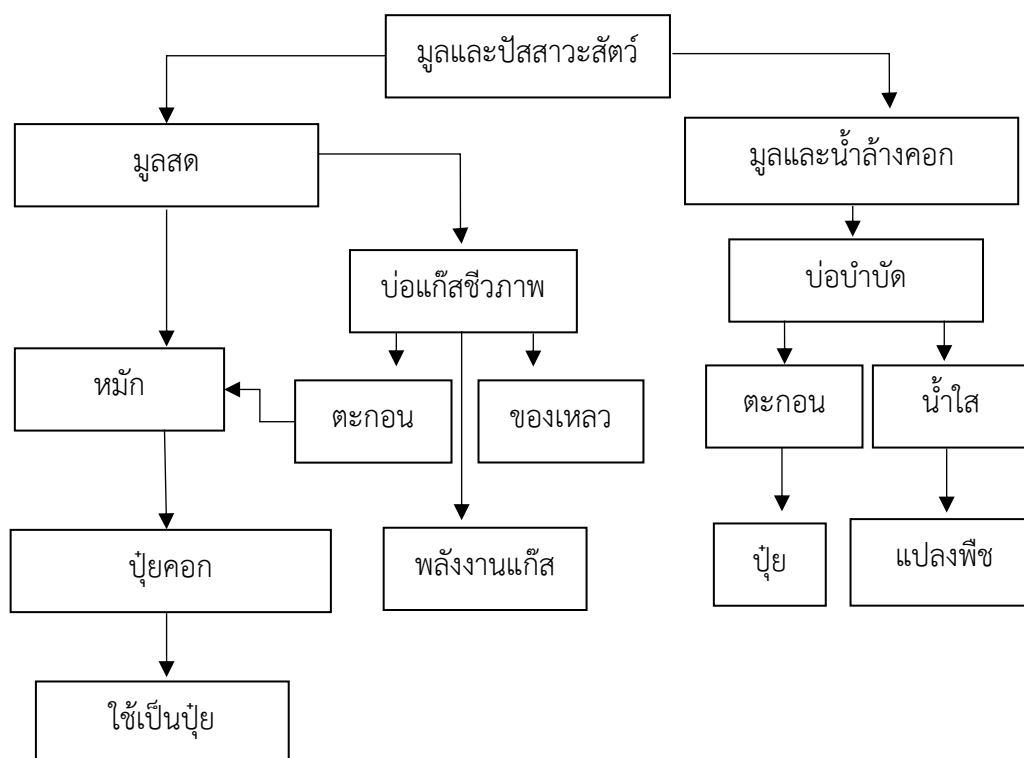
การเพาะเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจในประเทศไทยมีทั้งรายย่อย ฟาร์มขนาดกลาง และฟาร์มขนาดใหญ่ จากข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ 8 ชนิด เกิดมูลสัตว์จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในปริมาณมาก ได้แก่ ปริมาณมูลโคเนื้อรวม 1,103,998.33 ตัน ปริมาณมูลโคนมรวม 452,150.45 ตัน ปริมาณมูลกระบือรวม 332,141.88 ตัน ปริมาณมูลสุกรรวม 925,265.20 ตัน ปริมาณมูลไก่รวม 950,030.60 ตัน ปริมาณมูลเป็ดรวม 25,088.48 ตัน ปริมาณมูลแพะรวม 107,250.04 ตัน และปริมาณมูลแกะรวม 9,287.89 ตัน (กรมปศุสัตว์, 2565) ซึ่งมูลสัตว์บางชนิด เช่น มูลสุกรในฟาร์มที่มีการจัดการเป็นระบบจะนำไปผลิตพลังงานเป็นก๊าซชีวภาพ แต่ยังมีปริมาณมากที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ หากไม่มีการจัดการนำไปใช้ประโยชน์ที่ถูกต้อง หรือการบำบัดของเสียอย่างถูกวิธีจะส่งผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม ซึ่งของเสียเหล่านี้เมื่อปริมาณมากและทิ้งทับถมลงสู่ดินที่เดิม การสลายตัวตามธรรมชาติย่อมเกิดขึ้นช้า ทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารต่าง ๆ หรือสารพิษที่มีอยู่ในมูลสัตว์หรือปัสสาวะเพิ่มขึ้นในดินและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เป็นผลให้คุณภาพดิน หรือแหล่งน้ำตามธรรมชาติสกปรกหรือเสียหายได้ หากฝนที่ตกได้ชะล้างของเสียเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำ หรืออาจปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง และอีกปัญหาหนึ่งที่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม คือ เกิดแมลงวัน กลิ่นเหม็นของมูลสัตว์และปัสสาวะของสัตว์ และก๊าซที่เกิดขึ้นจากมูลสัตว์เกิดจากการหมักหมม เป็นต้น ซึ่งมูลสัตว์แต่ละชนิดมีองค์ประกอบของธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลินทรีย์ และเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ ดังนั้นการจัดการมูลสัตว์อย่างถูกวิธีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเป็นแหล่งธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุในดิน

(1.2.3) การนำมูลสัตว์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากมูลสัตว์สำหรับการเกษตร ต้องทำการหมักมูลสัตว์ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ หากนำมูลสัตว์ และปัสสาวะสัตว์ไปใช้โดยตรงในแปลงพืชทันที อาจเป็นอันตรายต่อพืชเพราะความร้อนและอินทรียสารบางชนิดที่เกิดขึ้นระหว่างที่มูลสัตว์สลายตัว ควรมีการหมักมูลสัตว์ก่อนนำไปใช้ เพื่อแปรสภาพอินทรียสารเดิมในมูลสัตว์ให้เป็นสารฮิวมิกมากขึ้นและได้ปุ๋ยคอกที่เหมาะสมแก่การใช้เพื่อการบำรุงดิน ซึ่งแตกต่างจากการทำปุ๋ยหมัก เนื่องจากการทำปุ๋ยหมักใช้ซากพืชเป็นหลัก และอาจใส่มูลสัตว์เป็นส่วนผสมในกองหมักเท่านั้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสลายของมูลสัตว์ในกองหมัก ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ สภาพกรดด่าง การถ่ายเทอากาศ ขนาดของชิ้นวัสดุและสัดส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน สำหรับความชื้นของมูลสัตว์หากสูงกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ กิจกรรมของจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนจะลดลง ทำให้การสลายตัวของมูลสัตว์ช้า และมีกลิ่นเหม็น ส่วนการถ่ายเทอากาศก็มีความสำคัญมาก ควรให้กองปุ๋ยมีช่องว่างไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ เพื่อส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจน โดยปรกติมูลสัตว์

มักมีความชื้นสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จึงควรเติมแกลบหรือขี้เลื่อยเพื่อปรับความชื้นให้อยู่ระหว่าง 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ จึงเริ่มหมัก (ยงยุทธ และคณะ, 2551) และพบว่า ปุ๋ยคอกที่หมักก่อนการนำไปใช้ ประโยชน์จะมีปริมาณธาตุอาหารค่อนข้างสูง โดยให้ธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมค่อนข้างสูง ประมาณ 42.0 และ 49.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับฟอสฟอรัสมีประมาณ 22.5 เปอร์เซ็นต์ (Harry *et al.*, 1974) นอกจากจะให้ธาตุอาหารต่าง ๆ แล้ว ยังช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความเป็นประโยชน์ธาตุอาหาร ทำให้ดินมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) เพิ่มขึ้น เพราะเมื่อปุ๋ยคอกถูกจุลินทรีย์ดินย่อยสลายจะปลดปล่อยธาตุต่าง ๆ ในรูปอนินทรีย์ แล้วเหลือสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน และมีลักษณะคงทน เรียกว่า ฮิวมัส (humus) ซึ่งฮิวมัสมีขนาด 0.1 - 1.0 ไมโครเมตร และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 100 - 500 เซนติโมลของประจุต่อกิโลกรัม ดังนั้นการใส่ปุ๋ยคอกมีผลต่อการเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน และมีความน้อยเท่าไร ขึ้นอยู่กับอัตราที่ใส่ในแต่ละครั้ง และความต่อเนื่องของการใช้ด้วย ซึ่งปุ๋ยคอกมีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดินอย่างเด่นชัด กล่าวคือ การใช้อย่างต่อเนื่องจะช่วยให้เกิดเม็ดดินมากขึ้น เพิ่มเสถียรภาพของเม็ดดิน ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน และลดความหนาแน่นรวมของดิน ผลเหล่านี้ปรากฏชัดเจนในดินเนื้อหยาบ สำหรับดินเนื้อละเอียดนั้นปุ๋ยคอกช่วยให้การซาบซึมน้ำดีขึ้น และปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน เนื่องจากปุ๋ยคอกเป็นแหล่งพลังงานและสารอาหารของจุลินทรีย์ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยคอกลงในดิน จึงมีผลต่อการเพิ่มชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ดิน รวมทั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินด้วย (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

การนำมูลสัตว์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร สามารถจัดการเป็นระบบเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอย่างต่อเนื่องได้ โดยนำมูลสดไปทำปุ๋ยคอกและผลิตแก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง เมื่อผลิตพลังงานแล้วได้ส่วนเหลือทิ้งเป็นตะกอนนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ ส่วนน้ำล้างคอกนำไปบำบัด โดยทำให้ตกตะกอนแล้วแยกตะกอนออกเป็นปุ๋ย ส่วนบนที่เป็นน้ำใสใช้เพื่อรดแปลงพืชหรือเลี้ยงสัตว์น้ำ (ภาพที่ 10) ซึ่งหากฟาร์มขนาดใหญ่อาจได้ตะกอนมูลสัตว์วันละ 10.5 ถึง 15.0 ตัน (ปีละ 3,000 ถึง 5,000 ตัน) ตะกอนที่ความชื้น 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ มีธาตุอาหารค่อนข้างสูง หากสามารถลดความชื้นให้เหลือ 60 - 75 เปอร์เซ็นต์ นำมาหมักเพื่อย่อยสลายต่อไป หลังจากสลายตัวสมบูรณ์จะมีสมบัติประกอบด้วยความเป็นกรดเป็นด่าง 4.8 - 6.4 ไนโตรเจนทั้งหมด 2.3 - 3.1 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.3 - 0.6 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมทั้งหมด 0.1 - 0.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะที่ใช้บำรุงดิน



ภาพที่ 10 ระบบการจัดการมูลสัตว์ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก ยงยุทธ และคณะ (2551)

2) วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร

อุตสาหกรรมเกษตรในประเทศไทย ปัจจุบันมีการขยายตัว และมีกำลังการผลิตสูง ทำให้เกิดของเสียและวัสดุเหลือใช้จำนวนมากในแต่ละปี วัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ วัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็ง ของเหลว (น้ำเสีย) และก๊าซ (ไอน้ำ และความร้อน) วัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็ง มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ कार्โบไฮเดรต น้ำตาล ไขมัน รวมทั้งแร่ธาตุต่าง ๆ จึงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่า โดยอาศัยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ (Smith, 1981) ปัจจุบันมีการใช้วัสดุเหลือใช้ให้เป็นประโยชน์ทั้งทางตรง การแปรรูป หรือการเพิ่มมูลค่า โดยอาศัยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น เทคโนโลยีการหมัก การผลิตเอนไซม์ และผลิตภัณฑ์ชีวภาพใหม่ นำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่เกษตรกรรม เพื่อปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหาร และสารปรับปรุงดิน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้กากตะกอนของเสีย ซึ่งได้มาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมี หรืออาจจะใช้แทนปุ๋ยเคมีได้ เนื่องจาก

กากตะกอนเหล่านี้ สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารพืชให้พอเพียงกับความต้องการของพืช และยัง สามารถช่วยในการปรับปรุงดิน (วรกาย, 2541) ซึ่งการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรที่สำคัญ คือ แห้งวัสดุ และคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบและกระบวนการผลิต ดังนั้นการนำเอาอินทรีย์วัตถุเหลือใช้เหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างถูกวิธี และไม่ก่อให้เกิดปัญหา ต่อสภาพแวดล้อม การศึกษาวิธีการจัดการ เพื่อนำอินทรีย์วัตถุเหลือใช้เหล่านี้ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในด้านการเกษตร จึงเป็นหนทางหนึ่งที่เกิดประโยชน์ในทางเกษตร และก่อให้เกิดประโยชน์ต่อ สภาพแวดล้อมโดยรวมได้เป็นอย่างดี (ชัยสิทธิ์, 2538) ซึ่งในเอกสารฉบับนี้จะกล่าวถึงวัสดุเหลือใช้ จากอุตสาหกรรมเกษตร 5 ประเภท ได้แก่ วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล วัสดุเหลือใช้จากโรงงาน แป้งมันสำปะหลัง วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำมันปาล์ม วัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของวัสดุเหลือใช้ที่แน่นอน มีมากพอที่จะใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิตได้สม่ำเสมอ นำมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่ง อินทรีย์วัตถุ และแหล่งธาตุอาหารในดิน การนำจุดเด่นของแหล่งวัสดุเหลือใช้ที่มีปริมาณมาก มีธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุสูง และมีแหล่งผลิตกระจายอยู่ในพื้นที่หลายจังหวัดทั่วประเทศ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมกับพื้นที่ ลดต้นทุนค่าขนส่ง ลดต้นทุนการผลิต หมุนเวียน วัสดุเหลือใช้ หรือแปรรูปเพิ่มมูลค่า เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการบำรุงดินฟื้นฟูคุณภาพดินให้ เหมาะสมต่อการเจริญและผลผลิตพืช ดังนี้

(1) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล

(1.1) ชนิดและแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล

โรงงานผลิตน้ำตาลมีกระบวนการผลิตน้ำตาล 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การผลิตน้ำตาลทรายดิบ และการทำน้ำตาลให้บริสุทธิ์ ในผลผลิตอ้อย 1 ตัน จะได้น้ำตาล 103.60 กิโลกรัม กากน้ำตาล 45.18 กิโลกรัม และผลผลิตน้ำตาลชนิดต่าง ๆ รวม 9.12 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ ซึ่งแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจากโรงงานน้ำตาล เมื่อคิดเป็นสัดส่วน การเกิดวัสดุเหลือใช้ต่อน้ำหนักผลผลิต ได้แก่ ขานอ้อย 29.16 เปอร์เซ็นต์ และกากตะกอน 3.12 เปอร์เซ็นต์ และเกิดวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของเหลวจากโรงงานน้ำตาล ได้แก่ กากน้ำตาล 5.58 เปอร์เซ็นต์ และน้ำทิ้ง 0.23 ลูกบาศก์เมตรต่อตันอ้อย (ตารางที่ 30) (พูนสุข, 2558)

ตารางที่ 30 ค่าสัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจากโรงงานน้ำตาล

วัสดุเหลือใช้	สัดส่วนวัสดุเหลือใช้
ขานอ้อย (เปอร์เซ็นต์)	29.16
กากน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์)	5.58
กากตะกอน (เปอร์เซ็นต์)	3.12
น้ำทิ้ง (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)	0.23

ที่มา: พูนสุข (2558)

(1.2) สถานการณ์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล

โรงงานอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายของประเทศไทย มีแนวโน้มขยายตัวสำหรับในฤดูการผลิตปี 2564/2565 มีปริมาณอ้อยทั้งหมดที่ส่งเข้าโรงงานผลิตน้ำตาลทราย จำนวน 92.07 ล้านตัน เป็นอ้อยสด จำนวน 66.95 ล้านตัน คิดเป็น 72.72 เปอร์เซ็นต์ อ้อยไฟไหม้ จำนวน 25.12 ล้านตัน คิดเป็น 27.28 เปอร์เซ็นต์ มีเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยจำนวน 227,984 ราย (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2565) จากการประเมินปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำตาล ในปีการผลิต 2564/2565 ด้วยการคำนวณจากการคูณผลผลิตอ้อยด้วยค่าสัดส่วนการเกิดมวลวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดจากตารางที่ 30 พบว่า ปริมาณวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาลมี 2 ส่วน ทั้งเป็นของแข็งและของเหลว ได้แก่ ปริมาณขานอ้อย 26,847,612 ตัน ปริมาณกากน้ำตาล 5,137,506 ตัน ปริมาณกากตะกอนคิดเป็น 2,872,584 ตัน และปริมาณน้ำทิ้ง 211,761 ลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 31) มีปริมาณมากพอสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อปรับปรุงดิน

ตารางที่ 31 ปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจากโรงงานน้ำตาล

วัสดุเหลือใช้	ปริมาณวัสดุเหลือใช้
ขานอ้อย (ตัน)	26,847,612
กากน้ำตาล (ตัน)	5,137,506
กากตะกอน (ตัน)	2,872,584
น้ำทิ้ง (ลูกบาศก์เมตร)	211,761

หมายเหตุ ประเมินปริมาณคำนวณจากปริมาณผลผลิตในฤดูการผลิตปี 2564/2565

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2565)

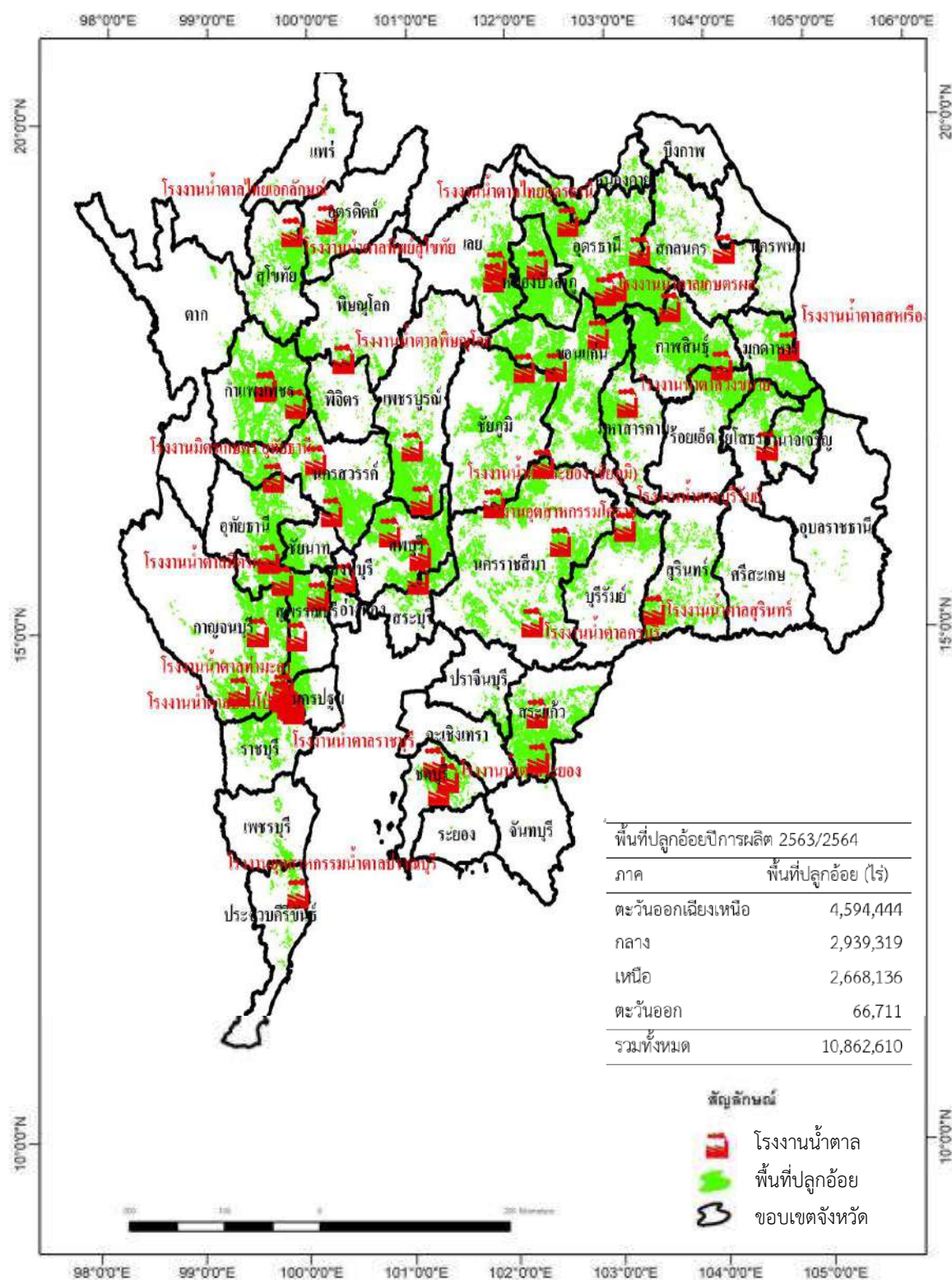
ปัจจุบันโรงงานน้ำตาลของประเทศไทยมีแหล่งที่ตั้งโรงงานน้ำตาลกระจายทั่วประเทศ มีจำนวน 57 โรงงาน สามารถระบุแหล่งที่ตั้งของโรงงานน้ำตาลตามรายภาคของประเทศ แสดงแผนที่พื้นที่ปลูกอ้อยและที่ตั้งโรงงานน้ำตาลประเทศไทย ดังภาพที่ 11 แสดงข้อมูลสถานที่ตั้งโรงงานน้ำตาลตามรายภาคของประเทศไทย ดังตารางที่ 32 ดังนี้

ภาคเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงานน้ำตาล 6 จังหวัด ได้แก่ กำแพงเพชร สุโขทัย อุตรดิตถ์ นครสวรรค์ พิจิตร และเพชรบูรณ์

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงานน้ำตาล 13 จังหวัด ได้แก่ สุรินทร์ กาฬสินธุ์ จำนวน 2 โรงงาน นครราชสีมา จำนวน 3 โรงงาน ขอนแก่น จำนวน 2 โรงงาน อุตรดิตถ์ จำนวน 4 โรงงาน ชัยภูมิ จำนวน 2 โรงงาน เลย จำนวน 2 โรงงาน มุกดาหาร บุรีรัมย์ หนองบัวลำภู สกลนคร มหาสารคาม และอำนาจเจริญ

ภาคกลาง มีสถานที่ตั้งโรงงานน้ำตาล 8 จังหวัด ได้แก่ สุพรรณบุรี จำนวน 3 โรงงาน กาญจนบุรี จำนวน 8 โรงงาน ราชบุรี จำนวน 2 โรงงาน อุทัยธานี จำนวน 2 โรงงาน ลพบุรี จำนวน 2 โรงงาน สิงห์บุรี ประจวบคีรีขันธ์ และสระบุรี

ภาคตะวันออก มีสถานที่ตั้งโรงงานน้ำตาล 2 จังหวัด ได้แก่ ชลบุรี จำนวน 4 โรงงาน และสระแก้ว จำนวน 2 โรงงาน



ภาพที่ 11 แผนที่พื้นที่ปลูกอ้อยและที่ตั้งโรงงานน้ำตาลประเทศไทย

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2565)

ตารางที่ 32 สถานที่ตั้งโรงงานน้ำตาลตามรายภาคของประเทศไทย

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	สถานที่ตั้ง	ภาค
1	โรงงานน้ำตาลทิพย์กำแพงเพชร	กำแพงเพชร	เหนือ
2	โรงงานน้ำตาลนครเพชร	กำแพงเพชร	เหนือ
3	โรงงานน้ำตาลทรายกำแพงเพชร	กำแพงเพชร	เหนือ
4	โรงงานน้ำตาลทิพย์สุโขทัย	สุโขทัย	เหนือ
5	โรงงานน้ำตาลไทยเอกลักษณ์	อุตรดิตถ์	เหนือ
6	โรงงานเกษตรไทย อินเตอร์เนชั่นแนล ชูการ์ คอร์ปอเรชั่น (รวมผล)	นครสวรรค์	เหนือ
7	โรงงานน้ำตาลพิษณุโลก	พิษณุโลก	เหนือ
8	โรงงานไทยรุ่งเรืองอุตสาหกรรม	เพชรบูรณ์	เหนือ
9	โรงงานไทยอุตสาหกรรมน้ำตาล	เพชรบูรณ์	เหนือ
10	โรงงานน้ำตาลสุรินทร์	สุรินทร์	ตะวันออกเฉียงเหนือ
11	โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลอีสาน	กาฬสินธุ์	ตะวันออกเฉียงเหนือ
12	โรงงานน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์	กาฬสินธุ์	ตะวันออกเฉียงเหนือ
13	โรงงานน้ำตาลวังขนาย (มหาวัง)	มหาสารคาม	ตะวันออกเฉียงเหนือ
14	โรงงานอุตสาหกรรมโคราช	นครราชสีมา	ตะวันออกเฉียงเหนือ
15	โรงงานอุตสาหกรรมอ่างเวียน	นครราชสีมา	ตะวันออกเฉียงเหนือ
16	โรงงานน้ำตาลนครบุรี	นครราชสีมา	ตะวันออกเฉียงเหนือ
17	โรงงานรวมเกษตรกรรมอุตสาหกรรม	ขอนแก่น	ตะวันออกเฉียงเหนือ
18	โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	ขอนแก่น	ตะวันออกเฉียงเหนือ
19	โรงงานน้ำตาลไทยกาญจนบุรี	อุตรธานี	ตะวันออกเฉียงเหนือ
20	โรงงานน้ำตาลเกษตรผล	อุตรธานี	ตะวันออกเฉียงเหนือ
21	โรงงานน้ำตาลทรายขาวเริ่มอุดม	อุตรธานี	ตะวันออกเฉียงเหนือ
22	โรงงานน้ำตาลกุ่มกาวปี	อุตรธานี	ตะวันออกเฉียงเหนือ
23	โรงงานน้ำตาลสหเรือง	มุกดาหาร	ตะวันออกเฉียงเหนือ
24	โรงงานน้ำตาลบุรีรัมย์	บุรีรัมย์	ตะวันออกเฉียงเหนือ
25	โรงงานรวมเกษตรกรรมอุตสาหกรรม (ชัยภูมิ)	ชัยภูมิ	ตะวันออกเฉียงเหนือ
26	โรงงานน้ำตาลระยอง (ชัยภูมิ)	ชัยภูมิ	ตะวันออกเฉียงเหนือ
27	โรงงานน้ำตาลเอราวัณ	หนองบัวลำภู	ตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 32 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	สถานที่ตั้ง	ภาค
28	โรงงานรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม (มิตรภูหลวง)	เลย	ตะวันออกเฉียงเหนือ
29	โรงงานน้ำตาลขอนแก่น (วังสะพุง)	เลย	ตะวันออกเฉียงเหนือ
30	โรงงานไทยรุ่งเรืองอุตสาหกรรม (สกลนคร)	สกลนคร	ตะวันออกเฉียงเหนือ
31	โรงงานน้ำตาลมิตรภาพสินธุ์ (อำนาจเจริญ)	อำนาจเจริญ	ตะวันออกเฉียงเหนือ
32	โรงงานน้ำตาลสิงห์บุรี	สิงห์บุรี	กลาง
33	โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลสุพรรณบุรี	สุพรรณบุรี	กลาง
34	โรงงานน้ำตาลรีไฟน์ชัยมงคล (อุทัย)	สุพรรณบุรี	กลาง
35	โรงงานน้ำตาลมิตรผล	สุพรรณบุรี	กลาง
36	โรงงานไทยเพิ่มพูนอุตสาหกรรม	กาญจนบุรี	กลาง
37	โรงงานไทยอุตสาหกรรมน้ำตาล	กาญจนบุรี	กลาง
38	โรงงานประจวบอุตสาหกรรม	กาญจนบุรี	กลาง
39	โรงงานน้ำตาลท่ามะกา	กาญจนบุรี	กลาง
40	โรงงานน้ำตาลนิวกู้ไทย	กาญจนบุรี	กลาง
41	โรงงานน้ำตาลราชบุรี (กาญจนบุรี)	กาญจนบุรี	กลาง
42	โรงงานน้ำตาลไทยกาญจนบุรี	กาญจนบุรี	กลาง
43	โรงงานอุตสาหกรรมมิตรเกษตร	กาญจนบุรี	กลาง
44	โรงงานน้ำตาลบ้านโป่ง	ราชบุรี	กลาง
45	โรงงานน้ำตาลราชบุรี	ราชบุรี	กลาง
46	โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลปราณบุรี	ประจวบคีรีขันธ์	กลาง
47	โรงงานน้ำตาลสระบุรี	สระบุรี	กลาง
48	โรงงานมิตรเกษตร (อุทัยธานี)	อุทัยธานี	กลาง
49	โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลบ้านไร่	อุทัยธานี	กลาง
50	โรงงานน้ำตาลสระบุรี (สระโบสถ์)	ลพบุรี	กลาง
51	โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ที.เอ็น.	ลพบุรี	กลาง
52	โรงงานน้ำตาลนิวกว้างสันหลี	ชลบุรี	ตะวันออก
53	โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลชลบุรี	ชลบุรี	ตะวันออก
54	โรงงานสหการน้ำตาลชลบุรี	ชลบุรี	ตะวันออก

ตารางที่ 32 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อโรงงาน	สถานที่ตั้ง	ภาค
55	โรงงานน้ำตาลระยอง	ชลบุรี	ตะวันออก
56	โรงงานน้ำตาลและอ้อยตะวันออก	สระแก้ว	ตะวันออก
57	โรงงานน้ำตาลและอ้อยตะวันออก (วังสมบูรณ์)	สระแก้ว	ตะวันออก

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2565)

(2) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

(2.1) ชนิดและแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

จะเกิดวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลวปริมาณมากในแต่ละปี ซึ่งมีชนิดและแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้ประเภทของแข็งของทะเลาะปาล์มสด ได้แก่ ทะเลาะปาล์มเปล่า มีปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยปาล์ม มีปริมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ กะลาปาล์ม มีปริมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ และตะกอนจากเครื่องตีแคนเตอร์ (decanter cake) มีปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ (Fries, 1990) และวัสดุเหลือใช้ของแข็งเหล่านี้คิดเป็นปริมาณมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณทะเลาะปาล์มสด และซีเถ้าปาล์มน้ำมัน เป็นวัสดุผลพลอยได้จากการนำกากของผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เศษกะลา เส้นใย และทะเลาะปาล์มเปล่าของผลปาล์ม เผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำ ส่วนวัสดุเหลือใช้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำทิ้งจากการนึ่งปาล์ม 0.20 เปอร์เซ็นต์ของทะเลาะปาล์ม น้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ 0.35 เปอร์เซ็นต์ของทะเลาะปาล์ม และน้ำทิ้งจากเครื่องทำบริสุทธิ์ 0.20 เปอร์เซ็นต์ของทะเลาะปาล์ม (Fries, 1990) (ตารางที่ 33) และลักษณะวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบเปียก แสดงดังภาพที่ 12

ตารางที่ 33 ค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

วัสดุเหลือใช้	สัดส่วนวัสดุเหลือใช้
ทะลายปาล์มเปล่า	20 เปอร์เซ็นต์ของทะลายปาล์ม
กะลา	6 เปอร์เซ็นต์ของทะลายปาล์ม
กากตะกอนจากเครื่องดีแคนเตอร์	4 เปอร์เซ็นต์ของทะลายปาล์ม
เส้นใยปาล์ม	11 เปอร์เซ็นต์ของทะลายปาล์ม
น้ำทิ้งจากการนึ่งปาล์ม	0.20 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน
น้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์	0.35 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน
น้ำทิ้งจากเครื่องทำบริสุทธิ์	0.20 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน

ที่มา: Fries (1990)



ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน



เส้นใยปาล์ม



กะลาปาล์ม



กากตะกอนดีแคนเตอร์



น้ำเสียจากกระบวนการผลิต

ภาพที่ 12 วัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบเปียก

ที่มา: ญัฎฐาทศน์ (2558)

(2.2) สถานการณ์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมัน เป็นวัตถุดิบหลักของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากใน 5 จังหวัด ได้แก่ กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล และตรัง มีพื้นที่การเพาะปลูกปาล์ม คิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมดของประเทศ ซึ่งมีอยู่ 2.739 ล้านไร่ จังหวัดที่ถือว่าเป็นเขตเศรษฐกิจปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ประจวบคีรีขันธ์ ระนอง นครศรีธรรมราช สงขลา และพังงา โดยปริมาณการขายผลผลิตรวมทั้งประเทศตามรายภาค ปี 2564 พบว่า ผลผลิตปาล์มน้ำมันรวมทั้งประเทศ 16,903,728 ตัน โดยภาคใต้มีพื้นที่และผลผลิตปาล์มน้ำมันสูงสุด 15,199,545 ตัน รองลงมา คือ ภาคกลาง ผลผลิต 1,262,197 ตัน ภาคตะวันออกเฉยงเหนือ ผลผลิต 339,723 ตัน และภาคเหนือ ผลผลิต 102,263 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) เมื่อประเมินปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในปีการผลิต 2564 จากผลผลิตปาล์มน้ำมันรวมทั้งประเทศ 16,903,728 ตัน ด้วยการคำนวณจากการคูณผลผลิตปาล์มน้ำมันด้วยค่าสัดส่วนการเกิดมวลวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดจากตารางที่ 33 พบว่า ปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ได้แก่ ปริมาณทะลายปาล์มเปล่า 3,380,745.60 ตัน ปริมาณกะลา 1,014,223.68 ตัน ปริมาณกากตะกอนจากเครื่องดีแคนเตอร์ 676,149.12 ตัน ปริมาณเส้นใยปาล์ม 1,859,410.08 ตัน ปริมาณน้ำทิ้งจากการนึ่งปาล์ม 3,380,745.60 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ 5,916,304.80 ลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำทิ้งจากเครื่องทำบริสุทธิ์ 3,380,745.60 ลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 34) จะเห็นได้ว่า ปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีปริมาณมากพอสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อปรับปรุงดิน

ตารางที่ 34 ปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

วัสดุเหลือใช้	ปริมาณวัสดุเหลือใช้
ทะลายปาล์มเปล่า (ตัน)	3,380,745.60
กะลา (ตัน)	1,014,223.68
กากตะกอนจากเครื่องดีแคนเตอร์ (ตัน)	676,149.12
เส้นใยปาล์ม (ตัน)	1,859,410.08
น้ำทิ้งจากการนึ่งปาล์ม (ลูกบาศก์เมตร)	3,380,745.60
น้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ (ลูกบาศก์เมตร)	5,916,304.80
น้ำทิ้งจากเครื่องทำบริสุทธิ์ (ลูกบาศก์เมตร)	3,380,745.60

หมายเหตุ ประเมินปริมาณคำนวณจากปริมาณผลผลิตในฤดูการผลิตปี 2564

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2564)

จากการรวบรวมแหล่งที่ตั้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศไทย มีโรงงานกระจายทั่วทุกภาค จะเป็นแหล่งวัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้งที่เป็นของเหลว และของแข็งในพื้นที่ของแต่ละจังหวัดตามภาคของประเทศ แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 35 ดังนี้

ภาคเหนือ จำนวน 1 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 3 จังหวัด ได้แก่ หนองคาย
เลย และสกลนคร

ภาคกลาง จำนวน 10 จังหวัด ได้แก่ ปทุมธานี สมุทรสงคราม
นครปฐม สมุทรสาคร สมุทรปราการ นครสวรรค์ อุทัยธานี กาญจนบุรี เพชรบุรี และเพชรบูรณ์

ภาคตะวันออก จำนวน 5 จังหวัด ได้แก่ ตราด ระยอง
ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี และชลบุรี

ภาคใต้ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 13 จังหวัด ได้แก่ สุราษฎร์ธานี
กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช ตรัง พังงา ระนอง พัทลุง สงขลา นราธิวาส ปัตตานี สตูล และ
ประจวบคีรีขันธ์

สถานที่ตั้งแหล่งที่มาวัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ที่ภาคใต้ คิดเป็นสัดส่วน 92 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนโรงงานทั่วประเทศ จังหวัด ที่มีโรงงานตั้งอยู่มากที่สุด ได้แก่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และกระบี่

ตารางที่ 35 สถานที่ตั้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มตามรายภาคของประเทศไทย

ลำดับ	โรงงานสกัด (แห่ง)	โรงกลั่น (แห่ง)	สถานที่ตั้ง	ภาค
1	2	-	เชียงราย	เหนือ
2	1	-	หนองคาย	ตะวันออกเฉียงเหนือ
3	1	-	เลย	ตะวันออกเฉียงเหนือ
4	3	-	สกลนคร	ตะวันออกเฉียงเหนือ
5	-	1	ปทุมธานี	กลาง
6	-	-	สมุทรสงคราม	กลาง
7	-	2	สมุทรสาคร	กลาง
8	-	6	สมุทรปราการ	กลาง
9	-	1	นครปฐม	กลาง
10	1	-	นครสวรรค์	กลาง

ตารางที่ 35 (ต่อ)

ลำดับ	โรงงานสกัด (แห่ง)	โรงกลั่น (แห่ง)	สถานที่ตั้ง	ภาค
11	1	-	อุทัยธานี	กลาง
12	1	-	กาญจนบุรี	กลาง
13	1	-	เพชรบุรี	กลาง
14	1	1	เพชรบูรณ์	กลาง
15	3	-	ตราด	ตะวันออก
16	-	1	ระยอง	ตะวันออก
17	1	1	ฉะเชิงเทรา	ตะวันออก
18	-	-	ปราจีนบุรี	ตะวันออก
19	3	3	ชลบุรี	ตะวันออก
20	29	1	สุราษฎร์ธานี	ใต้
21	27	-	กระบี่	ใต้
22	32	2	ชุมพร	ใต้
23	9	-	นครศรีธรรมราช	ใต้
24	6	-	ตรัง	ใต้
25	4	-	พังงา	ใต้
26	3	-	ระนอง	ใต้
27	3	-	พัทลุง	ใต้
28	2	-	สงขลา	ใต้
29	1	-	นราธิวาส	ใต้
30	1	-	ปัตตานี	ใต้
31	4	-	สตูล	ใต้
32	9	3	ประจวบคีรีขันธ์	ใต้

ที่มา: ศูนย์ข้อมูลปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มทั้งระบบ (2566)

(3) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

(3.1) ชนิดและแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* (L.) Crantz.) โดย

องค์ประกอบมันสำปะหลังสด ประกอบด้วยน้ำ 60 - 65 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 30 - 35 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแร่ธาตุและวิตามินค่อนข้างต่ำ ผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังที่สำคัญ ได้แก่ มันเส้น และมันอัดเม็ด คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณมันสำปะหลังทั้งหมด ซึ่งกระบวนการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด วัตถุดิบที่ใช้ผลิต คือ แป้งมันสำปะหลัง มาจากมันสำปะหลังสดจะเกิดเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่เป็นของแข็ง คิดเป็นค่าสัดส่วนของวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้น ได้แก่ กากมันสำปะหลัง 20.93 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ เปลือกมันสำปะหลัง 1.83 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ เหน้งมัน 1.71 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ และ วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตจะเกิดขึ้น มีประมาณ 4.40 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัตถุดิบ (พูนสุข, 2558) (ตารางที่ 36)

ตารางที่ 36 ค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

วัสดุเหลือใช้	ค่าสัดส่วนวัสดุเหลือใช้
เปลือกมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)	20.93
กากมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)	1.83
เหน้งมัน (เปอร์เซ็นต์)	1.71
น้ำทิ้ง (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)	4.40

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก พูนสุข (2558)

(3.2) สถานการณ์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

จากรายงานปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังปี พ.ศ. 2565

มีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังทั้งประเทศ 34,068,005 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) เมื่อประเมินปริมาณวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่เกิดขึ้นจากการคูณผลผลิตมันสำปะหลัง 34,068,005 ตัน ด้วยค่าสัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดจากตารางที่ 36 พบว่า ปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ ปริมาณเปลือกมันสำปะหลัง 7,130,433.45 ตันต่อปี ปริมาณกากมันสำปะหลัง 623,444.49 ตันต่อปี ปริมาณเหน้งมัน 582,562.89 ตันต่อปี และปริมาณน้ำทิ้ง 149,899,222.00 ลูกบาศก์เมตรต่อตันต่อปี (ตารางที่ 37)

ตารางที่ 37 ปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งและของเหลวจากโรงงานแป่งมันสำปะหลัง

วัสดุเหลือใช้	ปริมาณวัสดุเหลือใช้
เปลือกมันสำปะหลัง (ตัน)	7,130,433.45
กากมันสำปะหลัง (ตัน)	623,444.49
เหง้ามัน (ตัน)	582,562.89
น้ำทิ้ง (ลูกบาศก์เมตร)	149,899,222.00

หมายเหตุ ประเมินจากปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังปี 2565

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2565)

ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานผลิตแป่งมันสำปะหลังขึ้นทะเบียนกับสมาคมแป่งมันสำปะหลัง ปี 2565 กว่า 100 โรงงาน แป่งมันสำปะหลังที่ผลิตได้ 54 เปอร์เซ็นต์ จะถูกส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ โรงงานผลิตแป่งมันสำปะหลังตั้งอยู่ในพื้นที่แหล่งปลูกมันสำปะหลังกระจายทั่วประเทศ ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด 60 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนโรงงานแป่งมันสำปะหลังทั่วประเทศ ตั้งอยู่ในจังหวัดนครราชสีมามากที่สุด 29 โรงงาน และจังหวัดกาฬสินธุ์ 18 โรงงาน รองลงมา คือ โรงงานแป่งมันสำปะหลังที่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออก ภาคเหนือ และภาคกลาง ตามลำดับ แสดงรายละเอียดสถานที่ตั้งโรงงานแป่งมันสำปะหลังตามรายภาคของประเทศไทยดังตารางที่ 38 ดังนี้

ภาคเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 14 โรงงาน ใน 6 จังหวัด ได้แก่ ตาก เพชรบูรณ์ อุตรดิตถ์ กำแพงเพชร อุทัยธานี และลำปาง

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 60 โรงงาน ใน 15 จังหวัด ได้แก่ นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ อำนาจเจริญ อุบลราชธานี กาฬสินธุ์ ขอนแก่น มหาสารคาม มุกดาหาร ร้อยเอ็ด สกลนคร อุตรธานี และเลย

ภาคกลาง มีสถานที่ตั้งโรงงาน 7 โรงงาน ใน 4 จังหวัด ได้แก่ ลพบุรี สระบุรี ราชบุรี และกาญจนบุรี

ภาคตะวันออก มีสถานที่ตั้งโรงงาน 19 โรงงาน ใน 5 จังหวัด ได้แก่ ชลบุรี ระยอง ฉะเชิงเทรา สระแก้ว และจันทบุรี

ตารางที่ 38 สถานที่ตั้งโรงงานแป่งมันสำปะหลังตามรายภาคของประเทศไทย

ลำดับ	จำนวนโรงงาน	สถานที่ตั้ง	ภาค
1	2	เพชรบูรณ์	เหนือ
2	(ใน 2 จังหวัด)	อุดรดิตถ์	เหนือ
3	12	กำแพงเพชร	เหนือ
4	(ใน 4 จังหวัด)	อุทัยธานี	เหนือ
5		ตาก	เหนือ
6		ลำปาง	เหนือ
7	29	นครราชสีมา	ตะวันออกเฉียงเหนือ
8	(ใน 4 จังหวัด)	ชัยภูมิ	ตะวันออกเฉียงเหนือ
9		บุรีรัมย์	ตะวันออกเฉียงเหนือ
10		สุรินทร์	ตะวันออกเฉียงเหนือ
11	7	ศรีสะเกษ	ตะวันออกเฉียงเหนือ
12	(ใน 3 จังหวัด)	อำนาจเจริญ	ตะวันออกเฉียงเหนือ
13		อุบลราชธานี	ตะวันออกเฉียงเหนือ
14	18	กาฬสินธุ์	ตะวันออกเฉียงเหนือ
15	(ใน 6 จังหวัด)	ขอนแก่น	ตะวันออกเฉียงเหนือ
16		มหาสารคาม	ตะวันออกเฉียงเหนือ
17		มุกดาหาร	ตะวันออกเฉียงเหนือ
18		ร้อยเอ็ด	ตะวันออกเฉียงเหนือ
19		สกลนคร	ตะวันออกเฉียงเหนือ
20	6	เลย	ตะวันออกเฉียงเหนือ
21	(ใน 2 จังหวัด)	อุดรธานี	ตะวันออกเฉียงเหนือ
22	4	ลพบุรี	กลาง
23	(ใน 2 จังหวัด)	สระบุรี	กลาง
24	3	ราชบุรี	กลาง
25	(ใน 2 จังหวัด)	กาญจนบุรี	กลาง
26	11	ชลบุรี	ตะวันออก
27	(ใน 3 จังหวัด)	ระยอง	ตะวันออก
28		ฉะเชิงเทรา	ตะวันออก

ตารางที่ 38 (ต่อ)

ลำดับ	จำนวนโรงงาน	สถานที่ตั้ง	ภาค
29	8	สระแก้ว	ตะวันออก
30	(ใน 2 จังหวัด)	จันทบุรี	ตะวันออก

ที่มา: สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย (2565)

(4) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องต้มแอลกอฮอล์

(4.1) ชนิดและแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องต้มแอลกอฮอล์

ชนิดของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องต้มแอลกอฮอล์ แต่ละชนิดมีสมบัติและองค์ประกอบที่ต่างกันตามประเภท ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิตของแต่ละโรงงาน ซึ่งสิ่งสำคัญในการพิจารณานำวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์ในทางการเกษตร คือ สมบัติทางเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของคุณค่าทางธาตุอาหารพืช และปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในวัสดุเหลือใช้ชนิดนั้น ๆ โดยแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องต้มแอลกอฮอล์ เช่น โรงงานผลิตเบียร์ ในขั้นตอนกระบวนการผลิตเบียร์จากการใช้เมล็ดธัญพืช และข้าวมอลต์ ซึ่งเป็นแหล่งเอนไซม์ แอลฟาอะไมเลส (alpha - amylase) บีตาอะไมเลส (beta - amylase) และเอนไซม์โปรตีเอส (protease) รวมทั้งสารประกอบที่ให้กลิ่นและสีแก่เบียร์ แบ่งถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลของผสมระหว่าง ข้าวมอลต์กับเมล็ดธัญพืช ผ่านเครื่องกรองแบบใช้แรงอัดเพื่อแยกกากเมล็ดออก ของเหลวที่ได้เรียกว่า วอร์ท (wort) ถูกบรรจุลงในถังหมัก แยกโปรตีนที่ไม่ต้องการออก และสามารถตกตะกอนจากการใช้ไดอะตอมมาเซียสเอิร์ท (diatomaceous earth) หลังจากนั้นของเหลวถูกส่งไปยังถังหมัก มีการเติมยีสต์ (yeast) เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์ กำจัดยีสต์ออกทำให้เย็นแล้วส่งเข้าถังหมัก นำมากรองแล้วเติมคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนบรรจุ ในกระบวนการผลิตเบียร์ และขั้นตอนการหมักเบียร์ มีวัสดุเหลือใช้เกิดขึ้น ได้แก่ กากเมล็ดธัญพืช ตะกอนโปรตีนที่แยกจากวอร์ท และกากของยีสต์ เป็นต้น (Muller, 1980) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานสุราแช่ชนิดไวน์และผลไม้ ได้แก่ กากเปลือกเมล็ดพืช กากของยีสต์ น้ำกากสำ และน้ำเสีย เป็นต้น และวัสดุเหลือใช้จากโรงงานสุราในประเทศไทย ในกระบวนการผลิตใช้วัตถุดิบจากปลายข้าว และกากน้ำตาล วัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้น คือ น้ำกากสำ (พูนสุข, 2558)

(4.2) สถานการณ์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องต้มแอลกอฮอล์

อุตสาหกรรมเครื่องต้มแอลกอฮอล์จัดเป็นอุตสาหกรรมใหญ่ และมีการขยายตัวต่อเนื่อง ซึ่งวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม

เครื่องต้มแอลกอฮอล์ จะเกิดปัญหาจากกระบวนการผลิตที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ จะประสบปัญหาเรื่องสีของน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่ยังคงมีสีน้ำตาลคล้ำ ไม่สามารถปล่อยทิ้งในแหล่งน้ำได้ แต่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ ซึ่งมีแหล่งวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตจากโรงงานสุรา ได้แก่ กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (activated sludge) มีปริมาณ 1,453 ตันต่อปี และโรงงานผลิตเบียร์จะเกิดวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิต ได้แก่ กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมีปริมาณ 118,800 ตันต่อปี และกากข้าวมอลต์มีปริมาณ 235,900 ตันต่อปี และโรงงานเอทานอลจะเกิดวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิต ได้แก่ กากตะกอนยีสต์มีปริมาณ 93,951 ตันต่อปี และน้ำกากส่ามีปริมาณ 14,614,600,000 ลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 39)

ตารางที่ 39 ปริมาณวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องต้มแอลกอฮอล์แต่ละชนิดในประเทศไทย

ชนิดโรงงาน	ประเภทวัสดุเหลือใช้	ปริมาณ (ตันต่อปี)
สุรา	activated sludge	1,453
เบียร์	activated sludge	118,800
	กากข้าวมอลต์ ¹	235,900
เอทานอล	กากตะกอนยีสต์	93,951
	น้ำกากส่า (ลูกบาศก์เมตร)	14,614,600,000

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก ชัยวัฒน์ (2559); ¹ดัดแปลงมาจาก นฤมล (2541)

โรงงานเครื่องต้มแอลกอฮอล์ในประเทศไทย มีที่ตั้งโรงงานกระจายอยู่ทั่วประเทศ โรงงานส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคกลางมากที่สุด 52.87 เปอร์เซ็นต์ของโรงงานเครื่องต้มแอลกอฮอล์ทั้งหมดของประเทศ รองลงมา คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก ภาคเหนือ และภาคใต้ แบ่งตามชนิดของวัตถุดิบ มีสถานที่ตั้งและแหล่งวัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องต้มแอลกอฮอล์ 4 ประเภท ได้แก่ ประเภทสุรากลั่น ประเภทโรงงานสุราแช่ชนิดเบียร์ ประเภทสุราแช่ชนิดไวน์และผลไม้ และโรงงานผลิตเอทานอล ดังนี้

(4.2.1) สถานที่ตั้งโรงงานสุรากลั่นตามรายภาคของประเทศไทย (ตารางที่ 40) มีรายละเอียดดังนี้

ภาคเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 2 โรงงาน ใน 2 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ และอุตรดิตถ์

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 7 โรงงาน
 ใน 7 จังหวัด ได้แก่ บุรีรัมย์ หนองคาย อุบลราชธานี ขอนแก่น เลย นครราชสีมา และอุดรธานี
 ภาคกลาง มีสถานที่ตั้งโรงงาน 16 โรงงาน ใน 7 จังหวัด
 ได้แก่ ปทุมธานี นครสวรรค์ ราชบุรี กาญจนบุรี นครปฐม สมุทรสาคร และฉะเชิงเทรา
 ภาคตะวันออก มีสถานที่ตั้งโรงงาน 2 โรงงาน ใน
 1 จังหวัด ได้แก่ ปราจีนบุรี
 ภาคใต้ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 1 โรงงาน ใน 1 จังหวัด
 ได้แก่ สุราษฎร์ธานี

ตารางที่ 40 สถานที่ตั้งโรงงานสุรากลั่นตามรายภาคของประเทศไทย

ลำดับ	บริษัท	สถานที่ตั้ง	ภาค
1	บริษัท ธนภักดี จำกัด	เชียงใหม่	เหนือ
2	บริษัท มงคลสมัย จำกัด	อุดรดิตถ์	เหนือ
3	บริษัท อธิมาตร จำกัด	บุรีรัมย์	ตะวันออกเฉียงเหนือ
4	บริษัท เทพอรุณทัย จำกัด	หนองคาย	ตะวันออกเฉียงเหนือ
5	บริษัท เอส เอส การสุรา จำกัด	อุบลราชธานี	ตะวันออกเฉียงเหนือ
6	บริษัท แก่นขวัญ จำกัด	ขอนแก่น	ตะวันออกเฉียงเหนือ
7	บริษัท ซี.พี.เค. อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	เลย	ตะวันออกเฉียงเหนือ
8	บริษัท รอยัล ไทเกอร์ ดิสทิลเลอรี จำกัด	นครราชสีมา	ตะวันออกเฉียงเหนือ
9	บริษัท อเบอร์ดีน เลอ อาฟวร์ จำกัด	อุดรธานี	ตะวันออกเฉียงเหนือ
10	บริษัท สุราบางยี่ขัน จำกัด	ปทุมธานี	กลาง
11	บริษัท สีมารุกิจ จำกัด	นครสวรรค์	กลาง
12	บริษัท หลักชัยค้าสุรา จำกัด	ราชบุรี	กลาง
13	บริษัท กาญจนสิงขร จำกัด	กาญจนบุรี	กลาง
14	บริษัท แสงโสม จำกัด	กาญจนบุรี	กลาง
15	บริษัท สุราพิเศษพิพราข จำกัด	กาญจนบุรี	กลาง
16	บริษัท ไทย ซานมิเกล ลิเคอร์ จำกัด	กาญจนบุรี	กลาง
17	บริษัท เจริญดีการสุรา 2005 จำกัด	กาญจนบุรี	กลาง
18	บริษัท ยูไนเต็ควาโนเอนร์ดิสทิลเลอรี จำกัด	นครปฐม	กลาง
19	บริษัท ประมวลผล จำกัด	นครปฐม	กลาง

ตารางที่ 40 (ต่อ)

ลำดับ	บริษัท	สถานที่ตั้ง	ภาค
20	บริษัท โรงงานสุราพิเศษสุวรรณภูมิ จำกัด	นครปฐม	กลาง
21	บริษัท แสงโสม จำกัด	นครปฐม	กลาง
22	บริษัท เพิ่มพูนไพศาล จำกัด	นครปฐม	กลาง
23	บริษัท ฉัตรชัย เมรีย จำกัด	นครปฐม	กลาง
24	องค์การสุรา กรมสรรพสามิต	ฉะเชิงเทรา	กลาง
25	บริษัท เฟื่องพูนันต์ จำกัด	ปราจีนบุรี	ตะวันออก
26	บริษัท นิวเวลล์ (ประเทศไทย) จำกัด	ปราจีนบุรี	ตะวันออก
27	บริษัท นทีชัย จำกัด	สุราษฎร์ธานี	ใต้

ที่มา: กรมสรรพสามิต (2557)

(4.2.2) สถานที่ตั้งโรงงานสุราแช่ชนิดเปียร์ตามรายภาคของประเทศไทย (ตารางที่ 41) มีรายละเอียดดังนี้

ภาคเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 2 โรงงาน ใน 2 จังหวัด ได้แก่ กำแพงเพชร และเชียงใหม่

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 3 โรงงาน ใน 2 จังหวัด ได้แก่ ขอนแก่น และนครราชสีมา

ภาคกลาง มีสถานที่ตั้งโรงงาน 12 โรงงาน ใน 5 จังหวัด ได้แก่ ปทุมธานี นนทบุรี พระนครศรีอยุธยา นครปฐม และกรุงเทพ

ภาคตะวันออก มีสถานที่ตั้งโรงงาน 3 โรงงาน ใน 1 จังหวัด ได้แก่ ชลบุรี

ภาคใต้ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 2 โรงงาน ใน 1 จังหวัด ได้แก่ ภูเก็ต

ตารางที่ 41 สถานที่ตั้งโรงงานสุราแช่ชนิดเบียร์ตามรายภาคของประเทศไทย

ลำดับ	บริษัท	สถานที่ตั้ง	ภาค
1	บริษัท เบียร์ไทย 1991 จำกัด (มหาชน)	กำแพงเพชร	เหนือ
2	บริษัท เชียงใหม่เบรูเออรี่ จำกัด	เชียงใหม่	เหนือ
3	บริษัท ขอนแก่นบริวเวอรี่ จำกัด	ขอนแก่น	ตะวันออกเฉียงเหนือ
4	บริษัท โรงแรมราชาออคิต จำกัด	ขอนแก่น	ตะวันออกเฉียงเหนือ
5	บริษัท ฮีฟเบียร์เออรี่ จำกัด	นครราชสีมา	ตะวันออกเฉียงเหนือ
6	บริษัท ปทุมธานี บริวเวอรี่ จำกัด	ปทุมธานี	กลาง
7	บริษัท ซาน มิเกล เบียร์ จำกัด	ปทุมธานี	กลาง
8	บริษัท เยอรมัน คันทรี จำกัด	ปทุมธานี	กลาง
9	บริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด	นนทบุรี	กลาง
10	บริษัท คอสโมส บริวเวอรี่ ประเทศไทย จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	กลาง
11	บริษัท เบียร์ทิพย์ บริวเวอรี่ 1991 จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	กลาง
12	บริษัท สิงห์ เบเวอเรจ จำกัด	นครปฐม	กลาง
13	บริษัท เดอะลอนดอน บริวเวอรี่ จำกัด	กรุงเทพ	กลาง
14	บริษัท โรงเบียร์ ฮอลแลนด์ จำกัด	กรุงเทพ	กลาง
15	บริษัท โรงเบียร์ ตะวันแดง จำกัด	กรุงเทพ	กลาง
16	บริษัท โอโตกมนตรีนเตอร์เทนเมนต์ จำกัด	กรุงเทพ	กลาง
17	บริษัท เอส คอมพานี 1933 จำกัด	กรุงเทพ	กลาง
18	บริษัท เบียร์เฟสต์ จำกัด	ชลบุรี	ตะวันออก
19	บริษัท ไมโคร - บริว เอเชีย จำกัด	ชลบุรี	ตะวันออก
20	บริษัท บริวเวอรี่ เออรี่ พัทยา จำกัด	ชลบุรี	ตะวันออก
21	บริษัท ฟลูมุนบริวเวอรี่ จำกัด	ภูเก็ต	ใต้
22	บริษัท โรงเบียร์ ภูเก็ต จำกัด	ภูเก็ต	ใต้

ที่มา: กรมสรรพสามิต (2557)

(4.2.3) สถานที่ตั้งโรงงานสุราแช่ชนิดไวน์และผลไม้ตามรายการภาคของประเทศไทย (ตารางที่ 42) มีรายละเอียดดังนี้

ภาคเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 4 โรงงาน ใน 2 จังหวัด ได้แก่ เพชรบูรณ์ และเชียงราย

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 3 โรงงาน ใน 2 จังหวัด ได้แก่ เลย และนครราชสีมา

ภาคกลาง มีสถานที่ตั้งโรงงาน 7 โรงงาน ใน 6 จังหวัด ได้แก่ นครปฐม สมุทรสาคร ปทุมธานี กาญจนบุรี พิจิตร และฉะเชิงเทรา

ภาคตะวันออก มีสถานที่ตั้งโรงงาน 2 โรงงาน ใน 2 จังหวัด ได้แก่ ระยอง และชลบุรี

ตารางที่ 42 สถานที่ตั้งโรงงานสุราแช่ชนิดไวน์และผลไม้ตามรายการภาคของประเทศไทย

ลำดับ	บริษัท	สถานที่ตั้ง	ภาค
1	บริษัท ฟิค อีเกิ้ล - วิโนเบลส์ รีอูนีสจำกัด	เพชรบูรณ์	เหนือ
2	บริษัท ทรัพย์สินแก้ว จำกัด	เพชรบูรณ์	เหนือ
3	บริษัท เชียงรายไวน์เนอร์ จำกัด	เชียงราย	เหนือ
4	บริษัท แม่จันไวน์เนอร์ จำกัด	เชียงราย	เหนือ
5	บริษัท เขาใหญ่ไวน์เนอร์ จำกัด	นครราชสีมา	ตะวันออกเฉียงเหนือ
6	บริษัท วิลเลจฟาร์มไวน์เนอร์ จำกัด	นครราชสีมา	ตะวันออกเฉียงเหนือ
7	บริษัท ซี.พี.เค. อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	เลย	ตะวันออกเฉียงเหนือ
8	บริษัท ยูไนเต็ดไวน์เนอร์ แอนด์ดีสทิลเลอร์ จำกัด	นครปฐม	กลาง
9	บริษัท เพิ่มพูนไพศาล จำกัด	นครปฐม	กลาง
10	บริษัท สยามไวน์เนอร์ จำกัด	สมุทรสาคร	กลาง
11	บริษัท ทิพทิพา จำกัด	ปทุมธานี	กลาง
12	บริษัท ฉัตรชัย เมรัย จำกัด	กาญจนบุรี	กลาง
13	บริษัท ชาละวัน ไวน์เนอร์ จำกัด	พิจิตร	กลาง
14	บริษัท ไทย สฟิรท์ อินดัสทรี จำกัด	ฉะเชิงเทรา	กลาง
15	บริษัท บี.เจ.การ์เด็น ไวน์เนอร์ จำกัด	ระยอง	ตะวันออก
16	บริษัท ซี.วาย.บอสส์ ฟู้ด จำกัด	ชลบุรี	ตะวันออก

ที่มา: กรมสรรพสามิต (2557)

(4.2.4) สถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลตามรายการของประเทศไทย ดังตารางที่ 43 มีรายละเอียดดังนี้

ภาคเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 1 โรงงานใน 1 จังหวัด ได้แก่ ตาก

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีสถานที่ตั้งโรงงานใน 6 โรงงาน ใน 4 จังหวัด ได้แก่ ขอนแก่น อุบลราชธานี กาฬสินธุ์ และชัยภูมิ

ภาคกลาง มีสถานที่ตั้งโรงงาน 12 โรงงาน ใน 9 จังหวัด ได้แก่ กาญจนบุรี นครสวรรค์ สุพรรณบุรี นครปฐม ราชบุรี สระบุรี พระนครศรีอยุธยา สระแก้ว และลพบุรี

ภาคตะวันออก มีสถานที่ตั้งโรงงาน 2 โรงงาน ใน 2 จังหวัด ได้แก่ ชลบุรี และปราจีนบุรี

ตารางที่ 43 สถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลตามรายการของประเทศไทย

ลำดับ	บริษัท	สถานที่ตั้ง	ภาค
1	บริษัท แม่สอดพลังงานสะอาด จำกัด	ตาก	เหนือ
2	บริษัท ไทยจ๊วน เอทานอล จำกัด	ขอนแก่น	ตะวันออกเฉียงเหนือ
3	บริษัท อุบล ไปโอ เอทานอล จำกัด	อุบลราชธานี	ตะวันออกเฉียงเหนือ
4	บริษัท มิตรผล ไปโอฟูเอล จำกัด	กาฬสินธุ์	ตะวันออกเฉียงเหนือ
5	บริษัท ขอนแก่นแอลกอฮอล์ จำกัด	ขอนแก่น	ตะวันออกเฉียงเหนือ
6	บริษัท มิตรผล ไปโอฟูเอล จำกัด	ชัยภูมิ	ตะวันออกเฉียงเหนือ
7	บริษัท เคไอเอทานอล จำกัด	นครราชสีมา	ตะวันออกเฉียงเหนือ
8	บริษัท น้ำตาลไทยเอทานอล จำกัด	กาญจนบุรี	กลาง
9	บริษัท เอกรัฐพัฒนา จำกัด	นครสวรรค์	กลาง
10	บริษัท มิตรผล ไปโอฟูเอล จำกัด	สุพรรณบุรี	กลาง
11	บริษัท ขอนแก่นแอลกอฮอล์ จำกัด	กาญจนบุรี	กลาง
12	บริษัท ไทยอะโกรเอนเนอร์จี จำกัด	สุพรรณบุรี	กลาง
13	บริษัท ไทยแอลกอฮอล์ จำกัด	นครปฐม	กลาง
14	บริษัท ราชบุรีเอทานอล จำกัด	ราชบุรี	กลาง
15	บริษัท ไทยรุ่งเรืองพลังงาน จำกัด	สระบุรี	กลาง
16	บริษัท อี เอส เพาเวอร์ จำกัด	สระบุรี	กลาง

ตารางที่ 43 (ต่อ)

ลำดับ	บริษัท	สถานที่ตั้ง	ภาค
17	บริษัท ไท่ผิง เอทานอล จำกัด	สระแก้ว	กลาง
18	บริษัท ทรัพย์ทิพย์ จำกัด	ลพบุรี	กลาง
19	บริษัท พรวิไล อินเตอร์เนชั่นแนล กรุ๊ป เทรดิง จำกัด	พระนครศรีอยุธยา	กลาง
20	บริษัท พี.เอส.ซี.สตาร์ช โปรดักส์ จำกัด	ชลบุรี	ตะวันออก
21	บริษัท อี 85 เอทานอล จำกัด	ปราจีนบุรี	ตะวันออก

ที่มา: กรมสรรพสามิต (2557)

(5) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

(5.1) ชนิดและแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลมีหลากหลายชนิด และองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ผลิตรภัณฑ์อาหารทะเลแปรรูป เช่น อาหารทะเลกระป๋อง อาหารทะเลแช่แข็ง อาหารทะเลตากแห้ง และอาหารทะเลแปรรูปอื่น ๆ มีอัตราการผลิต 140,000 ตันต่อปี โรงงานส่วนใหญ่กระจายอยู่ตามจังหวัดต่าง ๆ ที่ติดกับชายฝั่งทะเล มีวัสดุเหลือใช้ปริมาณ ตั้งแต่ 30 - 85 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ และกรรมวิธีการผลิต (พูนสุข, 2558) และ วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลที่มีปริมาณมากที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ได้แก่ วัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปอาหารทะเลประเภทกุ้ง และวัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปอาหารทะเลประเภทปลา

(5.1.1) วัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปอาหารทะเลประเภทกุ้ง ที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปจะเกิดวัสดุเหลือใช้ปริมาณมากถึง 40 - 80 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นปริมาณ วัสดุเหลือใช้ 135,000 ตันต่อปี (ตารางที่ 44) วัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้น ได้แก่ การแปรรูปกุ้งกุลาดำ 98 เปอร์เซ็นต์ ผลิตรังแช่แข็งมีประมาณ 270,000 ตันต่อปี ให้วัสดุเหลือทิ้งที่เป็นส่วนหัวกุ้ง 38 เปอร์เซ็นต์ เปลือกกุ้ง 7 เปอร์เซ็นต์ และหางกุ้ง 5 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นปริมาณวัสดุเหลือทิ้งสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับ 135,000 ตันต่อปี (สุมาลัย, 2541)

(5.1.2) วัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปอาหารทะเลประเภทปลา ที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปจะเกิดวัสดุเหลือใช้ปริมาณมากถึง 30 - 60 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็น

ปริมาณวัสดุเหลือใช้มากกว่า 600,000 ตันต่อปี เช่น วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลประเภทปลาทูแวก และปลาหลังเขียว มีปริมาณวัสดุเหลือใช้มากถึง 30 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นปริมาณวัสดุเหลือใช้ 40,000 ตันต่อปี และวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลประเภทปลาทูน่า มีปริมาณวัสดุเหลือใช้ 30 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นปริมาณวัสดุเหลือใช้มากถึง 1,500 - 2,000 ตันต่อปี (ตารางที่ 44) ขณะที่โรงงานปลากระป๋องมีวัสดุเหลือใช้เกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบจากกระบวนการผลิต เช่น การผลิตปลาทูน่ากระป๋องมีวัสดุเหลือใช้ประกอบด้วยเนื้อปลา 35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เป็นหัวปลา หางปลา ก้างปลา และหนังปลา 28 - 30 เปอร์เซ็นต์ ใส้ปลา 5 - 7 เปอร์เซ็นต์ และเลือดปลา 10 - 12 เปอร์เซ็นต์ มีวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็ง 25 - 30 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ และวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของเหลว 30 - 35 เปอร์เซ็นต์ (Prasertsan *et al.*, 1988)

ตารางที่ 44 สัดส่วนและปริมาณวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

วัสดุเหลือใช้	สัดส่วนวัสดุเหลือใช้ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ (ตันต่อปี)
ก้าง	40 - 80	135,000
ปลา	30 - 60	มากกว่า 600,000
ปลาทูแวก/ปลาหลังเขียว	30	40,000
ปลาทูน่า	30	1,500 - 2,000

ที่มา: Prasertsan *et al.* (1988)

(5.2) สถานการณ์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

โรงงานแปรรูปอาหารทะเลเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศ แบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก ประกอบด้วยอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เย็นแช่แข็ง เป็นการแปรรูปสัตว์น้ำขึ้นต้น โดยอาศัยความประณีตของแรงงานในการตัดแต่งสัตว์น้ำ ก่อนนำไปผ่านกระบวนการแช่แข็ง เพื่อคงคุณภาพ และยืดอายุการเก็บรักษาสัตว์น้ำ และอุตสาหกรรมอาหารทะเลกระป๋อง และปิ้งสุก เป็นการแปรรูปสัตว์น้ำด้วยวิธีการปิ้งสุก เป็นผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมรับประทานที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ปลาทูน่ากระป๋อง 38.60 เปอร์เซ็นต์ กุ้งแช่เย็นแช่แข็ง 13.10 เปอร์เซ็นต์ กุ้งปิ้งสุก 9.50 เปอร์เซ็นต์ ปลาหมึกแช่เย็นแช่แข็ง 5.60 เปอร์เซ็นต์ ปลาปิ้งสุก หรือปลาปิ้งรส 5.50 เปอร์เซ็นต์ และเนื้อปลาแช่เย็นแช่แข็ง 4.40 เปอร์เซ็นต์ของมูลค่าส่งออกอาหารทะเลแปรรูปรวมของไทย (ชัยวิช, 2562) โดยแหล่งที่ตั้งโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

ส่วนใหญ่กระจายอยู่ตามจังหวัดต่าง ๆ ที่ติดกับชายฝั่งทะเล พบมากที่สุดในภาคใต้ 31 โรงงาน รองลงมา คือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก แสดงสถานที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแปรรูปตามรายภาคของประเทศไทย (กรมประมง, 2566) ดังตารางที่ 45 มีรายละเอียดดังนี้

ภาคกลาง มีสถานที่ตั้งโรงงาน 25 โรงงาน ใน 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสมุทรสาคร มากที่สุด จำนวน 20 โรงงาน สมุทรสงคราม สมุทรปราการ สุพรรณบุรี และนครปฐม

ภาคตะวันออก มีสถานที่ตั้งโรงงาน 3 โรงงาน ใน 2 จังหวัด ได้แก่ ชลบุรี และตราด

ภาคใต้ มีสถานที่ตั้งโรงงาน 31 โรงงาน ใน 7 จังหวัด ได้แก่ สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ระนอง สงขลา ชุมพร ตรัง และปัตตานี

ตารางที่ 45 สถานที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแปรรูปตามรายภาคของประเทศไทย

ลำดับ	ประเภท	จังหวัด	ภาค
1	หอยลายต้ม	สมุทรสาคร	กลาง
2	กุ้ง	สมุทรสาคร	กลาง
3	กุ้งแช่แข็ง	สมุทรสาคร	กลาง
4	หมึก	สมุทรสาคร	กลาง
5	กะปิ และกุ้งแห้ง	สมุทรสาคร	กลาง
6	หมึก	สมุทรสาคร	กลาง
7	ปลาแช่แข็ง	สมุทรสาคร	กลาง
8	กุ้ง	สมุทรสาคร	กลาง
9	หมึก	สมุทรสาคร	กลาง
10	ทูน่าลอยด์	สมุทรสาคร	กลาง
11	กุ้ง	สมุทรสาคร	กลาง
12	กุ้ง	สมุทรสาคร	กลาง
13	หมึก	สมุทรสาคร	กลาง
14	ปลาทูน่านึ่งสุกแช่แข็ง	สมุทรสาคร	กลาง
15	กุ้งแปรรูปแช่แข็ง	สมุทรสาคร	กลาง
16	กะปิ	สมุทรสาคร	กลาง
17	ปลาซาดีน ปลาแมคเคอเรล	สมุทรสาคร	กลาง

ตารางที่ 45 (ต่อ)

ลำดับ	ประเภท	จังหวัด	ภาค
18	ปลาซาตินแปรรูปแช่แข็ง	สมุทรสาคร	กลาง
19	กุ้งแปรรูปแช่แข็ง	สมุทรสาคร	กลาง
20	ปลาทูน่านิ่งสุกแช่แข็ง	สมุทรสาคร	กลาง
21	หอยลายต้มแช่เย็น	สมุทรสงคราม	กลาง
22	หอยแมลงภู่ม้วนสุก	สมุทรปราการ	กลาง
23	หอยแมลงภู่ม้วนสุก	สมุทรปราการ	กลาง
24	ปลาสดย่างรมควัน	สุพรรณบุรี	กลาง
25	ปลาหมึกอบแห้ง	นครปฐม	กลาง
26	เนื้อหอยนางรมตองเกลือ เนื้อหอยนางรมแช่แข็ง	ชลบุรี	ตะวันออก
27	ปูม้าต้มสุกแกะเนื้อ	ตราด	ตะวันออก
28	เนื้อหอยนางรมตองเกลือ	ชลบุรี	ตะวันออก
29	หอยลายแช่เย็น	สุราษฎร์ธานี	ใต้
30	เนื้อปูม้าแช่เย็น และกุ้งทะเลแช่เย็น	สุราษฎร์ธานี	ใต้
31	ต้ม/แกะ ปู	สุราษฎร์ธานี	ใต้
32	ปูม้าต้มแช่แข็ง	สุราษฎร์ธานี	ใต้
33	ปูต้มแช่เย็น	สุราษฎร์ธานี	ใต้
34	ปูม้าต้มแช่เย็น	สุราษฎร์ธานี	ใต้
35	กุ้งทราย หมึกกล้วย ปลาทรายแดง	นครศรีธรรมราช	ใต้
36	เนื้อปูม้าแช่เย็น	นครศรีธรรมราช	ใต้
37	กุ้งแปรรูปแช่เย็น	นครศรีธรรมราช	ใต้
38	กุ้งทราย ลวก แกะเนื้อแช่เย็น	นครศรีธรรมราช	ใต้
39	กุ้งแปรรูปแช่เย็น	ระนอง	ใต้
40	กุ้งทราย ปลาลิ้นหมา หมึกกล้วยแปรรูปแช่เย็น	ระนอง	ใต้
41	เนื้อปูม้าแช่เย็น	ระนอง	ใต้
42	ปูนิ้มแช่เยือกแข็ง	ระนอง	ใต้
43	หมึกกล้วย กุ้งขาว ปลาวานาไมด์ ปลาทุแปรรูปแช่เย็น	ระนอง	ใต้
44	แมงกะพรุนตองเกลือ	ระนอง	ใต้

ตารางที่ 45 (ต่อ)

ลำดับ	ประเภท	จังหวัด	ภาค
45	ปลาตัดหัว	สงขลา	ใต้
46	หมึก	สงขลา	ใต้
47	หมึกลอกขาวแช่เย็น ปลาตัดหัวแช่เย็น	สงขลา	ใต้
48	ทูน่านิ่ง ชูตสะอาดแช่เย็น ปลาซาติน และปลาแมคเคอเรลแปรรูปแช่เย็น	ชุมพร	ใต้
49	เนื้อปูม้าแช่เย็น	ชุมพร	ใต้
50	ปลาซาติน ปลาแมคเคอเรล	ชุมพร	ใต้
51	ปลาซาติน ปลาแมคเคอเรล	ชุมพร	ใต้
52	ปลากะตักแห้ง	ชุมพร	ใต้
53	ปลาตัดหัวแช่เย็น	ตรัง	ใต้
54	ปลาตัดหัวแช่เย็น	ตรัง	ใต้
55	ปลาตัดหัวแช่เย็น	ตรัง	ใต้
56	ปลาตัดหัวแช่เย็น	ปัตตานี	ใต้
57	ปลาตัดหัวแช่เย็น	ปัตตานี	ใต้
58	ปูม้าต้มสุกทั้งตัวแช่เย็น	ปัตตานี	ใต้
59	ปลาตัดหัวแช่เย็น	ปัตตานี	ใต้

ที่มา: กรมประมง (2566)

(6) สภาพปัญหาที่เกิดจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร

วัสดุเศษเหลือที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนกระบวนการผลิตในโรงงาน อุตสาหกรรมเกษตร แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง ของเหลว (น้ำเสีย) และ ก๊าซ (เช่น ไอน้ำและความร้อน) วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งและของเหลวมีองค์ประกอบหลักเป็น สารอินทรีย์ ได้แก่ कारโบไฮเดรต น้ำตาล โปรตีน และไขมัน รวมทั้งแร่ธาตุต่าง ๆ ในแต่ละโรงงาน มีวิธีการจัดการของเสียที่แตกต่างกัน เช่น การนำวัสดุเศษเหลือประเภทของแข็งรวบรวมในลานตาก หรือพื้นที่โล่งกลางแจ้ง ส่วนวัสดุเศษเหลือประเภทของเหลวรวบรวมในบ่อบำบัดก่อนปล่อยลงสู่ แหล่งน้ำธรรมชาติ ในโรงงานที่มีกำลังการผลิตมากจะเกิดการสะสมของวัสดุเหลือใช้เหล่านี้ในพื้นที่ ปริมาณมาก จะเกิดปัญหาด้านกลิ่นเหม็น และปัญหาสิ่งแวดล้อม ในหลายโรงงานกำจัดวัสดุเหลือใช้

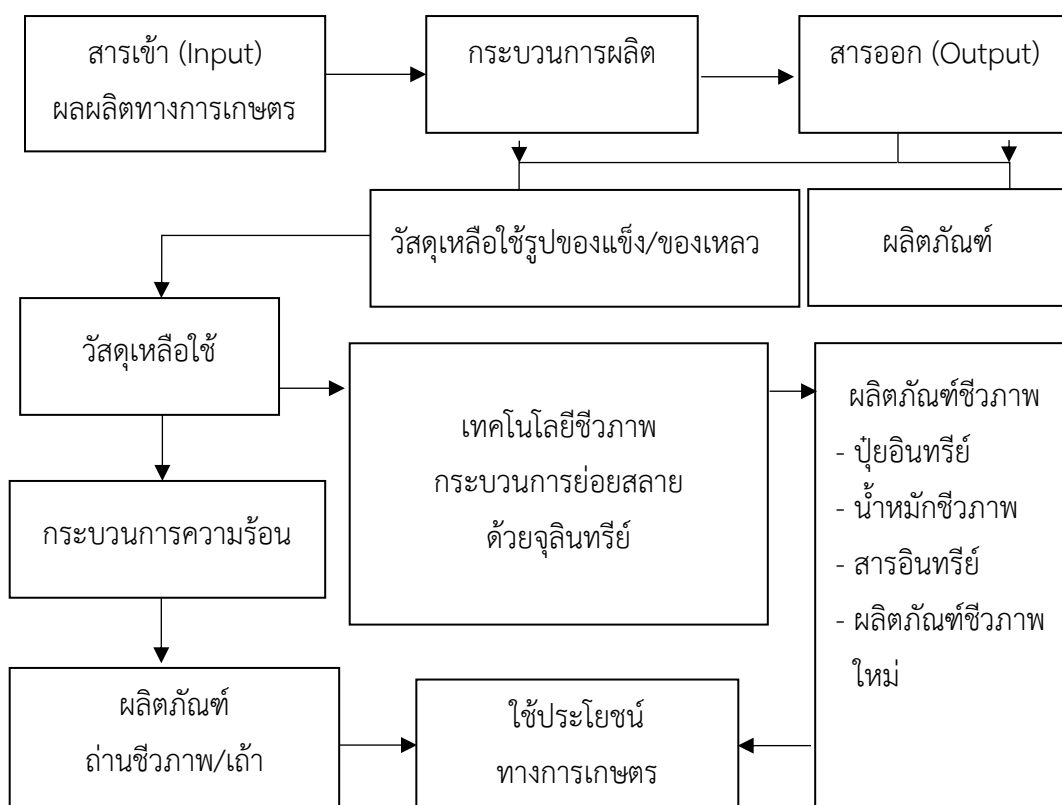
ทั้งของแข็งและของเหลวด้วยการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ซึ่งมีต้นทุนต่ำในการกำจัดของเสียเหล่านี้ ถ้าหากนำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการจัดการไม่ถูกต้องจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน และสิ่งที่เป็นอุปสรรคขวางกั้นการนำวัสดุเศษเหลือมาใช้ให้เกิดประโยชน์ คือ การขาดความรู้ความเข้าใจถึงผลประโยชน์ของการนำวัสดุเหลือใช้ชนิดต่าง ๆ และข้อจำกัดของการใช้ประโยชน์ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในวัสดุเหลือใช้ คุณภาพของวัตถุดิบ เทคโนโลยีการนำไปใช้ประโยชน์ รวมถึงการขนส่งวัสดุเหลือใช้ไปใช้ประโยชน์ โดยข้อจำกัดของการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ อย่างคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ดังนี้

- (6.1) แหล่งวัสดุเศษเหลือ เนื่องจากวัสดุเศษเหลือเป็นช่วงฤดูกาล และมีแหล่งวัสดุเศษเหลือกระจายกระจัดกระจาย ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่ง
- (6.2) คุณภาพของวัสดุเศษเหลือ มีความหลากหลาย และมักเกิดการเน่าเสียหากใช้ระยะเวลานาน
- (6.3) ขาดเทคโนโลยีที่เหมาะสม และข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการทางเทคนิค
- (6.4) ไม่มีแรงจูงใจในการนำมาใช้ประโยชน์
- (6.5) โครงสร้างของอุตสาหกรรมที่ไม่เอื้ออำนวยกับการนำวัสดุเศษเหลือมาใช้ประโยชน์
- (6.6) ขาดต้นทุน หรือกำลังคน ในการวิจัยและพัฒนาด้านการใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือ

นอกจากนี้การพิจารณานำวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยต้องคำนึงถึงโลหะหนักที่อาจปนเปื้อนอยู่ในวัสดุนั้น ๆ เช่น แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท เป็นต้น ที่ต้องการผ่านมาตรฐาน Total Threshold Limit Concentration (TTLC) เกณฑ์ของกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2566 อีกทั้งควรพิจารณาถึงสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ และควรพิจารณาถึงความใกล้เคียงจากแหล่งของวัสดุเหลือใช้ว่าคุ้มค่าหรือไม่ จากต้นทุนค่าขนส่งที่จะนำวัสดุเหลือใช้จากแหล่งหนึ่งไปใช้ประโยชน์ในอีกแหล่งหนึ่ง (ชัยสิทธิ์, 2563)

- (7) การนำวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร
- แนวทางการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งจากข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิด และสถานการณ์ปริมาณวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรแต่ละประเภทที่เกิดขึ้น ทำให้เห็นถึงศักยภาพของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และผลิตภัณฑ์ชีวภาพใหม่ ด้วยลักษณะของวัสดุเหลือใช้ชนิดต่าง ๆ ที่สามารถแปรสภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายจากกิจกรรมจุลินทรีย์ และสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพชนิดใหม่ ซึ่งกระบวนการทางชีวภาพก่อให้เกิดการหมุนเวียนทรัพยากรจาก

วัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางการเกษตร สร้างมูลค่า และให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงขึ้น (ภาพที่ 13) อาจเป็นประโยชน์ในระยะยาว หรือเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ในอนาคต ดังนั้นควรมีมาตรการที่เหมาะสมจากภาครัฐในการสนับสนุนนวัตกรรมและเทคโนโลยีจากการนำวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรมาใช้ประโยชน์ จะช่วยให้การดำเนินการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และต้องได้รับการสนับสนุนจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรในการนำวัสดุเหลือใช้ทั้งอยู่ในรูปของแข็งและของเหลวมาใช้ประโยชน์ หากไม่มีการจัดการนำมาใช้ประโยชน์ เมื่อค่าน้ำในแง่เศรษฐกิจทรัพยากรเหล่านั้นก็จะสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นการใช้ทรัพยากรเหล่านี้ให้มีประโยชน์ทั้งในแง่การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ จากการใช้วิธีการทางชีวภาพ เช่น การหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ น้ำหมักชีวภาพ หรือผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ใหม่ กับวิธีการที่ไม่ใช่ทางชีวภาพ เช่น การเผาวัสดุเหลือใช้ด้วยความร้อน ล้วนแต่เป็นวิธีที่ใช้วัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อการปรับปรุงบำรุงดิน นำมาใช้ประโยชน์แทนการมองเป็น "ของเสีย" ที่ต้องกำจัด



ภาพที่ 13 แผนผังการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก พูนสุข (2558)

(7.1) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพ กระบวนการในการแปรสภาพด้วยจุลินทรีย์ได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความคุ้มค่า หรือเพิ่มมูลค่าเพื่อการปรับปรุงดิน จากการประยุกต์ใช้ 3 แขนงของเทคโนโลยีชีวภาพ (Smith, 1981) ได้แก่

(7.1.1) เทคโนโลยีการหมัก ได้แก่ การไถกลบ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ และสารอินทรีย์

(7.1.2) ผลิตภัณฑ์ชีวภาพใหม่ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เอนไซม์ ผลิตภัณฑ์เซลล์โปรตีน และผลิตภัณฑ์ชีวภาพ

(7.1.3) เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ถ่านชีวภาพ ใช้ประโยชน์เพื่อการปรับปรุงดิน และกักเก็บคาร์บอนในดิน

(7.2) ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร ปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินการเก็บเกี่ยวทรัพยากรมาใช้ให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ และผลสำเร็จนั้นจะต้องพิจารณาปัจจัย ดังต่อไปนี้ (พูนสุข, 2558)

(7.2.1) ปริมาณและองค์ประกอบของวัสดุเศษเหลือ

(7.2.2) ตลาดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้

(7.2.3) เทคโนโลยีที่เหมาะสม

(7.2.4) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

(7.2.5) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน และค่าใช้จ่ายในการหาแหล่งทุน

(7.2.6) ท่าเลที่ตั้ง

(7.2.7) การได้วัสดุเศษเหลืออย่างเพียงพอ เพื่อเป็นวัตถุดิบ

(7.2.8) วิธีการจัดการสิ่งจัดการยากมีองค์ประกอบแตกต่างกัน

ในแต่ละแห่ง และแต่ละฤดูกาล ความแก่อ่อนของวัตถุดิบ ปริมาณและความเข้มข้นของวัสดุเหลือใช้มีความไม่แน่นอน รวมทั้งการจัดการเกี่ยวกับกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นอุปสรรคหนึ่งในการบริหารการใช้ประโยชน์

(7.3) แนวโน้มการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่า (พูนสุข, 2558) ดังนี้

(7.3.1) การใช้ประโยชน์ในแง่การเป็นพลังงาน

(7.3.2) ปรับปรุงเทคนิคในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวเป็นโปรตีน

(7.3.3) งานวิจัยเน้นการผลิตประสิทธิภาพ และการยอมรับการนำไปใช้ประโยชน์มีขั้นตอนน้อย และแบบง่าย

(7.3.4) ควรกระตุ้นการนำไปใช้ประโยชน์จะเป็นการป้องกันมลภาวะสิ่งแวดล้อม

3) สมบัติของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

(1) สมบัติของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากเศษพืช

เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากเศษพืชมีองค์ประกอบทางเคมีมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดพืช ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม องค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ คาร์บอน และค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซึ่งค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีความสำคัญเป็นค่าที่บ่งชี้ว่า วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดนั้น มีอัตราการย่อยสลายได้ง่ายหรือยาก โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนจนกระทั่งได้โมเลกุลขนาดเล็ก และนำเข้าไปในเซลล์ใช้เป็นแหล่งของพลังงานและแหล่งของคาร์บอนที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญ สำหรับสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายเช่นกัน และเซลล์ของจุลินทรีย์จะนำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนสร้างส่วนประกอบของเซลล์ที่ส่วนใหญ่เป็นโปรตีน และกรดนิวคลีอิก มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยปกติเซลล์ของจุลินทรีย์มีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ประมาณ 10 - 15 หมายความว่า การที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปใช้ในเซลล์ 10 - 15 หน่วย ต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย ทำให้เกิดความสมดุลของสารประกอบทั้งสองในเซลล์ และจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี (Alexander, 1977) ดังนั้นการนำวัสดุเหลือใช้ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น การทำปุ๋ยหมักต้องพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษวัสดุนั้น ๆ เศษพืชโดยทั่วไปมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ใกล้เคียงกัน ทำให้กิจกรรมการย่อยสลายของวัสดุหมักอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในกระบวนการหมักปุ๋ย ควรมีค่าเริ่มต้นที่ 30 - 50 : 1 (Thambirajah and Kuthubutheen, 1989) ซึ่งวัสดุอินทรีย์จากเศษพืชบางชนิดมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมากกว่า 100 : 1 เช่น ชี้อ้อย แกลบ และขุยมะพร้าว เป็นต้น มีผลต่ออัตราการย่อยสลายต่ำ เนื่องจากในกระบวนการหมักจุลินทรีย์จะย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอน และใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้กิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอน หากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูงมาก ๆ จะต้องทำการเติมสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของปุ๋ยเคมี หรือสารอินทรีย์ที่มีแหล่งไนโตรเจนประกอบอยู่ เช่น น้ำหมักจากปลา และมูลสัตว์ ที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนสูง เป็นต้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข) เพื่อช่วยลดให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำลง (Tiquia and Tam, 2000; Ruggieri *et al.*, 2008) โดยข้อมูลสมบัติของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากเศษพืชแต่ละชนิด แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 46

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่มีปริมาณค่อนข้างคงที่ และมากพอ สำหรับการบำรุงดินเพิ่มแหล่งอินทรีย์วัตถุในพื้นที่เกษตร ซึ่งวัสดุอินทรีย์ดังกล่าวไม่ว่าจะใส่ลงในพื้นที่โดยตรง หรือแปรสภาพก่อน เช่น ปุ๋ยหมัก ต้องอาศัยกระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในดิน ภายหลังจากการเกิดขึ้นตอนการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ ทำให้

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีระดับลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ดินใช้น้ำตาลกลูโคส ที่ได้จากการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ทำให้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งระเหยออกสู่บรรยากาศ จึงมีผลต่อการลดลงของคาร์บอนในดิน ซึ่งสารประกอบคาร์บอนมีความสัมพันธ์ต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินได้โดยตรง หรือมีการปรุงแต่งผสมกับวัสดุชนิดอื่น ๆ ด้วยวิธีการต่าง ๆ ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบสารบำรุงดิน

ตารางที่ 46 สมบัติของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากเศษพืชแต่ละชนิด

ชนิดวัสดุ	ธาตุอาหาร (เปอร์เซ็นต์)				C/N ratio
	N	P	K	C	
ต้นถั่วเขียว	2.18	0.28	2.00	47.19	22.45
เปลือกถั่วลิสง	0.73	-	-	58.39	75.00
ผักตบชวา	1.68	0.26	4.05	41.48	24.69
ทะลายปาล์ม	1.28	0.16	0.90	47.76	37.31
ต้นข้าวโพด	1.29	0.25	0.79	48.98	40.31
ใบอ้อย	1.07	0.26	1.28	48.87	45.67
เศษมันสำปะหลัง	1.20	0.20	0.81	44.86	50.52
เปลือกแห้ง	0.59	0.19	0.77	31.52	53.00
เหง้า	1.48	0.48	1.01	54.49	37.00
ฟางข้าว	0.87	0.14	1.05	44.00	50.57
เศษสับประรดโรงงาน	0.95	0.16	1.16	48.34	55.37
ใบสด	1.12	0.48	2.64	53.84	48.00
เปลือกยูคาลิปตัส	0.57	0.10	0.62	44.94	78.84
กากอ้อย	0.31	0.13	0.44	53.54	179.68
ซังข้าวโพด	0.43	0.13	0.59	49.38	114.83
ขี้เลื่อย	0.30	0.09	0.36	56.30	209.64
ขุยมะพร้าว	0.35	0.05	0.58	48.21	140.22
แกลบ	0.35	0.08	1.52	53.30	158.36
ขี้เลื่อยไม้ยาง	0.19	0.36	0.40	58.41	307.00

ที่มา: ปรับปรุงมาจากพิทยากร และ ฉวีวรรณ (2541) และกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน (2558ข)

(2) สมบัติของมูลสัตว์

สมบัติทางเคมีของมูลสัตว์แต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับคุณภาพอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดแตกต่างกัน ในระบบการย่อยอาหารของสัตว์สามารถดูดซึมสารอาหารไปได้เพียงบางส่วน ที่เหลือจะออกมาพร้อมกับสิ่งขับถ่าย กล่าวคือ ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจน 80 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัส และ 90 เปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียม ในอาหารจะตกค้างอยู่ในมูลที่ขับถ่าย และสิ่งขับถ่ายของสัตว์มีทั้งของแข็งและของเหลว (ปัสสาวะ) โดยประมาณครึ่งหนึ่งของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสเกือบทั้งหมด และสองในห้าส่วนของโพแทสเซียมพบอยู่ในสิ่งขับถ่ายที่เป็นของแข็ง สำหรับปัสสาวะแม้จะมีธาตุอาหารบางธาตุน้อยกว่า แต่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า จากผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักในมูลสัตว์ ประกอบด้วย ไนโตรเจน 2.0 - 5.0 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.5 - 2.0 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 1.0 - 3.0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจุลธาตุบางธาตุ เช่น เหล็ก และสังกะสี จะมีความสูงหากมีการผสมสารประกอบของธาตุนี้อลงไปในอาหารสัตว์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ปุ๋ยจากมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ เป็นแหล่งสำคัญของธาตุอาหารพืช (ยงยุทธ และคณะ, 2551) องค์ประกอบทางเคมีของมูลสัตว์ทั้งชนิดต่าง ๆ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 47 โดยมูลสัตว์ เช่น มูลโค มูลกระบือ และมูลแพะ เป็นต้น จะมีองค์ประกอบของธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ปริมาณต่ำกว่ามูลสัตว์เลี้ยงที่ให้อาหารเสริม เช่น มูลสุกร มูลไก่ และมูลนกกระทา เป็นต้น มูลสัตว์ทุกชนิดมีคุณสมบัติในการบำรุงดิน เช่น ปุ๋ยคอก หรือเป็นส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยหมัก และการผลิตน้ำสกัดมูลสัตว์ เป็นต้น การใช้ประโยชน์ปุ๋ยคอกจะมีทั้งจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ต่าง ๆ มากมาย มีทั้งพวกที่มีอิวมัส มีวิตามิน และฮอร์โมนพืช เช่น กรดอะมิโน (amino acid) เช่น ไทอามีน (thiamine) ไบโอติน (biotin) และไพริดอกซิน (pyridoxine) ในปุ๋ยคอกจากมูลสัตว์แต่ละชนิดจะมีปริมาณธาตุอาหารพืชแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นธาตุอาหารหลักขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการด้วยกัน คือ สภาพของการสะสมปุ๋ยคอก อาหารที่สัตว์กิน อายุของสัตว์ และสภาพการเก็บรักษา โดยทั่วไปแล้วปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอกจะมีสัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งปริมาณไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณโพแทสเซียม แต่ในสัตว์บางชนิด ได้แก่ สัตว์ปีกบางชนิดจะมีปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยคอกสูง (ธงชัย, 2546)

การใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์ สามารถเลือกชนิดของมูลสัตว์ที่มีในพื้นที่ตามรายภาค หรือการหาแหล่งมูลสัตว์แต่ละชนิดที่ต้องการจากข้อมูลแหล่งมูลสัตว์ในพื้นที่แต่ละจังหวัด ซึ่งปริมาณค่อนข้างคงที่และมากพอที่นำมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่เพาะปลูก การใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบต่อน้ำและสิ่งแวดล้อม ต้องใช้เทคโนโลยีการปรับสภาพมูลสัตว์ให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ปุ๋ยคอก และปุ๋ยคอกเหลว มีทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ จะปลดปล่อยธาตุอาหารพืชให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ มีคุณสมบัติในการปรับปรุงดินด้านสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน จากข้อมูลปริมาณมูลสัตว์

ชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นรายจังหวัดตามภาคของประเทศ หากมีการจัดการที่ดีและเหมาะสมจะช่วยให้เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงดิน และผลผลิตพืชมากยิ่งขึ้น อีกทั้งข้อมูลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการทราบถึงสมบัติของวัสดุแต่ละชนิด เพื่อใช้พิจารณากำหนดแนวทางการใช้ประโยชน์โดยตรง หรือการใช้วัสดุสักร่วมกับวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่น ๆ ในการเพิ่มคุณภาพ เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุในการบำรุงดิน การเจริญเติบโต และผลผลิตพืช ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับพื้นที่

ตารางที่ 47 องค์ประกอบทางเคมีของมูลสัตว์แห้งชนิดต่าง ๆ

ชนิดมูลสัตว์	pH	ธาตุอาหารหลัก (เปอร์เซ็นต์)			ธาตุอาหารรอง (เปอร์เซ็นต์)			จุลธาตุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Cl	Na
มูลโค (ใหม่)	10.4	1.95	1.76	0.43	1.817	0.556	0.070	4,630	670	190	32	54	-	9,740	3.120
มูลโค (เก่า)	8.7	1.73	0.49	0.30	0.552	0.223	0.050	4,630	840	87	29	26	-	1,600	0.537
มูลกระบือ (เก่า)	8.7	1.82	1.92	0.12	2.060	0.740	0.517	14,500	722	300	52	51	-	12,200	2,187
มูลสุกร (เก่า)	6.9	2.38	16.25	0.11	8.110	2.420	0.144	8,500	970	2,600	1,650	63	20	1,270	0.711
มูลไก่ไข่	7.5	2.28	5.91	3.02	12.100	1.070	0.674	9,500	916	1,190	87	32	-	8,110	1,988
มูลไก่เนื้อ (ใหม่)	8.0	2.65	2.69	1.85	2.180	0.512	0.178	2,240	460	310	58	64	10	3,160	1,289
มูลไก่เนื้อ (เก่า)	8.2	2.09	6.07	0.42	11.300	0.860	0.680	1,850	670	1,040	32	64	-	10,300	2,504
มูลแพะ	-	1.03	0.66	0.64	1.490	0.370	0.370	0.14	210.88	125.64	24.78	-	-	-	0.130
มูลแกะ	-	0.94	0.54	1.07	1.230	0.340	0.190	0.11	205.28	103.53	21.01	-	-	-	0.200
มูลค่างคาว	7.5	3.32	13.95	0.29	18.010	0.480	0.280	22,100	3,800	9,900	4,200	100	-	330	-
มูลเป็ด ¹	-	2.21	4.81	2.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
มูลนกกระทา ²	-	4.10	3.70	2.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (ม.ป.ป.); ¹กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน (2558ข); ²กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2554)

4) สมบัติของวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร

วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร 5 ประเภท ได้แก่ วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำมันปาล์ม วัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องตีแอลกอฮอล์ และวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล มีปริมาณของวัสดุเหลือใช้ที่แน่นอนและมีมากพอที่จะใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิตได้สม่ำเสมอ นำมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน จากการนำจุดเด่นของแหล่งวัสดุเหลือใช้ที่มีปริมาณมาก มีธาตุอาหาร และอินทรีย์วัตถุสูงเหมาะสำหรับการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ดังนี้

(1) สมบัติของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล

(1.1) ชานอ้อย (bagasse) เป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาลที่มีปริมาณมาก มีปริมาณ 29.16 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณผลผลิตอ้อย มีองค์ประกอบของเส้นใยจริง (true fiber) และชุยชานอ้อย (pith) มีสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดี สามารถดูดซึมน้ำได้หลายเท่าของน้ำหนักของมัน แต่การใช้ประโยชน์ยังไม่แพร่หลาย ส่วนมากจะนำไปใช้เป็นตัวพา (carrier) กากน้ำตาลในอาหารสัตว์ และชานอ้อยมีความหนาแน่นต่ำประมาณ 160 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วยน้ำตาล ความชื้น และจุลินทรีย์ ได้แก่ ยีสต์ รา และแอคติโนมัยซีท ทำให้เกิดการหมักได้ แอลกอฮอล์ (alcohol) และกรดอินทรีย์ (organic acid) ชานอ้อยประกอบด้วยเส้นใยประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนมากเป็นเซลลูโลส ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ของเนื้อเยื่อพืช เส้นใยในชานอ้อยเป็นเซลล์รูปทรงกระบอกของเปลือกไม้ และเนื้อเยื่อลำเลียง มีผนังหนา และเหนียว ซึ่งเส้นใยประกอบด้วยเซลลูโลส และลิกนิน ส่วนชุยชานอ้อยเป็นเนื้อเยื่อชั้นในของลำต้น มีรูปร่างไม่แน่นอน ผนังบาง และนิ่ม โดยชานอ้อยมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยฟอสฟอรัส 0.10 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.03 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม 0.03 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 35.80 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลส 48.20 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนหยาบ 1.30 เปอร์เซ็นต์ (Ramli *et al.*, 2005) มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง 179.68 เป็นวัสดุที่ย่อยสลายยาก (พิทยากร และ ฉวีวรรณ, 2541) แสดงดังตารางที่ 48 มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อปรับปรุงบำรุงดิน

(1.2) กากตะกอน (filter cake) หรือกากตะกอนหม้อกรอง เรียกว่า ชี้น้ำกรอง ชี้น้ำอ้อย ชี้อ้อย หรือเค้กอ้อย กากตะกอนที่เกิดจากการตกตะกอนสิ่งเจือปนในน้ำอ้อย ผสมองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยไนโตรเจน 1.14 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 1.72 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 0.09 เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์วัตถุ 11.50 เปอร์เซ็นต์ และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10.09 (ตารางที่ 48) (ชาลินี และคณะ, 2561) กากตะกอนหม้อกรองมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปรับปรุงดินได้เป็นอย่างดี มีการใช้ประโยชน์กากตะกอนหม้อกรอง เพื่อการบำรุงดินสำหรับการผลิตพืชหลายชนิด

(1.3) กากน้ำตาล หรือโมลาส (molasses) เป็นน้ำตาลที่ได้จากน้ำอ้อยที่เหลือจากกระบวนการทำให้เกิดการตกผลึกเป็นน้ำตาลทราย ซึ่งยังคงมีส่วนผสมของน้ำตาลอยู่ในระดับต่ำเกินกว่าที่จะสกัดเป็นน้ำตาลได้อีก การผลิตน้ำตาลจากการใช้อ้อย 1 ตัน จะได้กากน้ำตาลประมาณ 45 - 60 กิโลกรัม สามารถจำแนกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาว มีปริมาณน้ำตาลประมาณ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ หรือมีปริมาณของแข็งเมื่อเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 ประมาณ 42 องศาบริกซ์ กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ มีปริมาณน้ำตาลประมาณ 48 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากน้ำตาลที่ได้จากการนำน้ำอ้อยมาเยี่ยด้วยกรด มีปริมาณน้ำตาลประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ (Paturaul, 1989) กากน้ำตาลมีลักษณะเหนียวข้นสีน้ำตาลเข้ม มีสมบัติเป็นกรด ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.09 - 5.25 ค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูง 7.50 - 13.79 เดซิซีเมนต่อเมตร ไนโตรเจน 0.80 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.13 - 0.19 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 2.50 - 4.10 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 1.10 - 1.40 เปอร์เซ็นต์ และแมกนีเซียม 0.40 - 0.50 เปอร์เซ็นต์ และน้ำตาลรีดิวซ์ 26.79 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 48) (เสาวรส, 2560)

ตารางที่ 48 สมบัติของขานอ้อย กากตะกอนหม้อกรอง และกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาล

สมบัติ	ชนิดวัสดุ			
	ขานอ้อย ¹	ขานอ้อย ²	กากตะกอนหม้อกรอง ³	กากน้ำตาล ⁴
C/N ratio	-	179.68	10.09	-
ไนโตรเจน (%)	-	0.31	1.14	0.80
ฟอสฟอรัส (%)	0.10	0.13	1.72	0.13 - 0.19
โพแทสเซียม (%)	-	0.44	0.09	2.50 - 4.10
แคลเซียม (%)	0.03	0.14	-	1.10 - 1.40
แมกนีเซียม (%)	0.03	0.12	-	0.40 - 0.50
กำมะถัน (%)	-	0.08	-	-
อินทรีย์วัตถุ (%)	-	-	11.50	-
เฮมิเซลลูโลส (%)	35.80	-	-	-
เซลลูโลส (%)	48.20	-	-	-
โปรตีนหยาบ (%)	1.30	-	-	-
น้ำตาลรีดิวซ์ (%)	-	-	-	26.79

ที่มา: ¹Ramli *et al.* (2005); ²พิทยากร และ ฉวีวรรณ (2541); ³ชาลินี และคณะ (2561); ⁴เสาวรส (2560)

(2) สมบัติวัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

(2.1) ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน (empty fruit bunches) มีองค์ประกอบของธาตุอาหารประกอบด้วยไนโตรเจน 0.62 - 0.70 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.02 - 0.03 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 0.67 - 0.82 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรดเป็นด่าง 6.19 - 6.97 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 59.34 - 71.62 และอินทรีย์วัตถุ 71.26 - 76.52 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 49) มีลักษณะโครงสร้างที่สลับซับซ้อนประกอบด้วยเซลลูโลส 49.6 - 52.0 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 18 - 28 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 17.0 - 21.2 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อน (Khalil *et al.*, 2007; Baharuddin *et al.*, 2009)

(2.2) กากตะกอนดีแคนเตอร์ (decanter cake) เป็นของเสียอีกชนิดหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการกรองแยกน้ำมันสำหรับโรงงานสกัดที่มีเครื่องดีแคนเตอร์ ซึ่งเกิดจากการนำน้ำสลัดจ์ (sludge) จากก้นถังตกจมมาเหวี่ยง เพื่อแยกน้ำสลัดจ์ออกเป็น 3 สถานะ คือ น้ำมัน น้ำเสีย และของแข็ง หรือกากตะกอนดีแคนเตอร์ ปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณ 2 - 3 เปอร์เซ็นต์ของผลปาล์มทะลาย ซึ่งมีคุณสมบัติประกอบด้วยไนโตรเจน 2.28 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.08 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 0.36 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 18.68 ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.25 และอินทรีย์วัตถุ 73.63 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 49)

(2.3) เส้นใยเปลือกปาล์มน้ำมัน (oil palm fiber) เป็นส่วนของผลปาล์มที่หีบน้ำมันออกแล้ว เส้นใยเปลือกปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นจากกระบวนการมีปริมาณ 12 - 13 เปอร์เซ็นต์ของทะลายปาล์ม (Lorestani, 2006) โดยเส้นใยเปลือกผลปาล์มจะมีธาตุอาหารที่ใกล้เคียงทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วยไนโตรเจน 1.59 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.41 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 0.57 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 53.44 ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.40 และอินทรีย์วัตถุ 78.89 เปอร์เซ็นต์ (บัญชา, 2564) (ตารางที่ 49) ลักษณะโครงสร้างเส้นใยเปลือกปาล์มน้ำมันประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส 33.50 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลส 29.90 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน 21.60 เปอร์เซ็นต์ (Mohammed *et al.*, 2014)

(2.4) เถ้าบอยเลอร์ (boiler ash) เป็นวัสดุผลพลอยได้จากการนำกากของผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เศษกะลา เส้นใย และทะลายเปล่าของผลปาล์มน้ำมัน เผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ภายในโรงงาน หลังจากการใช้เป็นเชื้อเพลิงทำให้เกิดเถ้ามีปริมาณมากถึง 450 ตันต่อเดือน โดยชี้เถ้าจากการเผาทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบของไนโตรเจน 0.70 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 3.30 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 2.80 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 14 ความเป็นกรดเป็นด่าง 10.10 และอินทรีย์วัตถุ 17.30 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 49) บางโรงงานขายให้กับชาวสวนในราคากิโลกรัมละ 1 บาท (กาญจนาดิษฐ์น้ำมันปาล์ม, 2558)

ตารางที่ 49 สมบัติของวัสดุเหลือใช้จากทะเลลายเปลา์ปาเล่มน้ำมัน กากตะกอนดีแคนเตอร์ เส้นใย เปลือกปาเล่มน้ำมัน และเล้าบอยเลอร์

สมบัติ	วัสดุเหลือใช้				
	ทะเลลายเปลา์ ที่ไม่ผ่านการหีบ ¹	ทะเลลายเปลา์ ที่ผ่านการหีบ ¹	กากตะกอน ดีแคนเตอร์ ¹	เส้นใยเปลือก ปาเล่มน้ำมัน ²	เล้าบอย เลอร์ ³
pH	6.19	6.97	5.25	5.40	10.10
C/N ratio	71.62	59.34	18.68	53.44	14.00
ความชื้น (%)	52.74	36.00	51.72	-	-
อินทรีย์คาร์บอน (%)	44.38	41.33	42.55	-	10.00
อินทรีย์วัตถุ (%)	76.52	71.26	73.63	78.89	17.30
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.62	0.70	2.28	1.59	0.70
ฟอสฟอรัส (%)	0.02	0.03	0.08	0.41	3.30
โพแทสเซียม (%)	0.82	0.67	0.36	0.57	2.80

ที่มา: ¹ณัฐวิทย์ (2558); ²ปัญชา (2564); ³กัญญา และคณะ (2562)

(2.5) น้ำเสียจากกระบวนการผลิต มีมวลสารอยู่ในรูปบีโอดี (biological oxygen demand, BOD) ซีโอดี (chemical oxygen demand, COD) และของแข็งแขวนลอย (total suspended solid, TSS) มีการปนเปื้อนของน้ำมันปาเล่มน้ำมัน รวมทั้งน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาเล่มน้ำมันมีสารอาหารที่สูงจึงถูกนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น เท่ากับ 0.50 - 0.60 เปอร์เซ็นต์ของผลทะเลลายปาเล่มน้ำมัน น้ำเสียที่เกิดขึ้น 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ 25 - 30 ลูกบาศก์เมตร และนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นพลังงานให้กับโรงงานสกัด หรือสามารถจำหน่ายไฟฟ้าส่วนที่เหลือให้แก่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ณัฐวิทย์, 2558) มีการนำน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาเล่มน้ำมันไปใช้เป็นปุ๋ย เนื่องจากมีธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูง (Ma et al., 1987) มีการผสมน้ำทิ้งแห่งความชื้น 6.50 เปอร์เซ็นต์ กับสารอื่น ๆ เรียกผลิตภัณฑ์นี้ว่า ซุปเปอร์โกร (Supergro) ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการปลูกผัก หรือผสมในอาหารสัตว์ (Bek-Nielson, 1987) นอกจากนี้ในแง่ที่เป็นปุ๋ย น้ำทิ้งยังให้ประโยชน์เป็นแหล่งน้ำสำหรับรดต้นปาเล่มน้ำมันด้วย (พูนสุข และคณะ, 2553) แต่ต้องผ่านการบำบัดในบ่อไร้อากาศ เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์และน้ำมันกรด มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 2 - 3 ซึ่งมีความเข้มข้นของกรดไขมันสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์

(อทิพันธ์ และคณะ, 2549) จากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นกับน้ำมันที่ลอยขึ้นบนผิวหน้าบ่อบำบัดจากแรงดันของก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก รวมทั้งการย่อยสลายเซลล์ของเส้นใยปาล์มที่ห่อหุ้มหดยน้ำมันไว้ภายใน ทำให้น้ำมันหลุดเป็นอิสระ และทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศที่ผิวหน้าของบ่อบำบัด วิธีนี้เป็นประโยชน์อย่างมากต่อโรงงานที่มีสวนปาล์มเป็นของตนเอง หรือตั้งอยู่ในทำเลที่มีสวนปาล์มอยู่ใกล้ ๆ โดยสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตมีน้ำทิ้งจากบ่อรวม และน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้งรูปแบบน้ำหนักแห้งหรือน้ำหนักเปียก มีองค์ประกอบของธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม และแมกนีเซียม และจุลธาตุ ได้แก่ โซเดียม เหล็ก ทองแดง และสังกะสี รายละเอียดแสดงตารางที่ 50

ตารางที่ 50 สมบัติของน้ำทิ้งจากบ่อรวมและน้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

สมบัติ	น้ำทิ้งจากบ่อรวม		น้ำทิ้งจากหม้อฆ่าเชื้อ	
	น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักเปียก	น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักเปียก
ไนโตรเจน (%)	0.069	1.730	0.094	1.830
ฟอสฟอรัส (%)	0.016	0.310	0.015	0.360
โพแทสเซียม (%)	0.165	3.190	0.130	3.090
แคลเซียม (%)	0.011	0.210	0.014	0.330
แมกนีเซียม (%)	0.097	1.880	0.102	2.420
โซเดียม (%)	0.003	0.060	0.002	0.050
เหล็ก (%)	0.005	0.100	0.002	0.040
ทองแดง (%)	0.003	0.050	0.003	0.070
สังกะสี (%)	0.001	0.025	0.002	0.035

ที่มา: Hwang *et al.* (1978)

(3) สมบัติวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรงมันสำปะหลัง

วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรงมันสำปะหลังทั้งในรูปน้ำทิ้ง และของแข็ง มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ แป้ง 59.80 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 9.30 เปอร์เซ็นต์ และมีแร่ธาตุที่สำคัญ คือ แมกนีเซียม 1.10 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุแห้ง เหล็ก 0.16 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุแห้ง สังกะสี 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุแห้ง แมงกานีส 0.004 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุแห้ง และทองแดง

0.004 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุแห้ง (Noparatnaraporn, 1987) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร มีรายละเอียดดังนี้

(3.1) เปลือกมันสำปะหลัง (cassava peel) เป็นวัสดุเหลือใช้ 20.93 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ มีองค์ประกอบทางเคมีของธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน 0.580 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.050 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 0.560 เปอร์เซ็นต์ ธาตุอาหารรองและจุลธาตุ ได้แก่ แคลเซียม 0.450 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม 0.120 เปอร์เซ็นต์ โซเดียม 0.008 เปอร์เซ็นต์ เหล็ก 0.596 เปอร์เซ็นต์ แมงกานีส 0.084 เปอร์เซ็นต์ และสังกะสี 0.001 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปลือกมันสำปะหลังเก่า มีองค์ประกอบทางเคมีของธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน 0.710 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.080 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 0.590 เปอร์เซ็นต์ ธาตุอาหารรองและจุลธาตุ ได้แก่ แคลเซียม 0.240 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม 0.160 เปอร์เซ็นต์ โซเดียม 0.004 เปอร์เซ็นต์ เหล็ก 0.235 เปอร์เซ็นต์ แมงกานีส 0.024 เปอร์เซ็นต์ และสังกะสี 0.002 เปอร์เซ็นต์ (สุกัญญา และ วราพันธ์, 2552) รายละเอียดดังตารางที่ 51

ตารางที่ 51 สมบัติของเปลือกมันสำปะหลังใหม่และเปลือกมันสำปะหลังเก่า

สมบัติ	เปลือกมันสำปะหลังใหม่	เปลือกมันสำปะหลังเก่า
ไนโตรเจน (%)	0.580	0.710
ฟอสฟอรัส (%)	0.050	0.080
โพแทสเซียม (%)	0.560	0.590
แคลเซียม (%)	0.450	0.240
แมกนีเซียม (%)	0.120	0.160
โซเดียม (%)	0.008	0.004
เหล็ก (%)	0.596	0.235
แมงกานีส (%)	0.084	0.024
สังกะสี (%)	0.001	0.002

ที่มา: สุกัญญา และ วราพันธ์ (2552)

(3.2) กากแป้งมันสำปะหลัง (cassava residue) เป็นวัสดุเหลือใช้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง และเอทานอล ทำให้มีกากแป้งมันสำปะหลังเป็นเศษเหลือทิ้งอยู่จำนวนมาก กากแป้งมันสำปะหลังมีธาตุอาหารในปริมาณที่สูง (พรชัย และคณะ, 2560; Nilnoree *et al.*, 2016)

มีสมบัติประกอบด้วยค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.52 ค่าการนำไฟฟ้า 0.56 เดซิซีเมนต่อเมตร ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 28.80 เซนติโมลของประจุต่อกิโลกรัม ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 22.90 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน 2.86 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.43 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 1.97 เปอร์เซ็นต์ มีธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ได้แก่ แคลเซียม 6.73 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม 1.43 เปอร์เซ็นต์ ทองแดง 0.002 เปอร์เซ็นต์ เหล็ก 0.009 เปอร์เซ็นต์ แมงกานีส 0.001 เปอร์เซ็นต์ และสังกะสี 0.001 เปอร์เซ็นต์ (นทีทิพย์ และคณะ, 2561) แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 52

ตารางที่ 52 สมบัติของกากแป้งมันสำปะหลัง

สมบัติ	กากแป้งมันสำปะหลัง
pH (1 : 5)	6.52
EC (dS/m)	0.56
CEC (cmol/kg)	28.80
อินทรีย์วัตถุ (%)	22.90
ไนโตรเจน (%)	2.86
ฟอสฟอรัส (%)	0.43
โพแทสเซียม (%)	1.97
แคลเซียม (%)	6.73
แมกนีเซียม (%)	1.43
ทองแดง (%)	0.002
เหล็ก (%)	0.009
แมงกานีส (%)	0.001
สังกะสี (%)	0.001

ที่มา: นทีทิพย์ และคณะ (2561)

(3.3) กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบี เป็นรูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนยูเอเอสบี (up-flow anaerobic sludge blanket, UASB) ของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปร เมืองประกอบทางเคมีที่มีความเข้มข้นสูงสุด คือ เหล็ก 1,037 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ แมงกานีส 409 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี 192 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมี ความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายต่าง ๆ

ที่ตรวจพบในกากตะกอนค่อนข้างต่ำ แสดงดังตารางที่ 53 และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน Total Threshold Limit Concentration (TTL) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2566 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2566) พบสารทุกตัวมีความเข้มข้นต่ำกว่ามาตรฐาน เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียจากระบบการผลิตแยมสำหรับรับประทานที่โรงงานผลิตส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และในขั้นตอนการผลิตไม่มีการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ซึ่งในปัจจุบันทางโรงงานก็ได้ทำการขุดลอกบ่อ และนำไปกองทิ้งในพื้นที่ว่างเปล่า และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนส่วนใหญ่มีปริมาณน้อยกว่าดินเหนียวปกติ ยกเว้นทองแดง แมงกานีส และสังกะสี จะตรวจพบในปริมาณสูง เนื่องจากเป็นแร่ธาตุที่พบมากในแยมสำหรับรับประทาน ขณะที่ปริมาณธาตุอาหารที่ตรวจพบในกากตะกอน คือ ไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส เท่ากับ 7,446 1,403 และ 917 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก คิดเป็น 0.75 0.14 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าดินเหนียวปกติ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 (กรมวิชาการเกษตร, 2557) กำหนดปริมาณธาตุอาหารหลักไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ไว้ไม่น้อยกว่า 10,000 5,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือไม่น้อยกว่า 1 0.5 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า สารอาหารทุกตัวมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ปิยะวดี และ เสกสรรค์, 2564)

ตารางที่ 53 สมบัติของกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบีจากโรงงานผลิตแยมสำหรับรับประทานเปรียบเทียบกับมาตรฐาน TTL

สมบัติ	กากตะกอน ¹	มาตรฐาน TTL ²
pH	7.00	-
ความชื้น (%)	82.10	-
สารหนู (มก./กก.)	ND	500
แคดเมียม (มก./กก.)	ND	100
ทองแดง (มก./กก.)	26.31	2,500
ปรอท (มก./กก.)	ND	20
ตะกั่ว (มก./กก.)	ND	1,000
เหล็ก (มก./กก.)	1,037	-
แมงกานีส (มก./กก.)	409	-
สังกะสี (มก./กก.)	192	5,000

ตารางที่ 53 (ต่อ)

สมบัติ	ภาคตะกอน ¹	มาตรฐาน TTLC ²
ไนโตรเจน (มก./กก.)	7,446	-
ฟอสฟอรัส (มก./กก.)	917	-
โพแทสเซียม (มก./กก.)	1,403	-

หมายเหตุ ND คือ Non Detectable หมายถึง ผลการตรวจวัดที่ได้ต่ำกว่าค่าที่สามารถตรวจวัดได้
ที่มา: ¹ ปิยะวดี และ เสกสรรค์ (2564)

² มาตรฐาน Total Threshold Limit Concentration (TTLC) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2566)

(3.4) วัสดุเหลือใช้ในรูปแบบน้ำเสียจากโรงงานแป่งมันสำปะหลัง

น้ำเสียจากโรงงานแป่งมันสำปะหลังเกิดจากกระบวนการแยกแ่ง
ทำแ่งให้บริสุทธิ์ เพิ่มความเข้มข้นน้ำแ่ง และแยกโปรตีน ด้วยเครื่องแยกเซพาเรเตอร์ (separator)
โดยหลักการทำงานของเครื่อง คือ การใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) เหวี่ยง
ของเหลวที่ความเร็วยกพอที่เหมาะสม สสารในของเหลวที่หนักกว่าจะเคลื่อนตัวออกจากจุดศูนย์กลาง
เร็วกว่าและไกลกว่า การทำงานของเครื่องแยกเซพาเรเตอร์โดยของเหลวจะเข้าทางด้านบน และเมื่อมี
แรงหนีศูนย์กลางของแ่งจะถูกเหวี่ยงให้ออกไปชนกับแผ่นจาน ตกไปรวมตัวและเข้มข้นมากขึ้นที่เกิด
ส่วนของเหลวจะไหลออกจากเครื่องเซพาเรเตอร์ เกิดน้ำเสียจากกระบวนการดังกล่าว ซึ่งองค์ประกอบ
ของน้ำเสียจะมีความแตกต่างกัน อาจเกิดจากเปอร์เซ็นต์แ่งในหัวมันช่วงต่าง ๆ และการควบคุม
คุณภาพการผลิต โดยน้ำเสียที่ออกจากเครื่องเซพาเรเตอร์ในกระบวนการแยกแ่งให้บริสุทธิ์
มีองค์ประกอบของมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 1.50 - 6.00 ซึ่งมีช่วงกว้างมาก อาจเนื่องจาก
คุณภาพวัตถุดิบเริ่มต้นและกระบวนการผลิต ซีโอดี 3,200 - 16,700 มิลลิกรัมต่อลิตร แ่ง 1.00 -
1.70 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนที่ละลายได้ไม่เกิน 0.0003 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 0.004 - 0.017 เปอร์เซ็นต์
แคลเซียม 0.003 - 0.004 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมไม่เกิน 0.085 เปอร์เซ็นต์ แมงกานีสไม่เกิน 0.002
เปอร์เซ็นต์ และเหล็กไม่เกิน 0.0001 เปอร์เซ็นต์ และจะใช้เครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยงอีก 2 ชุด
ในการแยกแ่งเพิ่มความเข้มข้นน้ำแ่ง จากเครื่องเซพาเรเตอร์ 1 ได้น้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
ระหว่าง 6.00 - 6.20 ซีโอดี 16,000 - 17,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แ่ง 0.90 - 2.20 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน
ที่ละลายได้ไม่เกิน 0.0001 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 0.024 - 0.027 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.001 -
0.052 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมไม่เกิน 0.060 เปอร์เซ็นต์ แมงกานีส 0.0001 - 0.003 เปอร์เซ็นต์ และ
เหล็กไม่เกิน 0.0003 เปอร์เซ็นต์ และจากเครื่องเซพาเรเตอร์ 2 ได้น้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

ระหว่าง 6.00 ซีโอดี 5,200 - 5,300 มิลลิกรัมต่อลิตร แปร 0.80 - 2.20 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนที่ละลายได้ไม่เกิน 0.0001 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 0.007 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมไม่เกิน 0.045 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมไม่เกิน 0.047 เปอร์เซ็นต์ แมงกานีสไม่เกิน 0.001 เปอร์เซ็นต์ และเหล็กไม่เกิน 0.0001 เปอร์เซ็นต์ (Noparatnaraporn, 1987) (ตารางที่ 54)

โดยองค์ประกอบทางเคมีของน้ำเสียจากโรงงานแปรงมันสำปะหลังที่ได้จากกระบวนการผลิต มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์สูงหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อม โดยน้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตแปรงมันสำปะหลังจะถูกรวบรวมไว้ในบ่อบำบัดซึ่งจะมีต้นทุนในการบำบัด แต่หากแยกน้ำเสียที่ได้จากเครื่องเซพาเรเตอร์ 1 และ 2 ซึ่งมีสมบัติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ เนื่องจากมีองค์ประกอบของธาตุอาหารในปริมาณสูงและมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 6.00 - 6.20 เป็นกรดเล็กน้อย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในพื้นที่เกษตรกรรมที่สมบัติดินเป็นด่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างมากกว่า 7.50 เช่น การใส่ธาตุลงดินโดยตรงก่อนการไถเตรียมแปลง ซึ่งความเป็นกรดเล็กน้อยของน้ำเสียดังกล่าวอาจมีผลช่วยลดความเป็นด่างของดิน และเพิ่มการละลายธาตุอาหารพืชในดินต่าง เพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ให้กับพืช เช่น ไนโตรเจนที่มีปริมาณมากในน้ำเสีย ซึ่งเป็นแนวทางการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยตรงจากรายงานการวิจัยการใช้ประโยชน์น้ำเสียจากโรงงานแปรงมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการบำบัดใช้แทนน้ำจากแหล่งน้ำชลประทานสำหรับปลูกหญ้าเนเปียร์ในพื้นที่ดินเค็ม ไม่ส่งผลต่อการเจริญของหญ้าเนเปียร์ที่แตกต่างกัน แต่ส่งผลกระทบต่อสมบัติดินหลังการใช้น้ำเสีย ช่วยลดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจาก 8.33 เป็น 8.07 เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินจาก 0.44 เป็น 0.57 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มฟอสฟอรัสในดินจาก 6.67 เป็น 9.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเพิ่มโพแทสเซียมจาก 37.00 เป็น 70.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงปลูกที่มีการใช้น้ำชลประทาน (อาทิตย์, 2559) จึงเป็นแนวทางนำน้ำเสียจากโรงงานแปรงมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ด้านการเกษตร โดยเฉพาะพื้นที่ห่างไกลแหล่งน้ำชลประทาน และจากรายงานการใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตแปรงมันสำปะหลังในพื้นที่ปลูกข้าว ส่งผลทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น แต่พบว่าดินมีค่าความเค็มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวได้ จึงมีข้อเสนอแนะให้เจือจางน้ำเสียก่อนใช้ (สุนทร, 2552) ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียจากโรงงานแปรงมันสำปะหลัง จึงมีความจำเป็นต้องรู้ถึงข้อมูลสมบัติน้ำเสีย อัตราการใช้ และสภาพพื้นที่ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

ตารางที่ 54 สมบัติของน้ำเสียจากเครื่องแยกเซฟาเรเตอร์ของโรงงานแป่งมันสำปะหลัง

สมบัติ	เซฟาเรเตอร์	เซฟาเรเตอร์ 1	เซฟาเรเตอร์ 2
pH	1.50 - 6.00	6.00 - 6.20	6.00
ซีโอดี (มก./ล.)	3,200 - 16,700	16,000 - 17,000	5,200 - 5,300
แป้ง (%)	1.00 - 1.70	0.90 - 2.20	0.80 - 2.20
โปรตีนที่ละลายได้ (%)	≤ 0.0003	≤ 0.0001	≤ 0.0001
ไนโตรเจน (%)	0.004 - 0.017	0.024 - 0.027	0.007
แคลเซียม (%)	0.003 - 0.004	0.001 - 0.052	≤ 0.045
แมกนีเซียม (%)	≤ 0.085	≤ 0.060	≤ 0.047
แมงกานีส (%)	≤ 0.002	0.0001 - 0.003	≤ 0.001
เหล็ก (%)	≤ 0.0001	≤ 0.0003	≤ 0.0001

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Noparatnaraporn (1987)

(4) สมบัติวัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องต้มแอลกอฮอล์

(4.1) กากเมล็ดธัญพืช (cereal meal) เป็นวัสดุเหลือใช้ของโรงงานผลิตเบียร์ ที่เกิดขึ้นจากการใช้วัตถุดิบ เช่น ธัญพืช มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยของแข็งแห้ง 91.90 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 7.10 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 15.40 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 4.00 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 26.40 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.21 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.50 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 0.08 เปอร์เซ็นต์ (Muller, 1980) และวัสดุเหลือทิ้งจากกากข้าวมอลต์ เกิดวัสดุเหลือทิ้ง 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเบียร์ที่ผลิตได้ จากข้อมูลปริมาณการผลิตเบียร์ในปี 2566 มีปริมาณ 235.90 ล้านลิตร (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2565) จะเกิดกากข้าวมอลต์เหลือทิ้งประมาณ 235,900 ตัน มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยของแข็งแห้ง 91.46 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 7.93 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 13.98 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 21.81 เปอร์เซ็นต์ และไนโตรเจน 53.88 เปอร์เซ็นต์ (นฤมล, 2541) (ตารางที่ 55)

ตารางที่ 55 สมบัติของกากเมล็ดธัญพืชแห้ง และกากข้าวมอลต์สด

สมบัติ	กากเมล็ดธัญพืชแห้ง ¹	กากข้าวมอลต์สด ²
ของแข็งแห้ง (%)	91.90	91.46
ไขมัน (%)	7.10	7.93
เยื่อใย (%)	15.40	13.98
เถ้า (%)	4.00	-
โปรตีน (%)	26.40	21.81
ไนโตรเจน (%)	-	53.88
แคลเซียม (%)	0.21	-
ฟอสฟอรัส (%)	0.50	-
โพแทสเซียม (%)	0.08	-

ที่มา: ¹ดัดแปลงมาจาก Muller (1980); ²นฤมล (2541)

(4.2) น้ำกากส่า (spent wash) เป็นวัสดุเหลือใช้ของโรงงานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ วัสดุติบมาจากข้าวและกากน้ำตาล วัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้น คือ น้ำกากส่า ซึ่งแบ่งน้ำกากส่าเป็น 2 ประเภท คือ น้ำกากส่าสด มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 4.5 - 5.0 มีสารอาหารและวิตามินรวมเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ น้ำกากส่าที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศมาแล้ว เหมาะกับการใช้กับพืชโดยเฉพาะปาล์ม เพราะมีสารอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่พืชต้องการ หากนำไปตากแห้งจะมีไนโตรเจน 4.0 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 1.0 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 6.0 เปอร์เซ็นต์ (พูนสุข, 2558) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าของโรงงานสุรา และโรงงานกลั่นไวน์คอนยักจะมีค่าบีโอดีและค่าซีโอดีค่อนข้างสูง และมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ (ตารางที่ 56)

ตารางที่ 56 สมบัติของน้ำกากส่าของโรงงานสุรา และโรงงานกลั่นไวน์คอนยัค

สมบัติ	น้ำกากส่า	
	โรงงานสุรา ¹	โรงงานกลั่นไวน์คอนยัค ²
pH	3.66	3.30
ค่าบีโอดี (มก./ล.)	27,475	23,000
ค่าซีโอดี (มก./ล.)	118,098	35,000
ของแข็ง (%)	7.583	0.003
น้ำตาล (%)	-	0.128
ไนโตรเจน (%)	0.094	0.038
ฟอสฟอรัส (%)	0.012	0.010
โพแทสเซียม (%)	0.476	0.081
ซัลเฟต (%)	0.376	0.424
แคลเซียม (%)	-	0.020
แมกนีเซียม (%)	-	0.009

ที่มา: ¹พูนสุข (2558); ดัดแปลงมาจาก ²Middlebrooks (1979)

(4.3) กากตะกอนยีสต์ (yeast cake) เกิดจากกระบวนการตกตะกอนของเซลล์ยีสต์ ผนังเซลล์ยีสต์ และตะกอนต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำกากส่าจากกระบวนการกลั่นเอทานอล มีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก เมื่อนำกากตะกอนยีสต์ไปผึ่งให้แห้ง พบว่า กากตะกอนยีสต์มีน้ำหนักเบา และมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชค่อนข้างสูง (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, 2549) โดยกากตะกอนยีสต์มีคุณสมบัติประกอบด้วย ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 4.23 ค่าการนำไฟฟ้า 6.55 เดซิซีเมนต่อเมตร ไนโตรเจน 0.47 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.13 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 1.18 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 2.01 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม 0.16 เปอร์เซ็นต์ ซัลเฟอร์ 0.53 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียม 0.08 เปอร์เซ็นต์ (ชัยวัฒน์, 2559) และวัสดุผสมของน้ำกากส่ากับกากตะกอนยีสต์ มีสมบัติประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ (นฤพน, 2557) ดังตารางที่ 57

ตารางที่ 57 สมบัติของน้ำกากส่า กากตะกอนยีสต์ และวัสดุผสมน้ำกากส่ากับกากตะกอนยีสต์ของ
โรงงานผลิตเอทานอล

สมบัติ	น้ำกากส่า ¹	กากตะกอนยีสต์ ²	วัสดุผสม (อัตราส่วน 2 : 3) ³
pH	4.10 - 4.50	4.23	4.980
EC (dS/m)	20	6.55	8.640
ค่าบีโอดี (มก./ล.)	35,000 - 40,000	-	-
ค่าซีโอดี (มก./ล.)	100,000 - 120,000	-	-
ไนโตรเจน (%)	0.15 - 0.20	0.47	0.600
ฟอสฟอรัส (%)	0.01 - 0.02	0.13	0.350
โพแทสเซียม (%)	0.08 - 0.15	1.18	3.020
ทองแดง (%)	0.23	-	0.002
แคลเซียม (%)	-	2.01	0.390
แมกนีเซียม (%)	-	0.16	0.510
ซัลเฟอร์ (%)	-	0.53	0.315
โซเดียม (%)	-	0.08	0.057
เหล็ก (%)	-	-	0.153
แมงกานีส (%)	-	-	0.006
ทองแดง (%)	-	-	0.002
สังกะสี (%)	-	-	0.001

ที่มา: ¹ สุจินต์ (2542); ² ชัยวัฒน์ (2559); ³ นฤพน (2557)

(5) สมบัติวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

(5.1) วัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปอาหารทะเลประเภทกุ้ง มีสัดส่วนการเกิดปริมาณวัสดุเหลือใช้ 40 - 80 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นปริมาณวัสดุเหลือใช้ 135,000 ตันต่อปี ได้แก่ การแปรรูปกุ้งกุลาดำส่วนใหญ่ 98 เปอร์เซ็นต์ ผลิตกุ้งแช่แข็งมีประมาณ 270,000 ตันต่อปี เกิดเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นส่วนหัวกุ้ง 38 เปอร์เซ็นต์ เปลือกกุ้ง 7 เปอร์เซ็นต์ และหางกุ้ง 5 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นปริมาณวัสดุเหลือทิ้งสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับ 135,000 ตันต่อปี (สุมาลัย, 2541) วัสดุเหลือใช้เปลือกกุ้งกุลาดำ ได้แก่ เปลือกส่วนลำตัว มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยเถ้า 31.53 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 11.11 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 29.42 เปอร์เซ็นต์ ไคติน 24.74 เปอร์เซ็นต์ และ

แคโรทีนอยด์ (carotenoid) 0.105 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปลือกส่วนหัวมีองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วยเล้า 40.96 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.07 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 17.34 เปอร์เซ็นต์ โคติน 13.26 เปอร์เซ็นต์ และแคโรทีนอยด์ 0.034 เปอร์เซ็นต์ (เสาวลักษณ์, 2543) (ตารางที่ 58)

ตารางที่ 58 สมบัติของเปลือกกุ้งกุลาดำ

สมบัติ	เปลือกส่วนลำตัว	เปลือกส่วนหัว
เล้า (%)	31.53	40.96
ไขมัน (%)	11.11	1.07
โปรตีน (%)	29.42	17.34
โคติน (%)	24.74	13.26
ความชื้น (%)	10.99	9.41
แคโรทีนอยด์ (%)	0.105	0.034

ที่มา: เสาวลักษณ์ (2543)

(5.2) กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแช่เยือกแข็งอาหารทะเลจากระบบบำบัดน้ำเสียจะมีกากตะกอนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก และมีองค์ประกอบของธาตุอาหารประกอบด้วยไนโตรเจน 8.30 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 4.72 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 0.88 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบโลหะหนัก สามารถนำกากตะกอนน้ำเสียดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการบำรุงดินหรือเป็นปุ๋ยให้กับพืช (อุไรวรรณ, 2545) (ตารางที่ 59)

ตารางที่ 59 สมบัติของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแช่เยือกแข็งอาหารทะเล

สมบัติ	กากตะกอนน้ำเสีย
ไนโตรเจน (%)	8.30
ฟอสฟอรัส (%)	4.72
โพแทสเซียม (%)	0.88

ที่มา: อุไรวรรณ (2545)

(5.3) น้ำนึ่งปลาพุน้ำจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล จากกระบวนการผลิตจะเกิดน้ำเสียจำนวนมาก มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.20 ค่าซีโอดี 246,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนโตรเจนทั้งหมด 0.152 เปอร์เซ็นต์ ของแข็งทั้งหมด 0.076 เปอร์เซ็นต์ ของแข็งแขวนลอย 0.018 เปอร์เซ็นต์ น้ำมัน 0.025 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในทางการเกษตร (พูนสุข, 2558) (ตารางที่ 60)

ตารางที่ 60 สมบัติของน้ำนึ่งปลาพุน้ำจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล

สมบัติ	น้ำนึ่งปลาพุน้ำ
pH	6.20
ซีโอดี (มก./ล.)	246,200
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.152
ของแข็งทั้งหมด (%)	0.076
ของแข็งแขวนลอย (%)	0.018
น้ำมันและกรีส (%)	0.025

ที่มา: พูนสุข (2558)

5) แนวทางการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

(1) ข้อพิจารณาการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้และตะกอนน้ำเสียอย่างปลอดภัย

(1.1) ข้อพิจารณาการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้อย่างปลอดภัย

การใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรอย่างปลอดภัยก่อนการนำมาใช้ในพื้นที่เกษตร ทั้งที่อยู่ในรูปทั้งของแข็งและของเหลว ซึ่งมีสมบัติหลากหลายเพื่อความปลอดภัยต่อดิน พืช และสิ่งมีชีวิต ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด จึงควรมีการจัดการที่เหมาะสมและอย่างปลอดภัยในการบำรุงดิน ดังนี้

(1.1.1) ถ้าวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ประเภทของแข็ง เช่น ขี้เลื่อย กากขานอ้อย ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และเปลือกไม้ เป็นต้น ควรพิจารณาวัสดุที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมากกว่า 20 : 1 ควรปล่อยทิ้งไว้ หรือหมักไว้ระยะหนึ่ง เพื่อให้อินทรีย์วัตถุสลายตัว และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 20 : 1 สามารถนำไปใช้ได้อย่างปลอดภัย (ธงชัย, 2550) ควรผสมวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิด เพื่อควบคุมอัตราการย่อยสลายให้เกิดเร็วในกองปุ๋ยหมัก

และกำหนดค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักที่เหมาะสมในกระบวนการหมัก ควรมีค่าเริ่มต้นที่ 30 - 50 : 1 (Thambirajah and Kuthubutheen, 1989)

(1.1.2) ถ้าวัสดุเหลือทิ้งเป็นของเหลว ควรพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมี กรณีสารอาหารมีความเข้มข้นสูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำ เช่น ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.5 - 10 ค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 เดซิซีเมนต่อเมตร และโซเดียมไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น กรณีใช้ฉีดพ่นกับพืช ให้เจือจางกับน้ำให้พอเหมาะสมเสียก่อน และจึงนำไปฉีดพ่น ถ้าเข้มข้นเกินไปอาจทำให้ใบพืชไหม้แห้งตายได้ กรณีราดลงดิน ควรพิจารณาอัตราการใช้ คุณสมบัติของดินในพื้นที่ เช่น น้ำกาบส่า น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต ควรไถกลบคลุกเคล้าลงดิน หรือนำมาเป็นส่วนผสมน้ำหมักชีวภาพ ผสมกับวัสดุแห้งผลิตเป็นปุ๋ยหมัก หรือเป็นแหล่งอาหารให้กับจุลินทรีย์ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพใหม่

(1.1.3) ถ้าวัสดุอินทรีย์เหลือใช้มีความชื้นสูง ควรทำการผึ่งให้แห้งพอประมาณเสียก่อน หรืออาจใช้วัสดุอินทรีย์อื่น ๆ เช่น กากอ้อย ชี้อย่อย แกลบย่อย เศษพืชแห้ง เป็นต้น เข้าไปผสมให้อยู่ในสภาพความชื้นที่เหมาะสม จึงนำไปใช้ หรืออาจหมักต่อไปอีก

(1.1.4) ถ้าค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัสดุไม่เหมาะสม เช่น กรณีวัสดุเป็นกรดมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำ เช่น ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.5 - 10 ควรใช้หินปูน หินโดโลไมต์ หินฟอสเฟตบด แกลบย่อยเลอว์ หรือแกลบเผา มาช่วยปรับค่าความเป็นกรดเสียก่อน หรือนำวัสดุที่เป็นกรดปรับใช้กับดินต่าง แต่ต้องผสมคลุกเคล้าให้เข้ากับดินเป็นอย่างดี ในกรณีที่วัสดุอินทรีย์เป็นด่าง ควรลดระดับความเป็นด่างลงมาระดับหนึ่งด้วยอินทรีย์วัตถุที่เป็นกรด ควรใช้กับดินที่เป็นกรด ก็สามารถลดความเป็นกรดของดินได้ในระดับหนึ่ง

(1.1.5) ถ้ากองวัสดุอินทรีย์มีกลิ่นเหม็น ก็ควรกองเป็นปุ๋ยหมักแบบระบบการเติมอากาศ หรือกองปุ๋ยหมักแบบกลับกองอย่างสม่ำเสมอ ควรเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ช่วยเร่งการย่อยสลายได้เร็วขึ้น เช่น สารเร่งซูเปอร์ พด. 1 ของกรมพัฒนาที่ดิน หรือหัวเชื้อผลิตปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร หรือหัวเชื้อจุลินทรีย์ทำปุ๋ยหมักของเอกชน กรณีมีกลิ่นเหม็นรุนแรง ใช้สารบำบัดน้ำเสียขจัดกลิ่นเหม็นจากสารเร่งซูเปอร์ พด. 6 ของกรมพัฒนาที่ดิน ฉีดพ่นดับกลิ่นเหม็น

(1.2) ข้อพิจารณาการใช้ตะกอนน้ำเสียทางการเกษตรอย่างปลอดภัย

ตะกอนน้ำเสีย (sewage sludge) ที่ได้จากท่อระบายน้ำเสีย (sewer) ที่ผ่านการบำบัดแล้ว (activated sludge) แม้จะมีปริมาณธาตุอาหารพืช เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในปริมาณมาก และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการบำรุงดิน แต่ก็มีความเสี่ยงจากองค์ประกอบ และสมบัติทางเคมีที่ไม่เหมาะสมบางประการ ดังนี้

(1.2.1) ปริมาณไนโตรเจน แม้ว่าไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับพืช แต่การใช้กากตะกอนน้ำเสียในปริมาณมากเกินไป อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของ

ไนโตรเจน โดยเฉพาะไนโตรเจนในรูปไนเตรต (NO_3) ในน้ำผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียโดยทั่วไป มีปริมาณไนโตรเจนบางส่วนปะปนอยู่ในรูปไนเตรต - ไนโตรเจน ($\text{NO}_3 - \text{N}$) ควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสมกับสมบัติดินและชนิดพืชที่ปลูก ไม่ควรใช้มากเกินไปจนความจำเป็นหรือมากเกินไปความต้องการของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่มีไนโตรเจนจะต้องระมัดระวังปริมาณการใช้เป็นพิเศษ (ปิยะ, 2553)

(1.2.2) ปริมาณโลหะหนัก เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของกากตะกอนน้ำเสีย คือ ธาตุโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ทั้งที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช เช่น ทองแดง สังกะสี ฯลฯ และไม่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช ถ้ามีมากเกินไปอาจเกิดพิษภัยต่อสัตว์และมนุษย์ได้ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท นิกเกิล และอื่น ๆ ควรพิจารณาถึงหลักการในการใช้ ดังนี้ 1) ปริมาณการใช้ต่อพื้นที่ 2) องค์ประกอบของธาตุโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในกากตะกอนน้ำเสีย และ 3) ชนิดพืชหรือดินที่ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้ากากตะกอนน้ำเสียชนิดที่ใช้มีปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษต่อพืช สัตว์ และมนุษย์ในปริมาณมาก ไม่ควรนำมาใช้กับดินที่ปลูกพืชอาหาร (food chain crops) หรือถ้าจะใช้ก็ควรใช้ในปริมาณที่ต่ำเท่าที่จำเป็น โดยมีระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน และค่าสูงสุดของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์ และกากตะกอนน้ำเสีย โดยวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียตามมาตรฐาน Total Threshold Limit Concentration (TTLC) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2566 และระดับเกณฑ์พื้นฐานของการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินประเทศไทย (กรมวิชาการเกษตร, 2548ก) แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 61

ตารางที่ 61 ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน ปุ๋ยอินทรีย์ และกากตะกอนน้ำเสีย

โลหะหนัก	ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน ¹	ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน ¹	ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์ ¹	ค่ากำหนดที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนที่จะนำไปใช้ในการเกษตร ¹	มาตรฐาน TTLC ²
ระดับเกณฑ์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
1. สารหนู	-	30	50	-	500
2. แคดเมียม	3	0.15	5	20	100
3. โคบอลต์	100	20	-	-	-
4. โครเมียม	100	80	300	1,000	-
5. ทองแดง	100	45	500	900	2,500

ตารางที่ 61 (ต่อ)

โลหะหนัก	ระดับเกณฑ์ พื้นฐานของ โลหะหนัก ในดิน ¹	ระดับเกณฑ์ พื้นฐานของ โลหะหนัก ในดิน ¹	ค่าสูงสุดที่ยอม ให้มีได้ใน ปุ๋ยอินทรีย์ ¹	ค่ากำหนดที่ยอมให้ มีได้ในกากตะกอน ที่จะนำไปใช้ ในการเกษตร ¹	มาตรฐาน TTL ²
ระดับเกณฑ์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
6. ปรอต	1	0.10	2	10	20
7. นิกเกิล	50	45	-	400	-
8. ตะกั่ว	100	55	500	1,000	1,000
9. สังกะสี	300	70	-	3,000	-

ที่มา: ¹กรมวิชาการเกษตร (2548ก); ²กระทรวงอุตสาหกรรม (2566)

(1.2.3) กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ อาจมีสารประกอบเคมีในรูปอินทรีย์สังเคราะห์ สารอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีปนเปื้อนอยู่ในตะกอนน้ำเสีย ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์และพืช ได้แก่ สารตัวทำละลายต่าง ๆ สารเคมีควบคุมศัตรูพืช พลาสติก และสารโพลีคลอริเนตเตดไบฟีนิล (polychlorinated biphenyls) ซึ่งหากมีการนำ กากตะกอนน้ำเสียที่แม้ว่าจะผ่านการบำบัดแล้วก็ตามไปใส่ในไร่นาหรือที่ดิน อาจเกิดผลเสียต่อมนุษย์ โดยทางอ้อม เช่น ถ้ามีการใช้กับทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ สารพิษบางชนิดอาจปนเปื้อนอยู่ในเนื้อสัตว์ ที่กินหญ้าในทุ่งหญ้างกล่าวมากเกินไปได้ จนถึงระดับที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้

(1.2.4) จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสีย เป็นข้อเสีย อีกประการหนึ่งของกากตะกอนน้ำเสียที่แม้ว่าจะผ่านการบำบัดแล้วก็ตาม กากตะกอนก็ยังคงมี จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคหลายชนิด โดยการสัมผัสกับกากตะกอนน้ำเสียโดยตรง หรือจากการสัมผัส กับน้ำที่มีกากตะกอนปะปนอยู่ ดังนั้น ถึงแม้ว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียจะทำให้เชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ถูกทำลายไปแล้วบางส่วนก็ตาม แต่ถ้าจะใช้กับพืชโดยเฉพาะ กากตะกอนน้ำเสียในรูปของแข็งที่ผ่าน การบำบัด แล้วควรทำลายเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ให้ได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ (Hornick *et al.*, 1984)

(1.2.5) กลิ่น จากกากตะกอนน้ำเสียในรูปของเหลวที่ยังไม่ ผ่านการบำบัด เป็นวัสดุของเสียที่มีกลิ่นเหม็นมาก ดังนั้นก่อนนำไปใช้ในรูปของเหลว หรือถ้าจะใช้ โดยไม่ผ่านการบำบัดมาก่อนควรปฏิบัติ ดังนี้ คือ 1) กันพื้นที่กันชน (buffer zone) เพื่อให้พื้นที่

ที่จะใส่อยู่นอกจากชุมชนออกไปมากพอ โดยไม่ทำให้กลิ่นเหม็นไปไม่รบกวนประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ชุมชน 2) ใส่โดยการฉีดสารแขวนลอยลงใต้ผิวดิน และ 3) โดยการไถพรวนกลบลงไปดิน

(1.3) เทคนิคการหมักตะกอนน้ำเสียเพื่อใช้ประโยชน์ในการบำรุงดิน

การนำเอาตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอคทิเวเตดสลัดจ์ (activated sludge) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน มีกากตะกอนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก มาหมักในสภาพที่มีอากาศโดยวิธีการที่เหมาะสมจนได้ตะกอนน้ำเสียหมักที่มีคุณภาพเหมาะสมยิ่งขึ้นที่จะนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดิน หรือปุ๋ยสำหรับการปลูกพืช วิธีการหมักตะกอนน้ำเสียอาจทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการหมักโดยวิธี “Beltsville Aerated Pile Method” (BAPM) ที่นิยมใช้กันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา (Willson *et al.*, 1980) ลักษณะการเติมอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศเข้ากองปุ๋ยหมัก (Graves *et al.*, 2010) ส่งเสริมการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายส่วนผสมที่หมักจุลินทรีย์จะเป็นประโยชน์ จากอินทรีย์คาร์บอนในส่วนผสมพร้อมกับปลดปล่อยความร้อนออกมา ทำให้กองวัสดุผสมที่หมักมีความร้อนสูงขึ้นถึงระหว่าง 55 - 75 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงพอที่จะทำให้ลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ได้ทุกชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าวิธีการหมักแบบกลับกองแบบหลายครั้งจะทำให้เกิดผลดียิ่งขึ้น กล่าวคือ วัสดุที่หมักจะมีลักษณะคล้ายสารอิฐมวล และหลังจากไนโตรเจนในตะกอนน้ำเสียในรูปไนเตรท ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจนในรูปที่ปลดปล่อยช้า เช่น ในรูปที่อยู่ในเนื้อเยื่อของจุลินทรีย์ในวัสดุหมัก ทำให้เมื่อนำตะกอนน้ำเสียหมักไปใส่ลงดิน แม้ว่าจะใช้ในปริมาณมากก็อาจเกิดภาวะปนเปื้อนของไนเตรทกับน้ำใต้ดินไม่มากนัก หรือเกิดขึ้นน้อยลง ดังนั้นการใช้จุลินทรีย์ช่วยเร่งการย่อยสลายในประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์ของหน่วยงานภาครัฐ เช่น สารเร่งซูปเปอร์ พด. 1 ของกรมพัฒนาที่ดิน หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ทำปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร และผลิตภัณฑ์ของหน่วยงานภาคเอกชนที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป

(2) วิธีการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรนำไปใช้ประโยชน์เพื่อปรับปรุงดิน

(2.1) การหมักเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งวัตถุดิบในการหมักปุ๋ย การนำวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาใช้ประโยชน์จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติวัสดุ และแหล่งที่มาของวัสดุ ซึ่งพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทยทุกภาคมีแหล่งวัสดุที่มีคุณสมบัติสามารถนำมาผลิตปุ๋ยหมักเพื่อไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ จึงเป็นทางเลือกในการผลิตปุ๋ยหมักอยู่ใกล้ในพื้นที่เกษตร เพื่อลดการขนย้ายระยะทางไกลจากแหล่งอื่น ทำให้เกิดค่าใช้จ่าย ตัวอย่างพื้นที่ภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย แหล่งผลิตปุ๋ยหมักและวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น แกลบ ต้นและซังข้าวโพด ใบและยอดอ้อย ส่วนวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร เช่น กากอ้อยหรือขานอ้อย กากเปลือกมันสำปะหลัง ชี้อ้อย ขุยมะพร้าว

และเศษเหลือจากปาล์มน้ำมัน เป็นต้น (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข) แสดงดังตารางที่ 62 นอกจากนี้วัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งแล้วยังมีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรบางชนิด เช่น น้ำกากส่า น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง และน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล เป็นต้น ที่สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้โดยใช้แทนน้ำในการรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมัก ซึ่งปุ๋ยหมักที่ได้สามารถนำไปใช้กับพืชชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 62 แหล่งที่ผลิต ชนิดวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก และแหล่งใช้ประโยชน์กับพืชตามรายภาค

แหล่งที่ผลิต	วัสดุที่ใช้	แหล่งที่ใช้
ภาคเหนือ		
แพร่ น่าน อุตรดิตถ์	กากอ้อย กากและเปลือกมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด	สวนผลไม้ ไร่ยาสูบ
กำแพงเพชร	กากอ้อย กากและเปลือกมันสำปะหลัง	สวนกล้วยไข่ ไร่อ้อย
สุโขทัย พิษณุโลก	กากอ้อย แกลบ	สวนมะขามหวาน ไร่ยาสูบ
นครสวรรค์ อุทัยธานี	กากอ้อย แกลบ	ไร่อ้อย สวนผลไม้ สวนผัก
แพร่ น่าน อุตรดิตถ์	กากอ้อย กากและเปลือกมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด	สวนผลไม้ ไร่ยาสูบ
กำแพงเพชร	กากอ้อย กากและเปลือกมันสำปะหลัง	สวนกล้วยไข่ ไร่อ้อย
สุโขทัย พิษณุโลก	กากอ้อย แกลบ	สวนมะขามหวาน สวนกล้วย ไร่ยาสูบ
นครสวรรค์ อุทัยธานี	กากอ้อย แกลบ	ไร่อ้อย สวนผลไม้ สวนผัก
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		
นครราชสีมา	กากและเปลือกมันสำปะหลัง กากอ้อย ซังข้าวโพด	สวนผลไม้ ไร่มันสำปะหลัง ไร่ข้าวโพด
ขอนแก่น	กากอ้อย ซังข้าวโพด กากและเปลือกมันสำปะหลัง	สวนผลไม้ ไร่มันสำปะหลัง ไร่ข้าวโพด ไร่แตงโม

ตารางที่ 62 (ต่อ)

แหล่งที่ผลิต	วัสดุที่ใช้	แหล่งที่ใช้
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		
อุดรธานี หนองคาย	กากอ้อย เศษวัสดุเหลือใช้จาก โรงงานผลิตผลไม้กระป๋อง กากและเปลือกมันสำปะหลัง	สวนผลไม้ ไร่นาสำปะหลัง ไร่อ้อย
บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ	ขี้เลื่อย แกลบ	สวนผลไม้ สวนผัก ไร่หอม ไร่กระเทียม
ภาคกลางและภาคตะวันออก		
ฉะเชิงเทรา	ขี้เลื่อย แกลบ ชังข้าวโพด	สวนผลไม้ ไร่นาสำปะหลัง
ชลบุรี ระยอง	ชานอ้อย กากและเปลือกมันสำปะหลัง	ไร่สับปะรด ไร่อ้อย
อยุธยา สระบุรี ลพบุรี	กากอ้อย ชังข้าวโพด ขี้เลื่อย	สวนผลไม้
สุพรรณบุรี กาญจนบุรี	กากอ้อย แกลบ ขี้เลื่อย	สวนผลไม้ สวนผัก ไร่อ้อย
สมุทรสาคร	กากและเปลือกมันสำปะหลัง	สวนผลไม้ สวนผัก ไร่อ้อย
ภาคใต้		
กระบี่	เศษจากปาล์มน้ำมัน	สวนปาล์ม สวนยางพารา
สุราษฎร์ธานี	ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว แกลบ	สวนปาล์ม สวนยางพารา

ที่มา: กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน (2558ข)

(2.2) เทคนิครูปแบบวิธีการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและ
อุตสาหกรรมเกษตร

(2.2.1) การหมักแบบย่อยสลายตามธรรมชาติ เช่น หมักด้วย
วิธีการ ไถกลบ การย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรด้วยวิธีการไถกลบ
จะเกิดกระบวนการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติภายหลังการสับกลบลงดิน ซึ่งมีช่วง
ระยะเวลาการย่อยสลายขึ้นอยู่กับปัจจัยการย่อยสลาย ได้แก่ ชนิดและองค์ประกอบของวัสดุหมัก
ความอวบน้ำของวัสดุหมัก การระบายอากาศ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ และความชื้น
เมื่อกระบวนการย่อยสลายสมบูรณ์จะได้ฮิวมัส เพิ่มอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงดินให้อุดมสมบูรณ์
รวมถึงทดแทนธาตุอาหารบางส่วนที่พืชนำไปใช้และติดไปกับผลผลิตทางการเกษตร ตัวอย่างเช่น
การไถกลบเศษพืช เช่น ตอซังข้าว ต้นข้าวโพด ยอดและใบอ้อย และพืชตระกูลถั่วชนิดต่าง ๆ

ส่วนวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น น้ำกากส่า กากอ้อย เปลือกและฝักข้าวโพดหวาน และเปลือกผลไม้ เป็นต้น (ตารางที่ 63)

(2.2.2) การหมักกองปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจน ใช้หมักวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร วิธีตั้งกองมี 2 รูปแบบ คือ แบบกลับกอง และแบบไม่กลับกอง ด้วยการเติมออกซิเจน ลักษณะการกอง เช่น การกองบนพื้นที่ราบอาจเป็นพื้นดินธรรมดา หรือพื้นซีเมนต์ การกองอาจจะกองกลางแจ้งหรือในโรงเรือน สำหรับข้อดีของการกองในโรงเรือน คือน้ำระเหยออกจากกองปุ๋ยหมักน้อยกว่า และช่วยประหยัดการรดน้ำแก่กองปุ๋ย อีกประการหนึ่ง ช่วยรักษาคุณภาพของปุ๋ยหมักจะมีธาตุอาหารบางชนิดไม่ได้สูญเสียไปเนื่องจากชะล้างโดยฝน และมีปัจจัยการย่อยสลาย ได้แก่ ชนิดและองค์ประกอบของวัสดุหมัก ความอวบน้ำของวัสดุหมัก การระบายอากาศ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ ความชื้น และจุลินทรีย์ ซึ่งวิธีการกองปุ๋ยหมักสามารถเลือกได้ตามความเหมาะสม แบ่งได้ 5 วิธีการ (ตารางที่ 63) คือ

วิธีการที่ 1 การกองแบบใช้เศษพืชอย่างเดียว ตั้งกองมีขนาดกว้างประมาณ 2 - 3 เมตร สูง 1 - 1.5 เมตร ความยาวไม่จำกัด ใช้ระยะเวลาการย่อยสลายนานเนื่องจากอาศัยความชื้น และจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ

วิธีการที่ 2 การกองโดยผสมมูลสัตว์ นำมาผสมในอัตราส่วนวัสดุเศษพืชต่อมูลสัตว์ 100 ต่อ 20 (โดยน้ำหนัก) การกองไม่มีข้อจำกัดที่แน่นอน อาจใช้มูลสัตว์ในปริมาณมากขึ้นจะเป็นผลดีต่อการย่อยสลาย และคุณภาพของปุ๋ยหมัก โดยนำเศษวัสดุมากองเป็นชั้นกว้างประมาณ 2 - 3 เมตร สูงประมาณ 30 - 40 เซนติเมตร ย่ำให้แน่นและรดน้ำให้ชุ่ม นำมูลสัตว์โรยที่ผิวหน้าให้ทั่ว ทำกองประมาณ 3 - 4 ชั้น

วิธีการที่ 3 การกองโดยผสมมูลสัตว์และปุ๋ยไนโตรเจน สำหรับปุ๋ยไนโตรเจนเป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่จุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษพืชให้รวดเร็วขึ้น วิธีการคือ เศษพืช : มูลสัตว์ : ปุ๋ยไนโตรเจน เท่ากับ 100 : 20 : 20 ตามลำดับ วิธีการเช่นเดียวกับวิธีการที่ 2 การกองวิธีนี้จะช่วยลดระยะเวลาทำปุ๋ยหมักให้สั้นลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเศษพืชที่มีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง

วิธีการที่ 4 การกองโดยผสมสารเร่งประเภทจุลินทรีย์ วิธีการกองปุ๋ยหมักแบบนี้มีส่วนผสมเหมือนที่วิธีการที่ 3 แต่มีการใส่สารเร่งประเภทจุลินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน มีการผลิตสารเร่งซูเปอร์ พด. 1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายเศษพืช ซึ่งการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมจะมีบทบาทอย่างยิ่งต่อการส่งเสริมให้อัตราการย่อยสลายเกิดในอัตราที่รวดเร็วมากยิ่งขึ้น การกองวิธีนี้จะได้ปุ๋ยหมักใช้ได้อย่างรวดเร็วทันฤดูกาลเพาะปลูกเหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีปริมาณเศษพืชมาก มีระบบการชลประทานดี และมีการปลูกพืชหลายครั้งต่อปี

วิธีการที่ 5 การกองโดยวิธีการต่อเชื้อ การทำวิธีการนี้ช่วยให้เกษตรกรสามารถทำปุ๋ยหมักได้อย่างเนื่อง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเร่งทุกครั้ง เพราะสามารถนำปุ๋ยหมักที่ทำได้ใช้แทนเป็นต้นต่อเชื้อจุลินทรีย์สำหรับปุ๋ยหมักกองใหม่ต่อไป โดยใช้อัตราส่วนประกอบด้วยวัสดุเศษพืช 1 ตัน ผสมปุ๋ยหมักที่เป็นแล้ว 200 กิโลกรัม และปุ๋ยไนโตรเจน 2 กิโลกรัม สำหรับการกองเช่นเดียวกับวิธีการที่ 3

(2.2.3) การหมักแบบเหลวใช้ออกซิเจน โดยใช้หมักวัสดุเหลือใช้ที่มีลักษณะสดในสภาพที่เป็นของเหลว เช่น เศษซากสัตว์จากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล เช่น เศษปลา เลือดปลา ก้างปลา เปลือกและหัวกุ้ง และน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตอาหารแปรรูปจากทะเล มีปัจจัยการย่อยสลาย ได้แก่ ชนิดและองค์ประกอบของวัสดุหมัก ความอวบน้ำของวัสดุหมัก การระบายอากาศ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ และความชื้น เป็นปัจจัยสำคัญช่วยเร่งการย่อยสลายเศษวัสดุได้เร็วขึ้นด้วยเทคนิคการเพิ่มแหล่งจุลินทรีย์เร่งการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ เช่น จุลินทรีย์สารเร่งซูเปอร์ พด. 2 ของกรมพัฒนาที่ดิน ระยะเวลาหมัก 20 - 45 วัน เมื่อกระบวนการย่อยสลายสมบูรณ์จะได้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือน้ำหมักชีวภาพ (ตารางที่ 63)

ตารางที่ 63 เทคนิครูปแบบวิธีการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

เทคนิค	การย่อยสลายตามธรรมชาติ	การหมักแบบเร่งย่อยสลาย	การหมักแบบเหลวใช้ออกซิเจน
1. รูปแบบ	1. คลุมดิน 2. โกลบ	การหมักแบบตั้งกอง วิธีที่ 1 การกองใช้เศษพืชอย่างเดียว วิธีที่ 2 การกองผสมมูลสัตว์ วิธีที่ 3 การกองผสมมูลสัตว์และปุ๋ยไนโตรเจน วิธีที่ 4 การกองผสมสารเร่งประเภทจุลินทรีย์ วิธีที่ 5 การกองวิธีการต่อเชื้อ	หมักในภาชนะ
2. เทคนิค	1. คลุมผิวน้ำดิน 2. โกลบขณะดินมีความชื้น	1. แบบกลับกอง 2. แบบไม่กลับกองเติมอากาศ	1. สับวัสดุให้มีขนาดเล็ก 2. คั่น หรือกวนวัสดุวันละ 5 - 10 นาที
3. จุลินทรีย์	จากธรรมชาติ	สารเร่งซูเปอร์ พด. 1	สารเร่งซูเปอร์ พด. 2

ตารางที่ 63 (ต่อ)

เทคนิค	การย่อยสลาย ตามธรรมชาติ	การหมักแบบ เร่งย่อยสลาย	การหมักแบบเหลว ใช้ออกซิเจน
4. วัตถุดิบ	เศษพืช/มูลสัตว์ วัสดุเหลือใช้ อุตสาหกรรมเกษตร	เศษพืช/มูลสัตว์/วัสดุเหลือใช้ อุตสาหกรรมเกษตร	เศษพืชสดอบน้ำ มูลสัตว์ ชากสัตว์ เศษปลา เศษกุ้ง
5. ระยะเวลาหมัก	-	30 - 60 วัน	20 - 45 วัน
6. ผลิตภัณฑ์ จากการหมัก	ฮิวมัส	ปุ๋ยหมัก	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ น้ำหมักชีวภาพ

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน (2558ข)

จากรูปแบบวิธีการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรข้างต้น เมื่อวัสดุอินทรีย์ผ่านกระบวนการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้วจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมเพื่อการบำรุงดิน เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ ช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารพืชเมื่ออยู่ในดิน ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์มีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุและคุณภาพของการหมัก ในเอกสารวิชาการฉบับนี้ ได้รวบรวมค่าวิเคราะห์ทางเคมีของปุ๋ยหมักที่ทำมาจากวัสดุชนิดต่าง ๆ เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินสมบัติของปุ๋ยหมักสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่เกษตรกรรม ดังนี้

(3) สมบัติของปุ๋ยหมัก

(3.1) สมบัติปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เมื่อวัสดุอินทรีย์ย่อยสลายสมบูรณ์จะมีสมบัติทางเคมีที่เหมาะสม เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ และแหล่งธาตุอาหารพืชสำหรับการบำรุงดิน ตัวอย่างเช่น ปุ๋ยหมักฟางข้าวและปุ๋ยหมักขี้เลื่อย มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.48 และ 7.44 ตามลำดับ ปุ๋ยหมักขานอ้อยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.75 ซึ่งปุ๋ยหมักฟางข้าวและปุ๋ยหมักขานอ้อยมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13.79 และ 18.30 ตามลำดับ แต่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 23.35 และค่าการนำไฟฟ้า 2.43 - 11.06 เดซิซีเมนต่อเมตร ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยหมักขานอ้อย และปุ๋ยหมักขี้เลื่อย มีองค์ประกอบของธาตุอาหารประกอบด้วยไนโตรเจนทั้งหมด 1.87 - 2.42 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.16 - 0.33 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมทั้งหมด 1.21 - 3.22 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมทั้งหมด 0.51 - 1.18 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมทั้งหมด 0.29 - 0.60 เปอร์เซ็นต์ และซิลเฟอร์ทั้งหมด 0.65 - 1.54 เปอร์เซ็นต์ และอินทรีย์วัตถุ 59.88 - 87.30 เปอร์เซ็นต์

(ประกาศิต และคณะ, 2552) แสดงรายละเอียดสมบัติของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ปุ๋ยหมักขาน้อย และปุ๋ยหมักขี้เลื่อย ดังตารางที่ 64

ตารางที่ 64 สมบัติของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ปุ๋ยหมักขาน้อย และปุ๋ยหมักขี้เลื่อย

สมบัติ	ปุ๋ยหมักฟางข้าว	ปุ๋ยหมักขาน้อย	ปุ๋ยหมักขี้เลื่อย
pH	7.48	5.75	7.44
EC (dS/m)	11.06	7.73	2.43
C/N ratio	13.79	18.30	23.35
อินทรีย์วัตถุ (%)	59.88	65.42	87.30
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	2.42	1.99	1.87
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.33	0.24	0.16
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	3.22	1.21	1.22
แคลเซียมทั้งหมด (%)	1.18	0.51	1.18
แมกนีเซียมทั้งหมด (%)	0.60	0.29	0.40
ซัลเฟอร์ทั้งหมด (%)	1.54	0.77	0.65

ที่มา: ประกาศิต และคณะ (2552)

(3.2) สมบัติของปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ย่อยสลายยาก ตัวอย่างเช่น ปุ๋ยหมักแกลบ ปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว และปุ๋ยหมักขังข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งมีธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่วงดังนี้ คือ ไนโตรเจน 0.54 - 1.07 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.09 - 0.51 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 0.05 - 1.19 เปอร์เซ็นต์ และธาตุอาหารรองของปุ๋ยหมักจากแกลบ มีแคลเซียม 0.18 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม 0.50 เปอร์เซ็นต์ และซัลเฟอร์ 0.69 เปอร์เซ็นต์ (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข) แสดงสมบัติของปุ๋ยหมักแกลบ ปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว และปุ๋ยหมักขังข้าวโพด ดังตารางที่ 65

ตารางที่ 65 สมบัติของปุ๋ยหมักแกลบ ปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว และปุ๋ยหมักขี้วัวโพด

สมบัติ	ปุ๋ยหมักแกลบ	ปุ๋ยหมักขุยมะพร้าว	ปุ๋ยหมักขี้วัวโพด
pH	-	7.20	-
ไนโตรเจน (%)	0.54	0.61	1.07
ฟอสฟอรัส (P_2O_5) (%)	0.09	0.14	0.51
โพแทสเซียม (K_2O) (%)	0.05	-	1.19
แคลเซียม (%)	0.18	-	-
แมกนีเซียม (%)	0.50	-	-
ซัลเฟอร์ (%)	0.69	-	-

ที่มา: กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน (2558ข)

(3.3) สมบัติของปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เมื่อนำวัสดุย่อยสลายสมบูรณ์มีสมบัติทางเคมีบางประการที่เหมาะสม สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการบำรุงดิน ตัวอย่างเช่น ปุ๋ยหมักกากมันสำปะหลังมีองค์ประกอบ คือ ไนโตรเจน 0.95 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.24 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 1.20 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรดเป็นด่าง 6.80 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 11.84 และอินทรีย์วัตถุ 19.40 เปอร์เซ็นต์ (จิตรทิวา, 2564) เช่น ปุ๋ยหมักจากทะลายปาล์ม มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ไนโตรเจน 1.00 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.21 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 1.04 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรดเป็นด่าง 8.10 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 8.38 และอินทรีย์วัตถุ 20.13 เปอร์เซ็นต์ (ศิริณี, 2558) และปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสีย มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ไนโตรเจน 1.81 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.58 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 0.58 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรดเป็นด่าง 6.80 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 14.10 และอินทรีย์วัตถุ 51.06 เปอร์เซ็นต์ (ประกาศิต และคณะ, 2552) แสดงรายละเอียดสมบัติของปุ๋ยหมักกากมันสำปะหลัง ปุ๋ยหมักทะลายปาล์ม และปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสีย ดังตารางที่ 66

ตารางที่ 66 สมบัติของปุ๋ยหมักกากมันสำปะหลัง ปุ๋ยหมักทะเลาปาล์ม และปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสีย

สมบัติ	ปุ๋ยหมัก กากมันสำปะหลัง ¹	ปุ๋ยหมัก ทะเลาปาล์ม ²	ปุ๋ยหมัก ตะกอนน้ำเสีย ³
pH	6.80	8.10	6.89
C/N ratio	11.84	8.38	14.10
อินทรีย์วัตถุ (%)	19.40	20.13	51.06
ไนโตรเจน (%)	0.95	1.00	1.81
ฟอสฟอรัส (P ₂ O ₅) (%)	0.24	0.21	0.58
โพแทสเซียม (K ₂ O) (%)	1.20	1.04	0.58

ที่มา: ¹จิตรทิวา (2564); ²ศิริาณี (2558); ³ประกาศิต และคณะ (2552)

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ประกาศ เกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งได้กำหนดลักษณะเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการควบคุมคุณภาพ (กรมวิชาการเกษตร, 2557) รายละเอียดดังตารางที่ 67

ตารางที่ 67 เกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

ลำดับที่	ลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 × 12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคมและโลหะอื่น ๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6	ความเป็นกรดเป็นด่าง	5.5 - 8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20 : 1

ตารางที่ 67 (ต่อ)

ลำดับที่	ลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
8	ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต่อเมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	
	- ไนโตรเจน (total N)	ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
	- ฟอสฟอรัส (total P ₂ O ₅)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
	- โพแทสเซียม (total K ₂ O)	ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
		หรือปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกัน
		ไม่น้อยกว่า 2.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
11	ปริมาณเกลือ	ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
12	ปริมาณสารพิษไม่เกินกว่าที่รัฐมนตรี ประกาศกำหนด	

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2557)

(4) การใช้ประโยชน์ของปุ๋ยหมักต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน

คุณสมบัติของปุ๋ยหมักมีประโยชน์เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารต่าง ๆ ของพืช และยังช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติทางชีวภาพของดิน จากการใช้ปุ๋ยหมักติดต่อกันอย่างต่อเนื่อง พบว่า ปุ๋ยหมักที่ใช้มีประโยชน์ต่อการปรับปรุงบำรุงดินทั้งทางตรงและทางอ้อมด้วยกันหลายประการ แต่ปัจจัยหลัก คือ การเป็นแหล่งของสารประกอบฮิวมัสในดิน ซึ่งจะเป็นแหล่งปลดปล่อยธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองของพืช ทำให้ดินมีความสามารถในการผลิตเพิ่มขึ้น และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในการดูดธาตุอาหารไปใช้สร้างส่วนต่าง ๆ ของพืชทั้งใบ ลำต้น กิ่งก้าน ดอกและผล ดังนั้นการใช้ปุ๋ยหมักส่งผลดีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช สามารถสรุปได้ดังนี้

(4.1) ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน

ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมีค่ามากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลดีต่อสมบัติทางกายภาพดินที่ดี ได้แก่ โครงสร้างดินมีเสถียรภาพ ความหนาแน่นรวมต่ำ ดินมีการอุ้มน้ำดีขึ้น การแทรกซึมน้ำของดิน การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดี ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักลงในดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ หรือปานกลาง ให้มีอินทรีย์วัตถุมากขึ้น จะทำให้สมบัติทางกายภาพของดิน

ดังกล่าวข้างต้นดีขึ้น ทำให้พืชที่ปลูกเจริญเติบโตได้ดีเพราะช่วยส่งเสริมให้ระบบรากพืชพัฒนา และมีการกระจายตัวของรากพืชไปได้กว้างและลึกมากขึ้น จึงมีโอกาสดูดธาตุอาหารและน้ำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าเดิม (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ซึ่งการใส่ปุ๋ยหมักลงในดินที่มีลักษณะเนื้อดินต่างกัน มีผลทำให้สมบัติทางกายภาพของดินเปลี่ยนแปลง ดังนี้

สำหรับดินเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียวและดินร่วนเหนียวที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำ จะมีความหนาแน่นรวมสูงรวมทั้งการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศต่ำ เมื่อทำการใส่ปุ๋ยหมักลงในดินเพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุจะมีผลทำให้สมบัติดังกล่าวของดินดีขึ้น (Alexander, 2001; Fullen and Catt, 2004)

สำหรับดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายและดินร่วนปนทรายที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำหรือปานกลาง เมื่อใส่ปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุจะมีผลทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น เนื่องจากฮิวมัสในปุ๋ยหมักเป็นสารเชื่อมที่มีผลทำให้อนุภาคดินเกาะตัวกันเป็นเม็ดดินและก้อนดินตามลำดับ จนทำให้โครงสร้างดินมีเสถียรภาพและทนต่อการกัดกร่อน ซึ่งมีผลทางอ้อมต่อการช่วยควบคุมการเกิดชะล้างพังทลาย (soil erosion) ของหน้าดิน อย่างไรก็ตามการพัฒนาโครงสร้างดินต้องอาศัยเวลาและการใช้ปุ๋ยหมักอย่างต่อเนื่อง (Cosico, 1985; Sdall and Oades, 1982)

จากรายงานผลงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยหมักเพื่อปรับปรุงดิน เช่น การใช้ปุ๋ยหมักในระบบการปลูกพืชหมุนเวียน ช่วยให้ความหนาแน่นรวมของดินต่ำลง อยู่ในช่วงค่า 1.22 - 1.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือการใช้ปุ๋ยหมักเปลือกมันสำปะหลัง อัตรา 3 ตันต่อไร่ ช่วยลดความหนาแน่นรวมของดิน (อรุณพล และคณะ, 2566) หรือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์กากตะกอนจากหม้อกรอง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์กากตะกอนหม้อกรอง อัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่ ช่วยลดความหนาแน่นรวมของดิน และเพิ่มค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดินสูงขึ้น (ชาลินี และคณะ, 2561) ทั้งนี้ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุที่มีสารฮิวมิกประกอบด้วยกรดฮิวมิก ซึ่งมีบทบาทเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของดิน โดยทำให้โครงสร้างของดินมีการอุ้มน้ำ และระบายอากาศให้ดีขึ้น เช่น ทำให้ดินเหนียวมีชั้นดินมีความโปร่งขึ้น ส่งผลให้น้ำและอากาศถ่ายเทได้ดี นอกจากนี้กรดฮิวมิกสามารถป้องกันไม่ให้น้ำระเหยไปจากดิน โดยเฉพาะดินที่มีความเป็นดินเหนียวต่ำ ดินทราย และดินในพื้นที่แห้งแล้ง เพราะประจุบวกที่กรดฮิวมิกได้ดูดซับไว้จะไปสร้างพันธะกับประจุลบของน้ำ คือ ออกซิเจน ส่วนประจุบวกที่เหลืออยู่ในน้ำ คือ ไฮโดรเจน ก็จะสามารถไปสร้างพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมของออกซิเจนในน้ำโมเลกุลอื่น ๆ ต่อไปเรื่อย ๆ มีผลทำให้น้ำระเหยออกจากดินน้อยลง หรือสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น (Burdick, 1965)

(4.2) การปรับปรุงสมบัติทางเคมีดิน

(4.2.1) ปุ๋ยหมักมีจุดเด่นด้านธาตุอาหารพืช คือ มีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุ ที่เป็นองค์ประกอบของธาตุอาหารที่พืชต้องการ แม้แต่ละธาตุจะมีปริมาณที่น้อยกว่าปุ๋ยเคมี และธาตุอาหารในปุ๋ยหมักส่วนมากจะปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ จึงมีการสูญเสียจากการชะล้างน้อยกว่าปุ๋ยเคมี (He *et al.*, 2001) สำหรับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในปุ๋ยหมักเป็นดังนี้

ธาตุไนโตรเจน ปุ๋ยหมักมีธาตุไนโตรเจนในรูปอินทรีย์สารเป็นส่วนมาก ส่วนรูปแอมโมเนียมและไนเตรทมีส่วนน้อย โดยอัตราการเปลี่ยนธาตุไนโตรเจนจากรูปอินทรีย์สารเป็นรูปแอมโมเนียมค่อนข้างช้า ทำให้ไม่ได้ปลดปล่อยธาตุนี้ทั้งหมดให้แก่พืชในฤดูปลูกเดียว แต่สามารถปลดปล่อยให้พืชที่ปลูกตามมาได้อีกด้วย ดังรายงานวิจัยของ Castellanos and Pratt (1981) พบว่า ปุ๋ยหมักจากฟางข้าวกับมูลโคนมมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมได้ 14.2 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมด แต่ปุ๋ยหมักจากตะกอนน้ำเสียกับต้นฝ้ายให้ค่าเพียง 8.3 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมด เนื่องจากองค์ประกอบของไนโตรเจนทั้งหมดและค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่แตกต่างกัน มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม Sikora and Szmidt (2001) เช่น การใช้ปุ๋ยหมักเปลือกมันสำปะหลัง อัตรา 3 ตันต่อไร่เพิ่มไนโตรเจน 0.002 เปอร์เซ็นต์ ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน (อรรถพล และคณะ, 2566)

ธาตุฟอสฟอรัส ปุ๋ยหมักมีค่าธาตุฟอสฟอรัสตั้งแต่น้อยกว่า 0.4 ถึงมากกว่า 23 กรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ผลิต โดยปกติตะกอนน้ำเสียมีธาตุฟอสฟอรัสสูงกว่าวัสดุอินทรีย์อื่นๆ และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากขยะชุมชนเมืองมีธาตุฟอสฟอรัส 2 - 6 กรัมต่อกิโลกรัม หรือเฉลี่ย 3.3 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจะมีปริมาณของธาตุฟอสฟอรัสสูงกว่าธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินที่ใช้เพาะปลูก 2 - 10 เท่า โดยทั่วไปธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมักต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ดินมีอยู่ ส่วนฟอสฟอรัสที่อยู่ในปุ๋ยหมักสามารถปลดปล่อยออกมาในรูปเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ 20 - 40 เปอร์เซ็นต์ (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักเป็นการเพิ่มระดับธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จากการนำปุ๋ยหมักมาสกัดด้วยสารละลาย Mehlich 3 ก่อนใส่ในดินที่ 0 วัน และหลังใส่ในดิน 180 และ 360 วัน พบว่า ปุ๋ยหมักจากขยะในชุมชนสกัดได้เพิ่มจาก 3.3 เป็น 17.3 และ 18.4 เปอร์เซ็นต์ของธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมด และปุ๋ยหมักจากเศษพืชสกัดได้เพิ่มจาก 3.7 เป็น 25.5 และ 27.0 เปอร์เซ็นต์ของธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมด ขณะที่การใช้ปุ๋ยหมักเปลือกมันสำปะหลัง อัตรา 3 ตันต่อไร่ ช่วยเพิ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงขึ้น 0.627 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อรรถพล และคณะ, 2566)

ธาตุโพแทสเซียม ปุ๋ยหมักมีค่าธาตุโพแทสเซียมตั้งแต่ 0.7 ถึงมากกว่า 12 กรัมต่อกิโลกรัม หรือเฉลี่ย 5.4 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์

ต่อพืชได้ง่าย และเป็นแหล่งเสริมของธาตุโพแทสเซียมสำหรับพืช เพราะในดินที่ใช้ในการเกษตร ส่วนมากมีธาตุโพแทสเซียมประมาณ 4 - 25 กรัมต่อกิโลกรัม และมีเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด เท่านั้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (ยงยุทธ และคณะ, 2551) โดยพบว่าธาตุโพแทสเซียมที่สกัดได้จาก ปุ๋ยหมักจากขยะในชุมชนและปุ๋ยหมักจากเศษพืช เมื่อเวลา 0 วัน มีค่า 33.9 และ 73.4 เปอร์เซ็นต์ ของธาตุโพแทสเซียมทั้งหมด ตามลำดับ เมื่อใส่ปุ๋ยหมักจากขยะในชุมชนในดิน 180 วัน สามารถสกัด ธาตุนี้ได้เป็น 71.1 และ 35.7 เปอร์เซ็นต์ของธาตุโพแทสเซียมทั้งหมด ตามลำดับ (He *et al.*, 2001) และจากรายงานการใส่ปุ๋ยหมักทะเลสาบปาล์ม หรือการใส่ปุ๋ยหมักกากตะกอนปาล์ม อัตรา 2 ตันต่อไร่ เพิ่มโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ 88 และ 79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สูงกว่าดินไม่ใส่ปุ๋ยหมัก มีค่า 28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (บัญชา, 2564)

แคลเซียม และแมกนีเซียม ปุ๋ยหมักมีค่าธาตุแคลเซียม ตั้งแต่ 21 - 75 กรัมต่อกิโลกรัม หรือเฉลี่ย 39 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแมกนีเซียมมีค่าตั้งแต่ 1 - 7 กรัม ต่อกิโลกรัม หรือเฉลี่ย 3.5 กรัมต่อกิโลกรัม โดยพบว่าดินเนื้อหยาบและเป็นกรดมีแนวโน้มที่จะขาด ธาตุเหล่านี้ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักก็สามารถช่วยเสริมธาตุเหล่านี้แก่พืชได้ (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

จุลธาตุ ปริมาณของจุลธาตุในปุ๋ยหมักมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบที่นำมาผลิต สำหรับค่าเฉลี่ยธาตุหลัก คือ 9,300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ธาตุโบรอน 44.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ธาตุทองแดง 299 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ธาตุแมงกานีส 483 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ธาตุโมลิบดีนัม 7.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และธาตุสังกะสี 838 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม (ยงยุทธ และคณะ, 2551) เช่น ภายหลังจากใส่ปุ๋ยหมักจากขยะในชุมชน และปุ๋ยหมักจาก เศษพืชลงในดินเป็นเวลา 180 วันขึ้นไป จะมีการปลดปล่อยจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น (He *et al.*, 2001)

(4.2.2) ช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน จากการใส่ปุ๋ยหมัก เช่น การใส่ปุ๋ยหมักจากขานอ้อย และปุ๋ยหมักฟางข้าว มีอัตรา 500 กิโลกรัม ปรับปรุงสมบัติทางเคมีดิน เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงขึ้น (ประกาศิต และคณะ, 2552) เช่นเดียวกับรายงานการใส่ปุ๋ยหมัก กากตะกอนหม้อกรอง อัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้สมบัติดินดีขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ ในดินสูงขึ้น (ชาลินี และคณะ, 2561) และจากรายงานการใส่ปุ๋ยหมักทะเลสาบปาล์ม อัตรา 2 ตันต่อไร่ เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินจาก 2.39 เป็น 2.59 เปอร์เซ็นต์ หรือรายงานการใส่ปุ๋ยหมักกากตะกอนปาล์ม อัตรา 2 ตันต่อไร่ เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินจาก 2.39 เป็น 3.36 เปอร์เซ็นต์ (บัญชา, 2564)

(4.2.3) ช่วยเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน เนื่องจาก ปุ๋ยหมักมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่า 60 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยหมักลงดิน จึงช่วยเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนตามสัดส่วนของอัตราปุ๋ยหมักที่ใส่ลงดิน หากสมบัติดิน มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงขึ้นมีผลดีในการช่วยลดการสูญเสียของธาตุอาหารของปุ๋ยเคมี

รูปประจุบวก เพราะความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกค่อนข้างสูง จะช่วยให้ปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูปของประจุบวกบางชนิดถูกดูดซับไม่สูญเสียไปกับการชะล้าง และพืชก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชมากขึ้น (FAO, 1987)

(4.2.4) ช่วยเพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จากการใส่ปุ๋ยหมักในดินกรดสามารถช่วยลดความเป็นพิษของอลูมิเนียมและแมงกานีสอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักจะช่วยดูดซับธาตุทั้ง 2 ไว้ ทำให้ละลายในสารละลายดินลดลง จากรายงานของ สุรพันธ์ และ ครรชิต (2526) พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักลงดินสามารถลดความเป็นพิษของอลูมิเนียมและแมงกานีสได้ดี ทำให้ถั่วเหลืองที่ปลูกในดินนั้น มีผลผลิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากปุ๋ยหมักช่วยให้สมบัติดินเมื่อดินมีการกรดหรือด่างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินก็จะไม่เปลี่ยนแปลงจนเป็นอันตรายต่อพืช (Qui and Calcinai, 1978) และจากรายงานการใส่ปุ๋ยหมักทะเลสาบปาล์ม ช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินกรดจาก 4.70 เป็น 5.50 เปอร์เซ็นต์ หรือการใส่ปุ๋ยหมักเส้นใยปาล์ม อัตรา 2 ตันต่อไร่ ช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินกรดจาก 4.70 เป็น 5.20 เปอร์เซ็นต์ (บุญชา, 2564)

(4.3) ปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน

การใส่ปุ๋ยหมักลงในดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำหรือปานกลาง เป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งเป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้มีผลต่อการเพิ่มปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ในดิน รวมทั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดิน เช่น กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สาร กระบวนการแปรสภาพของอินทรีย์สารจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น การเปลี่ยนรูปอนุมูลแอมโมเนียม ซึ่งเป็นรูปที่พืชดูดนำไปใช้ได้ยากให้อยู่ในรูปไนโตรที่เป็นไนเตรต ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ง่าย และกระบวนการตรึงไนโตรเจน เป็นต้น (Alexander, 1977) และจากรายงานการใส่ปุ๋ยหมักในดินมีส่วนช่วยลดปริมาณเชื้อโรคพืชบางชนิดในดิน และมีผลให้พืชเกิดโรคดังกล่าวน้อยลง นอกจากนั้นยังพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักทำให้ปริมาณแบคทีเรียในดินเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจำนวนของแบคทีเรียมีผลช่วยยับยั้งการเจริญและความสามารถในการก่อให้เกิดโรคพืชของเชื้อโรค โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้รากพืช อีกทั้งช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน (Nishio and Kusano, 1980) และช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ดิน ทำให้เกิดกรดอินทรีย์หลายชนิด ซึ่งกรดอินทรีย์บางชนิดพืชสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง บางชนิดมีผลต่อการปลดปล่อยและเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอีกทีหนึ่ง (Kucey, 1983) และจากรายงานของ จันจิรา และ วรยา (2558) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักลงดินอย่างต่อเนื่อง 2 ปี ส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างประชากรแบคทีเรียกับ

กิจกรรมเอนไซม์อย่างชัดเจน มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกิจกรรมเอนไซม์ในดินเพิ่มขึ้น ได้แก่ เซลลูเลส (cellulase) เบต้ากลูโคซิเดส (β - glucosidase) โปรติเอส (protease) และฟอสฟาเทส (phosphatase) สูงมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยหมัก โดยการใส่ปุ๋ยหมักจะช่วยเพิ่มกิจกรรมเอนไซม์ลงดิน ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดในดินที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร สูงกว่าที่ระดับความลึก 15 - 30 เซนติเมตร (Chang *et al.*, 2007) อีกทั้งการใส่ปุ๋ยหมักช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินสูงขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณไส้เดือนดิน ซึ่งกิจกรรมของไส้เดือนมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างดินในการสร้างโพรงที่ต่อเนื่องในเนื้อดิน ช่วยในการระบายน้ำ และถ่ายเทอากาศ ส่งผลให้รากพืชเจริญเติบโตดีขึ้น (ยังยุทธ์ และคณะ, 2551)

(5) การใช้ประโยชน์ของปุ๋ยหมักต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของพืช

ปุ๋ยหมักมีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารต่าง ๆ ของพืช สำหรับการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติทางชีวภาพของดิน ทำให้ดินมีความสามารถในการผลิตเพิ่มขึ้น และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในการดูดธาตุอาหารไปใช้สร้างส่วนต่าง ๆ ของพืชทั้งใบ ลำต้น กิ่งก้าน ดอก และผล โดยตัวอย่างงานวิจัยจากการใช้ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น การใช้ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว อัตรา 0 2 4 และ 6 ตันต่อไร่ มีผลให้ผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการใส่ที่เพิ่มขึ้นจาก 1,433.5 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 1,817.50 2,133.40 และ 2,312.40 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ หรือการใช้ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว อัตรา 2 ตันต่อไร่ ในการปรับปรุงดินนาในท้องที่จังหวัดสุรินทร์อย่างต่อเนื่องถึง 12 ปี สามารถเพิ่มผลผลิตของข้าว กข. 7 จากปีแรกของการทดลองได้ผลผลิตเพียง 265 กิโลกรัมต่อไร่ และได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 621 กิโลกรัมต่อไร่ ในปีที่ 12 ของการทดลอง หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 365 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) และจากตัวอย่างผลงานวิจัยการใช้ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น จากระายงานการใช้ปุ๋ยหมักจากกากตะกอนหม้อกรอง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้ผลผลิตอ้อยสดสูงสุด 19.94 ตันต่อไร่ หรือการใช้ปุ๋ยหมักจากกากตะกอนหม้อกรอง อัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตอ้อยสด 18.26 ตันต่อไร่ (ชาลินี และคณะ, 2561) หรือจากการใช้วัสดุอินทรีย์ ได้แก่ ทะลายปาล์ม กากตะกอนปาล์ม ชี้เถ้าปาล์ม เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม ทุกชนิดในอัตรา 2 ตันต่อไร่ เพื่อการปรับปรุงดินสำหรับการปลูกคะน้า ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต และผลผลิตคะน้าสูงขึ้น (บัญชา, 2564) และการใช้ปุ๋ยหมักเปลือกมันสำปะหลัง อัตรา 3 ตันต่อไร่ ส่งผลให้ดินมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ได้แก่ ไนโตรเจน 0.002 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 0.627 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังสูงขึ้น (อรรถพล และคณะ, 2566)

(6) การใช้ประโยชน์ปุ๋ยหมักเพื่อบำรุงดินสำหรับพืชแต่ละชนิด

การใช้ประโยชน์ปุ๋ยหมักเพื่อบำรุงดินสำหรับพืชแต่ละชนิด สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ คุณภาพของปุ๋ยหมักเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากการใส่ปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายไม่สมบูรณ์จะเป็นผลเสียต่อพืชที่ปลูกในบริเวณใกล้เคียงที่จุลินทรีย์ดินเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายจะดึงไนโตรเจนจากดิน ณ บริเวณนั้นไปใช้ในการเจริญของจุลินทรีย์ จนทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินน้อยลงเป็นลำดับจนถึงระดับขาดไนโตรเจน มีผลทำให้พืชแสดงอาการขาดไนโตรเจน อีกทั้งการใช้ประโยชน์ปุ๋ยหมักเพื่อบำรุงดินสำหรับพืชแต่ละชนิด จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีอยู่ในดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดินรวมถึงความต้องการธาตุอาหารของพืชด้วย โดยทั่วไปแล้วอัตราการใส่ปุ๋ยหมักสำหรับพืชแต่ละชนิดนั้น ไม่ได้มีข้อกำหนดที่แน่นอน สำหรับการแนะนำและส่งเสริมให้เกษตรกร ปัจจุบันมีคำแนะนำการใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพลดต้นทุนค่าปุ๋ยเคมี ลดการสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้าง และปรับปรุงบำรุงดิน โดยสำหรับความเหมาะสมในการนำปุ๋ยหมักไปใช้ประโยชน์คำแนะนำอัตราและวิธีการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมีสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข) ดังตารางที่ 68 มีรายละเอียดดังนี้

(6.1) ใส่แบบหว่านทั่วแปลง การใส่ปุ๋ยหมักแบบนี้เป็นวิธีการที่ดีต่อการปรับปรุงบำรุงดิน เนื่องจากปุ๋ยหมักจะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง แต่จะเหมาะสมสำหรับแปลงปลูกพืชที่มีขนาดใหญ่ไม่มากนัก เนื่องจากอาจมีปัญหาทางด้านแรงงานที่ใช้ในการใส่ปุ๋ยหมักส่วนมากจะใช้กับการปลูกข้าว พืชผัก หรือไม้ตัดดอกสำหรับการปลูกข้าวอัตราของปุ๋ยหมักที่ใช้ประมาณ 2 - 4 ตันต่อไร่ต่อปี ใส่ขณะเตรียมดินโดยหว่านให้ทั่วแปลงแล้วจึงทำการไถกลบลงไปทันที โดยใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีสำหรับดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวและดินร่วน เช่น ดินนาภาคกลางและดินภาคเหนือจะใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 20 - 0 18 - 22 - 0 หรือ 20 - 20 - 0 แต่ถ้าดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เช่น ดินนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายจะใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 16 - 8 หรือ 18 - 12 - 6 ในอัตรา 15 - 30 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนกรณีของพืชผักจะใช้ปุ๋ยหมักในอัตรา 4 - 6 ตันต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 25 - 30 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับพืชผักที่ปลูกเพื่อรับประทานต้นและใบ และปลูกเพื่อรับประทานผลจะใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15 - 15 - 15 20 - 10 - 10 หรือ 15 - 10 - 10 ส่วนพืชที่ปลูกเพื่อรับประทานหัวจะใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 20 - 10 - 10 15 - 15 - 10 หรือ 16 - 16 - 24 สำหรับไม้ตัดดอกจะใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1 - 3 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15 - 15 - 15 10 - 20 - 10 หรือ 12 - 24 - 12 อัตรา 30 - 50 กิโลกรัมต่อไร่

(6.2) ใส่แบบเป็นแถว การใส่ปุ๋ยหมักแบบเป็นแถวตามแนวปลูกพืช มักใช้กับการปลูกพืชไร่ วิธีการใส่ปุ๋ยหมักแบบเป็นแถวนี้เหมาะที่เข้าร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีแบบโรยเป็นแถวสำหรับการปลูกพืชไร่ทั่วไป เนื่องจากปุ๋ยหมักช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีที่ใส่ให้เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชอัตราปุ๋ยหมักที่ใช้ประมาณ 2 - 4 ตันต่อไร่ต่อปี โดยใช้ร่วมกับ

ปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 20 - 0 และ 18 - 22 - 0 ในอัตรา 25 - 50 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ สูตรปุ๋ยอาจจะต้องใส่โพแทสเซียมเพิ่มขึ้นด้วย เช่น สูตร 15 - 15 - 15 14 - 14 - 21 หรือ 16 - 16 - 8

(6.3) ใส่แบบเป็นหลุม การใส่ปุ๋ยหมักแบบเป็นหลุมมักจะใช้กับการปลูกไม้ผล ไม้ยืนต้น และไม้ดอกยืนต้น โดยสามารถใส่ปุ๋ยหมักได้ 2 ระยะ คือในช่วงแรกของการเตรียมหลุมโดยนำดินด้านบนของหลุมคลุกเคล้ากับปุ๋ยหมักแล้วใส่ลงก้นหลุมหรืออาจจะใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย อีกระยะหนึ่งอาจจะใส่ปุ๋ยหมัก ในช่วงที่พืชเจริญแล้วโดยการขุดเป็นร่องรอบต้นตามแนวทรงพุ่มของต้นพืชแล้วใส่ปุ๋ยหมักลงในร่องแล้วกลบด้วยดิน หรืออาจจะใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมักในช่วงนี้ได้เช่นกัน อัตราการใช้ปุ๋ยหมักกับผลไม้ ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่จะใส่ประมาณ 25 - 50 กิโลกรัมต่อหลุม สำหรับไม้ผลไม้ยืนต้นประเภทต้นขนาดเล็กจะใส่ปุ๋ยหมัก 15 - 25 กิโลกรัมต่อหลุม ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 20 - 10 - 10 15 - 15 - 15 14 - 14 - 21 หรือ 12 - 24 - 12 ในอัตรา 100 - 200 กรัมต่อหลุม ส่วนไม้ดอกยืนต้นจะใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 5 - 10 กิโลกรัมต่อหลุม ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15 - 15 - 15 10 - 20 - 10 หรือ 12 - 24 - 12 อัตรา 25 - 45 กรัมต่อหลุม ในกรณีที่ใส่ปุ๋ยหมักกับต้นไม้ที่เจริญแล้วอัตราการใช้จะเพิ่มขึ้นตามส่วน และมักจะใส่ปุ๋ยหมักปีเว้นปี

(6.4) ใส่แบบผสมคลุกเคล้าให้เข้ากับดิน การใส่ปุ๋ยหมักโดยวิธีนี้เหมาะสำหรับการปลูกไม้ดอกไม้ประดับในกระถาง โดยนำปุ๋ยหมักผสมคลุกเคล้ากับดิน ในกรณีที่ดินเป็นดินเหนียวจะใช้ปุ๋ยหมัก 1 กิโลกรัมต่อดินเหนียว 4 กิโลกรัม หรืออัตราส่วน 1 : 4 แต่ถ้าดินเป็นดินทรายจะใส่ปุ๋ยหมัก 1 กิโลกรัมต่อดินทราย 2 กิโลกรัม หรืออัตราส่วน 1 : 2 โดยใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 10 - 20 - 10 12 - 24 - 12 หรือ 15 - 15 - 15 ในอัตรา 0.8 - 1.6 กรัมต่อน้ำหนักวัสดุปลูก 10 กิโลกรัม และสำหรับแปลงเพาะกล้าผักใช้ปุ๋ยหมักอัตรา 2 - 4 กิโลกรัม ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร คลุกเคล้ากับดิน

การใช้ประโยชน์ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อบำรุงดินสำหรับพืชแต่ละชนิดในพื้นที่เกษตรกรรมแต่ละภาคของประเทศเป็นแนวทางการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตพืช ควรบำรุงดินอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอเป็นวิธีรักษาคุณภาพดินในพื้นที่เพาะปลูกอย่างยั่งยืน

ตารางที่ 68 อัตราและวิธีการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมีสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ

ชนิดพืช	ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ต่อปี		วิธีการใส่ปุ๋ยหมัก
	ปุ๋ยหมัก	ปุ๋ยเคมี	
<u>ข้าว</u>	2 - 4 ตันต่อไร่	15 - 30 กิโลกรัมต่อไร่ 16 - 20 - 0 18 - 22 - 0 20 - 20 - 0 16 - 16 - 8	- หว่านทั่วพื้นที่แล้วไถกลบ ก่อนการปลูกพืช
<u>พืชไร่</u>	2 - 4 ตันต่อไร่	25 - 50 กิโลกรัมต่อไร่ 16 - 20 - 0 18 - 22 - 0 14 - 14 - 21 15 - 15 - 15	- ใส่เป็นแถวตามแนวปลูกพืช แล้วคลุกเคล้ากับดิน
<u>พืชผัก</u>			
1. แปลงเพาะกล้า	2 - 4 กิโลกรัม ต่อตารางเมตร	25 - 50 กิโลกรัมต่อไร่ 15 - 15 - 15 20 - 10 - 10	- ใส่ปุ๋ยหมักคลุกเคล้ากับ ดินในแปลงเพาะกล้าขณะ เตรียมดินปลูก
2. แปลงปลูกผัก ขนาดใหญ่	4 - 6 ตันต่อไร่	15 - 15 - 10 16 - 16 - 24	- หว่านให้ทั่วแปลงปลูกแล้ว ไถกลบขณะเตรียมดิน
<u>ไม้ผล ไม้ยืนต้น</u>			
1. ต้นขนาดใหญ่	25 - 50 กิโลกรัม ต่อหลุม	100 - 200 กรัมต่อหลุม 20 - 10 - 10 15 - 15 - 15	- ใส่ปุ๋ยหมักตอนเตรียมหลุม ปลูกโดยคลุกเคล้ากับดิน แล้วใส่ด้านล่างของหลุม
2. ต้นขนาดเล็ก	15 - 25 กิโลกรัม ต่อหลุม	14 - 14 - 21 12 - 24 - 12	- ใส่ปุ๋ยหมักตอนพืชเจริญแล้ว ขุดร่องรอบต้นตามแนวทรง พุ่มใส่ปุ๋ยหมักในร่องแล้ว กลบด้วยดิน

ตารางที่ 68 (ต่อ)

ชนิดพืช	ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ต่อปี		วิธีการใส่ปุ๋ยหมัก
	ปุ๋ยหมัก	ปุ๋ยเคมี	
ไม้ดอกไม้ประดับ		15 - 15 - 15 10 - 20 - 10	
1. ไม้ตัดดอก	1 - 3 ต้นต่อไร่	12 - 24 - 12	- หวานให้ทั่วพื้นที่แล้ว สับกลบ ก่อนการปลูกพืช
2. ไม้ดอกยืนต้น	5 - 10 กิโลกรัมต่อไร่	30 - 50 กิโลกรัมต่อไร่ 25 - 45 กรัมต่อหลุม	- ใส่ปุ๋ยหมักคลุมเคล้ากับ ดินบนร่องกันหลุมปลูก
3. ไม้ประดับ	1 กิโลกรัมต่อดินเหนียว 4 กิโลกรัม 1 กิโลกรัมต่อดินทราย 2 กิโลกรัม	0.8 - 1.6 กรัมต่อวัสดุ ปลูก 10 กิโลกรัม	- ใส่ปุ๋ยหมักผสมคลุกเคล้า ให้เข้ากับดิน

ที่มา: กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน (2558ข)

(7) การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร

(7.1) การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล

ประเทศไทยผลิตน้ำตาลจากอ้อยได้ผลพลอยได้เป็นวัสดุเหลือใช้ที่สำคัญ และมีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น ชานอ้อย กากตะกอนหม้อกรอง และกากน้ำตาล ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช และผลิตภัณฑ์ใหม่มูลค่าสูงที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร ดังนี้

(7.1.1) สารปรับปรุงดิน มีรายงานการใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบดูดซับน้ำจากส่า และเติมผงหัวเชื้อจุลินทรีย์ และคลุกเคล้าให้ทั่วกองปุ๋ย ปล่อยให้เกิดการหมักเป็นเวลา 1 เดือน จะได้สารปรับสภาพดิน โดยการเติมชานอ้อยลงในดินช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของรากพืช เพิ่มปริมาณเอนไซม์ในดิน เพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ช่วยเพิ่มปริมาณของเชื้อราไมคอร์ไรซา แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน แบคทีเรียย่อยสลายธาตุฟอสฟอรัส และแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ (พูนสุข, 2558) และการใช้ประโยชน์กากตะกอนหม้อกรองเพื่อปรับปรุงดินในแปลงปลูกอ้อยใหม่ เมื่อทำการไถหรือถอนตออ้อยเก่า หรือการไถเปิดหน้าดิน เพื่อจะ

ปลูกอ้อยใหม่ ก่อนการปลูกอ้อยครั้งต่อไปให้นำกากตะกอนหม้อกรองมาใส่ในอัตรา 18 - 20 ตันต่อไร่ โดยใส่ให้กระจายกันทั่วทั้งแปลง ประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องหว่านปุ๋ยหมัก หรือถ้าไม่มีเครื่องหว่านปุ๋ยหมักให้นำกากตะกอนหม้อกรองมาเทกองไว้ตามจุดต่าง ๆ ในแปลงที่จะปลูกอ้อย ต่อจากนั้นใช้รถไถดัดใบมีดเกดหน้า ทำการเกลี่ยให้กากตะกอนหม้อกรองกระจายไปทั่วทั้งแปลง ไถพรวนให้กากตะกอนหม้อกรองคลุกเคล้าลงไปในดิน พักดินทิ้งไว้ 1 - 2 เดือน หลังจากพักดินแล้ว จึงทำการเตรียมดินเพื่อปลูกอ้อยต่อไป (มิตรผลโมเดิร์นฟาร์ม, 2564) อีกทั้งใช้ประโยชน์กากตะกอนหม้อกรองเพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี อัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับลดการใช้ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปรับปรุงดินเพื่อการปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น มีผลต่อคุณภาพดินดีขึ้น ได้แก่ ลดความเป็นกรดของดินจาก 5.90 เพิ่มขึ้นเป็น 7.00 คิดเป็น 18.64 เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์วัตถุจาก 1.50 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 1.91 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็น 27.33 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสต่ำมาก เพิ่มขึ้นเป็น 4.05 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมต่ำมาก เพิ่มขึ้นเป็น 6.96 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตเพิ่มขึ้น 31.55 ตันต่อไร่ สูงกว่าไม่ใส่ให้ผลผลิต 12.99 ตันต่อไร่ (ณัฐวุฒิ, 2561) สำหรับการปลูกข้าวจากการใช้ประโยชน์กากตะกอนหม้อกรอง เพื่อการปรับปรุงดินสำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในเนื้อดินร่วนเหนียว การใส่กากตะกอนหม้อกรอง 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 3 - 6 - 6 กิโลกรัม N - P₂O₅ - K₂O ต่อไร่ มีผลให้สมบัติดินภายหลังใส่ลงดินมีความเป็นกรดเป็นด่างจาก 5.25 เพิ่มขึ้นเป็น 5.58 อินทรีย์วัตถุจาก 1.33 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 1.69 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสจาก 8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นเป็น 44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมจาก 85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้น 87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการปลูกข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 ในเนื้อดินร่วนเหนียวปนทราย การใส่กากตะกอนหม้อกรอง 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 12 - 6 - 6 กิโลกรัม N - P₂O₅ - K₂O ต่อไร่ มีผลให้สมบัติดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างจาก 5.43 เพิ่มขึ้นเป็น 6.47 อินทรีย์วัตถุจาก 0.87 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเป็น 0.64 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสจาก 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นเป็น 53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผลผลิตข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวหอมมะลิ 105 เพิ่มขึ้น 7 - 15 เปอร์เซ็นต์ (วิวัฒน์ และคณะ, 2550) และสำหรับการปลูกข้าวโพดหวาน จากการใช้ประโยชน์กากตะกอนหม้อกรอง เพื่อการปรับปรุงดินสำหรับการปลูกข้าวโพดหวาน จากรายงานการใช้กากตะกอนหม้อกรองร่วมกับมูลสุกร อัตราเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี 16 - 20 - 0 อัตรา 20 กิโลกรัม N - P₂O₅ - K₂O ต่อไร่ มีผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจาก 7.50 เพิ่มขึ้นเป็น 8.23 อินทรีย์วัตถุจาก 1.80 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 2.33 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสจาก 48.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลดลงเป็น 35.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผลผลิตข้าวโพดหวาน 4,260.41 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมี 16 - 20 - 0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิต 4,217.17 กิโลกรัมต่อไร่ (กนกภรณ์ และคณะ, 2562)

(7.1.2) ปุ๋ยอินทรีย์ จากวัสดุเหลือใช้ของโรงงานน้ำตาล เช่น ปุ๋ยหมักจากขานอ้อย เนื่องจากขานอ้อยมีองค์ประกอบของเยื่อใย มีปริมาณธาตุอาหารหลัก และ

ธาตุอาหารรองของพืชค่อนข้างต่ำ มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงใช้เวลานานในการทำปุ๋ยหมัก ดังนั้นการปรับสภาพกองปุ๋ยหมักให้เหมาะสมก่อนการหมัก ช่วยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายได้เร็วขึ้น และได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ เช่น การผลิตปุ๋ยหมักจากขานอ้อยแบบผสมผสานส่วนผสมตัวอย่างเช่น การหมักขานอ้อย 500 กิโลกรัม น้ำหมักปุ๋ยยูเรีย 6.2 กิโลกรัม น้ำหมักปุ๋ยคอก 50 กิโลกรัม และปริมาตรน้ำ 483.1 ลิตร ภายหลังการหมักสมบูรณ์ ปุ๋ยหมักขานอ้อยมีสมบัติทางเคมี ประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุ 65.42 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.75 ค่าการนำไฟฟ้า 7.73 เดซิซีเมนต่อเมตร ไนโตรเจน 1.19 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.24 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 1.21 เปอร์เซ็นต์ มีกระบวนการย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักใกล้เคียงกับเปลือกยูคาลิปตัส และฟางข้าว เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพปุ๋ยหมักในการปรับปรุงสมบัติทางเคมีดิน พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นไม่ต่างกับการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าว มีอินทรีย์วัตถุ 1.94 และ 1.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ ลดความหนาแน่นรวมของดิน และสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวให้ดีขึ้น (ประกาศิต และคณะ, 2552) ขณะที่การผลิตปุ๋ยหมักจากขานอ้อยผสมกับกากตะกอนถั่วจากหม่อนน้ำ และซีลี้อย โดยมีการเติมปุ๋ยเคมีสูตร 46 - 0 - 0 และปุ๋ยเคมีสูตร 0 - 46 - 0 ลงในปุ๋ยแล้วหมัก โดยใช้จุลินทรีย์ช่วยเร่งการหมักทำให้อุณหภูมิของปุ๋ยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 63 - 66 องศาเซลเซียส ผลิตปุ๋ยหมักได้ภายใน 5 สัปดาห์ ปุ๋ยหมักที่ได้มีค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงจาก 82 : 1 เป็น 14 : 1 ได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพ และสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ที่เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2557) ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน และจากรายงานของซาลินี และคณะ (2561) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนผสมประกอบด้วยกากตะกอนหม้อกรอง ซีลี้อย ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (สูตร 21 - 0 - 0) และหินฟอสเฟต ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันปรับความชื้นด้วยน้ำให้อยู่ในระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ กลับกองปุ๋ยทุก 7 วัน กระทั่งครบ 2 เดือน มีคุณสมบัติประกอบด้วยความเป็นกรดเป็นด่าง 5.20 ค่าการนำไฟฟ้า 5.60 เดซิซีเมนต่อเมตร อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10.15 อินทรีย์วัตถุ 43.90 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 2.51 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 4.89 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 1.65 เปอร์เซ็นต์ ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืช 89.09 เปอร์เซ็นต์ และจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์กากตะกอนหม้อกรอง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีเทียบเท่าธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้ผลผลิตอ้อยสดสูงสุด 19.94 ตันต่อไร่ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์กากตะกอนหม้อกรอง อัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตอ้อยสด 18.26 ตันต่อไร่ มีผลให้อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดินสูงที่สุด

(7.1.3) น้ำหมักชีวภาพ การใช้ประโยชน์จากกากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหาร และแหล่งคาร์บอนในการเพิ่มจำนวนมากขึ้น แล้วจึงสร้างกรดอินทรีย์และเอนไซม์มาใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์ในกระบวนการหมัก ทำให้ได้สารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น การผลิตน้ำหมักชีวภาพ

จากพืชผัก และซากสัตว์ด้วยจุลินทรีย์สารเร่งซูปเปอร์ พด. 2 การผลิตสารบำบัดน้ำเสียจัดกลั่นหมื่น จากเศษอาหารขยะสดอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์สารเร่งซูปเปอร์ พด. 6 การผลิตสารกำจัดแมลงศัตรูพืช จากพืชสมุนไพรด้วยจุลินทรีย์สารเร่งซูปเปอร์ พด. 7 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(7.1.4) ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ เช่น การใช้กากตะกอนหม้อกรอง เป็นวัสดุรองรับผลิตภัณฑ์ไรโซเบียม จากคุณสมบัติของกากตะกอนหม้อกรองที่มีลักษณะปนเป็น ชั้นเล็ก ๆ มีองค์ประกอบของสารแขวนลอยอินทรีย์และอนินทรีย์หลายชนิด เป็นแหล่งอาหารสำหรับ เลี้ยงเชื้อไรโซเบียม ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน การเกิดปม และผลผลิตถั่วเหลือง สายพันธุ์ สจ. 5 ไม่แตกต่างกับการใช้พีทมอสเป็นวัสดุพาหะ (วิทยา, 2541) และจากรายงานการใช้ กากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารสำหรับการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ จากคุณสมบัติของ กากน้ำตาลมีองค์ประกอบแหล่งอาหารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ คือ สารอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) เป็นแหล่งอาหารสำคัญของจุลินทรีย์ หรือสตาร์ทเตอร์ (starter) สูงถึง 35 เปอร์เซ็นต์ โดยประโยชน์ของกากน้ำตาลนอกจากเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ระยะเริ่มต้นแล้ว กากน้ำตาลยังทำหน้าที่ดูดน้ำเลี้ยงออกจากเซลล์พืช หรือเซลล์สัตว์ ทำให้เซลล์เหี่ยวและแตก จึงง่ายต่อการกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ส่งผลให้กระบวนการหมักของปุ๋ยน้ำเกิดได้รวดเร็วขึ้น (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข) และจากรายงานของอภิเชษฐ์ และคณะ (ม.ป.ป.) ศึกษาสูตร อาหารในการผลิตแบคทีเรียกรดแลคติก *Lactobacillus acidophilus* TISTR 1338 ใช้กากน้ำตาล และกากเซลล์ยีสต์ เป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งไนโตรเจน ทดแทนการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่า กากน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย ส่วนผสมประกอบด้วยกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 11 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ผสมกับกากเซลล์ยีสต์ ที่มีความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถเพิ่มปริมาณเซลล์จุลินทรีย์สูงสุด 9.33 log CFU ต่อมิลลิลิตร ที่เวลา 22 ชั่วโมง และจากรายงานผลการใช้กากน้ำตาลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งอาหารและแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญเติบโตของ *Azotobacter vinelandii* เป็นเชื้อ ที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนให้กับพืช (การุจิ, 2556)

(7.1.5) ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถสร้าง ธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน และสร้าง ฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 4 ประเภท ได้แก่ แบคทีเรีย ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ *A. tropicalis* เป็นจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดินสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจน ในอากาศ และเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช แบคทีเรียที่ให้ธาตุฟอสฟอรัส เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดอินทรีย์ปลดปล่อยออกมาละลายสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ใน รูปไม่ละลาย เช่น หินฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ ได้แก่ แบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Burkholderia unamae* แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม *Bacillus subtilis* เป็นจุลินทรีย์ที่ปลดปล่อย

กรดอินทรีย์ ช่วยละลายแร่ธาตุที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สามารถละลายโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น 9.02 เปอร์เซ็นต์ (ฉวีวรรณ และคณะ, 2552) และแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช (plant hormones) ได้แก่ ออกซิน (auxin) จิบเบอเรลลิน (gibberellin) และไซโตไคนิน (cytokinin) กระตุ้นการเจริญของรากขนอ่อน และช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากทำให้มีความสามารถในการดูดน้ำและธาตุอาหารของพืชเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ แบคทีเรียสร้างสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช *A. chroococcum* สามารถสร้างฮอร์โมนออกซิน 56.18 มิลลิกรัมต่อลิตร (Leaungvutiviroj *et al.*, 2010) มีวิธีการขยายเชื้อจากการใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารสำหรับการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ผลิตปุ๋ยชีวภาพแบบเหลว และจากรายงานการขยายเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ในกากน้ำตาล เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพชนิดเหลว โดยวิธีการขยายปริมาณหัวเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว ส่วนผสมประกอบด้วยกากน้ำตาล ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ผสมกับน้ำเปล่าที่สะอาด เติมออกซิเจนในถังขยายเชื้อนาน 48 ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อ ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ 6.62 log CFU ต่อมิลลิลิตร แบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช 6.74 log CFU ต่อมิลลิลิตร แบคทีเรียละลายฟอสเฟต 8.19 log CFU ต่อมิลลิลิตร และแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม 8.53 log CFU ต่อมิลลิลิตร (จันจิรา และคณะ, 2560)

วิธีการขยายเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ผลิตเป็นหัวเชื้อเหลว จากกากน้ำตาล ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน (2562ค) รายละเอียดดังนี้

วัสดุสำหรับขยายเชื้อ

กากน้ำตาล	25	ลิตร
น้ำ	75	ลิตร
ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12	1	ซอง
เครื่องปั๊มออกซิเจน	1	ชุด

วิธีการขยายเชื้อ

นำกากน้ำตาล 25 ลิตร ผสมกับน้ำ 475 ลิตร ใส่ลงในถัง แล้วคนให้เข้ากัน นำปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 จำนวน 1 ซอง ผสมให้เข้ากันในถัง แล้วเติมออกซิเจนด้วยเครื่องปั๊มออกซิเจนปลา ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 2 วัน แล้วนำหัวเชื้อที่ขยายแล้วไปใช้เป็นส่วนผสมในปุ๋ยอินทรีย์

วิธีการอัดเม็ด

ขั้นตอนที่ 1 นำปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ขยายเชื้อในกากน้ำตาล 25 ลิตร ผสมกับปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม และคลุกเคล้าให้เข้ากัน นำวัสดุที่ผสมเข้ากันแล้วเข้าเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย

ขั้นตอนที่ 2 นำปุ๋ยชีวภาพที่อัดเม็ดแล้วนำมาฝังในที่ร่ม เพื่อลดความชื้นให้ได้ 10 - 15 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 5 วัน แล้วจึงนำไปใช้ประโยชน์ สามารถเก็บรักษาได้นาน 30 วัน

อัตราการใช้

ข้าว พืชไร่ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่

ไม้ผลหรือไม้ยืนต้น อัตรา 3 - 5 กิโลกรัมต่อต้น

จากรายงานการใช้ประโยชน์จากหัวเชื้อจุลินทรีย์ พด. 12 ชนิดเหลวที่ขยายปริมาณหัวเชื้อ พด. 12 ในน้ำที่มีกากน้ำตาลความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ บ่มออกซิเจนนาน 48 ชั่วโมง โดยใช้หัวเชื้อ 25 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับปุ๋ยหมัก 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บรักษาคงความมีชีวิตรอดของจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด ในปุ๋ยชีวภาพชนิดเม็ดได้นาน 30 วัน และจากการใช้ปุ๋ยชีวภาพชนิดเม็ด อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่า 1,344.00 - 1,532.60 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเมล็ด 1,398.90 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยชีวภาพขยายในปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ด สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (จันจิรา และคณะ, 2559)

(7.1.6) ผลิตภัณฑ์เอนไซม์ การใช้ประโยชน์จากชุมชนอ้อย และชุมชนอ้อยเป็นซับสเตรต (substrates) สำหรับการเจริญของจุลินทรีย์สังเคราะห์เซลล์ลูโลส ผลิตภัณฑ์เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เอนไซม์เซลลูเลส (cellulose) ไซลานเนส (xylanase) แอลฟา - กาแล็กโทซิเดส (alpha - galactosidase) อะซีติลเอสเทอเรส (acetyl esterase) และเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) เป็นต้น หรือตัวเซลล์ พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนจากจุลินทรีย์ (single cell protein) นำมาพัฒนาต่อยอดประยุกต์ใช้ประโยชน์ พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อินทรีย์สารสำหรับบำรุงดินทางการเกษตร เช่น ผลิตภัณฑ์เอนไซม์เซลลูเลสเร่งการย่อยสลายเศษพืช เป็นต้น (พูนสุข, 2558) แสดงผลิตภัณฑ์ชีวภาพชนิดใหม่จากชุมชนอ้อย ดังตารางที่ 69

ตารางที่ 69 ผลิตภัณฑ์ชีวภาพชนิดใหม่จากขานอ้อย

วัสดุเหลือใช้	ผลิตภัณฑ์	สภาวะการเลี้ยงและผลการทดลอง
ขุยมะพร้าว	โปรตีนจาก จุลินทรีย์	<i>Cellulomonas</i> sp. llbc ใช้ขุยมะพร้าวที่ผ่าน การแปรรูป ด้วย 0.2 M NaOH ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง หรือ 0.4 M NaOH ที่ อุณหภูมิห้อง เวลามากกว่า 4 ชั่วโมง
ขุยมะพร้าว	โปรตีนจาก จุลินทรีย์	<i>Cellulomonas</i> sp. และ <i>Pseudomonas</i> sp. C - 88 อยู่ร่วมกันแบบ symbiosis ได้ผลิตภัณฑ์สูง 19.4 กรัมต่อลิตร
ขานอ้อย	โปรตีนจาก จุลินทรีย์	<i>C. flavigena</i> ร่วมกับ <i>Xanthomonas</i> sp. เลี้ยง แบบต่อเนื่องที่ อุณหภูมิ 30 - 40 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.8 - 7.0
ขานอ้อย	แอลฟา - กาแล็กโทซิเดส	<i>Monascus anka</i> เลี้ยงในอาหารที่มีถั่ว 5 เปอร์เซ็นต์ และกากอ้อยหรือใบอ้อย 7 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิต เอนไซม์จำเพาะสูงกว่าการใช้เพปโทพ กลูโคส และ ยีสต์สกัด ส่วนการเติมยีสต์สกัดจะเร่งการผลิตเอนไซม์
ขานอ้อย (treat ด้วย แอมโมเนีย)	เซลลูเลส	การใช้ <i>Trichoderma reesei</i> ร่วมกับ <i>A. phoenicis</i> ให้ผลดีกว่าการใช้สายพันธุ์เดียว ผลิตภัณฑ์มีโปรตีน 15 เปอร์เซ็นต์
ขานอ้อย	ไซลาลเนส และอะซีติลเลส เทอเรส	<i>Melanocarpus albomyces</i> IIS - 68 ผลิตเอนไซม์ในการหมักแบบอาหารแข็งได้ดีกว่า ในแบบอาหารเหลว
ขานอ้อย	ไซลาลเนส	เชื้อ <i>P. janthinellum</i> ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ ประกอบด้วยกากอ้อยแห้งที่ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกและ ผสมกับยีสต์สกัด 0.1 เปอร์เซ็นต์ และ Vogel's medium 2 เปอร์เซ็นต์
ขานอ้อย	เพอร์ออกซิเดส	ผลิตเอนไซม์จาก <i>Ganoderma lucidum</i> PTK ₃

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก พูนสุข (2558)

(7.2) การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

วัสดุเหลือใช้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ประเภทของแข็ง ได้แก่ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม ตะกอนจากเครื่องดีแคนเตอร์ ประเภทของเหลว ได้แก่ น้ำเสียจากกระบวนการผลิต ในบรรดาวัตถุดิบเหล่านี้มีความได้เปรียบที่เป็นทั้งแหล่งอาหาร แหล่งพลังงาน และเป็นแหล่งวัสดุที่มีองค์ประกอบเป็นสารลิกโนเซลลูโลส หรือชีวมวลเป็นส่วนใหญ่ มีศักยภาพสูงใช้เป็นวัสดุโดยตรง หรือผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงด้วยเทคโนโลยีทางชีวภาพ ดังนี้

(7.2.1) วัสดุคลุมดิน จากการใช้เศษเหลือทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เช่น ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินภายในสวนปาล์มน้ำมัน เพื่อป้องกันการเกิดแผ่นแข็งปิดผิวดิน (soil crust) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทกต่อก้อนดินของเมล็ดฝืนที่ตกลงมา เศษเหลือทิ้งคาร์บอนอินทรีย์ เมื่อเกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติจะกลายเป็นปุ๋ย ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น ช่วยให้เกิดเมล็ดดิน ทำให้เกิดช่องว่างภายในดิน ดินมีความพรุนเพิ่มขึ้น ทำให้การระบายน้ำและอากาศของดินดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำของดิน ช่วยให้รากพืชสามารถแพร่กระจายตัวในดินได้อย่างกว้างขวาง ยังช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารต่าง ๆ ให้แก่ดิน การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินภายในสวนปาล์มยังช่วยเก็บรักษาความชุ่มชื้นให้แก่ดิน รวมทั้งยังช่วยในการชะล้างและพังทลายของหน้าดิน แต่ในการนำวัสดุ เช่น ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาเป็นวัสดุคลุมดินนั้น จำเป็นที่จะต้องกองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันทิ้งไว้เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 เดือน เพราะหากนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันไปใช้เป็นวัสดุคลุมดินทันทีโดยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติจะย่อยสลายทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันในกิจกรรมของจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต และย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่งผลให้อุณหภูมิในกองวัสดุสูงขึ้น และดินใต้กองปุ๋ยจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ทำให้พืชเจริญเติบโตไม่เต็มที่ (อานัฐ, 2549) อีกทั้งในสวนปาล์มน้ำมันที่นำทะลายเปล่าปาล์มมาใช้คลุมดินช่วยให้ต้นปาล์มน้ำมันมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตมากขึ้น ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี หรือใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้ ช่วยลดความหนาแน่นรวมของดิน และช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน (สุรกิตติ และคณะ, 2548) เช่น การใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันที่ผ่านการทำเห็ดฟางมาแล้ว นำมาคลุมดินโคนต้นมังคุด มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่ต่างกับการใส่มูลโคหรือมูลไก่ (ปณิดา และคณะ, 2556)

(7.2.2) สารปรับปรุงดิน จากการใช้เศษเหลือทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม รายงานผลการใช้กากตะกอนปาล์มและทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 15.45 กรัมต่อกระถาง เพื่อการปรับปรุงดินในกระถาง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวหอมกระดังงาเพิ่มขึ้นจากการใช้กากตะกอนปาล์มให้ผลผลิตข้าว 228.50 กรัมต่อกระถาง และการใช้ทะลายปาล์มให้ผลผลิต 149.22 กรัมต่อกระถาง (ปัญญา และ ศิราณี, 2561) สำหรับการใช้วัสดุอินทรีย์ผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นวัสดุในการปรับปรุงดิน ได้แก่ ทะลายปาล์ม กากตะกอนปาล์ม

ชี้เถ้าปาล์ม เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม เปรียบเทียบกับมูลโค เพื่อการปรับปรุงดินสำหรับพืชผัก เช่น ผักคะน้า จากการใช้วัสดุอินทรีย์ทุกชนิดในอัตรา 2 ตันต่อไร่ ทำให้ต้นคะน้ามีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตที่ดีกว่าการไม่ใช้วัสดุอินทรีย์ และอยู่ในระดับเดียวกับการใช้มูลโค อัตรา 2 ตันต่อไร่ ส่งผลให้คุณสมบัติของดินทางเคมีดีขึ้น ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ พอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินเพิ่มขึ้น และสมบัติของดินทางกายภาพดีขึ้น ได้แก่ ความร่วนของดินมากขึ้น ความสามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น ระบายน้ำได้ดีขึ้น ถ่ายเทอากาศได้สะดวกขึ้น และผลผลิตคะน้าเพิ่มขึ้น (บัญชา, 2564) กรณีศึกษา การใช้วัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นจังหวัดนราธิวาส จากการใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุผสมดินปลูก ผักสลัดกรีนโอ๊ค ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงขึ้น (ศิริณี และ บัญชา, 2561)

(7.2.3) ปุ๋ยหมัก จากการใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัด น้ำมันปาล์ม เช่น ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม กากตะกอนดีแคเตอร์ และ ชี้เถ้าปาล์มน้ำมัน สามารถนำมาผลิตปุ๋ยหมักแบบผสมผสานจากวัสดุชนิดต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยหมักจาก ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ใช้ระยะเวลาในการหมักอยู่ในช่วงระหว่าง 60 - 90 วัน (Baharuddin *et al.*, 2009) และถ้าหมักปุ๋ยหมักโดยใช้กากตะกอนดีแคเตอร์เป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก และ วิธีการผลิตแบบเติมอากาศด้วยการพลิกกลับกองปุ๋ยทุก ๆ 7 วัน ใช้กระบวนการหมักเป็นเวลา 51 วัน ก่อนหมักวัสดุมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เท่ากับ 63.67 : 1 และ กากตะกอนดีแคเตอร์ เท่ากับ 21.72 : 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเมื่อปุ๋ยหมักสมบูรณ์มีอัตราส่วน คาร์บอนต่อไนโตรเจน 18.65 : 1 ปุ๋ยหมักมีคุณสมบัติประกอบด้วยไนโตรเจน พอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม สามารถนำไปใช้กับพืช และสารอาหารที่ได้จากการหมักปุ๋ยสามารถนำมาใช้ปรับปรุง ดินให้มีคุณภาพดี (Yahya *et al.*, 2010) ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันสามารถกลายเป็นปุ๋ยหมักได้เร็ว และสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้ผ่านตามมาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด จึงจัดเป็นปุ๋ยหมัก ที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และ กากตะกอนดีแคเตอร์แบบใช้อากาศ เป็นวิธีที่สามารถให้วัสดุหมักเป็นปุ๋ยหมักได้ดีกว่าแบบไม่ใช้ อากาศ (วิธดา, 2552) ปุ๋ยหมักจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยหมักผ่านเกณฑ์ มาตรฐานที่กำหนดจัดได้ว่าเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ จากการใช้อากาศดีแคเตอร์ช่วยเพิ่มปริมาณ ไนโตรเจน ในการปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้อยู่ในช่วง 35 - 45 : 1 โดยใช้จุลินทรีย์ จากสารเร่งซูเปอร์ พด. 1 ของกรมพัฒนาที่ดิน ควบคุมความชื้นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ เติบโตอากาศผ่านท่อ ทุก 3 วัน และพลิกกองทุก 7 วัน เมื่อสิ้นสุดการกองมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20 : 1 (ณัฐวาทน์, 2558) นอกจากนี้เส้นใยปาล์มน้ำมันและกากตะกอนดีแคเตอร์สามารถนำมา ผลิตปุ๋ยหมัก ปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างด้วยชี้เถ้าปาล์มจากเดิม 6.0 - 8.0 เป็น 9 และใช้น้ำ ปรับความชื้นให้ได้ 50 - 70 เปอร์เซ็นต์ เติบโตไนโตรเจนจากปุ๋ยยูเรีย ปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อ ไนโตรเจนให้อยู่ในช่วง 30 - 40 : 1 เติบโตหัวเชื้อจุลินทรีย์จากสารเร่งซูเปอร์ พด. 1 ของกรมพัฒนาที่ดิน

100 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร ต่อวัสดุหมัก 1,000 กิโลกรัม หมักเป็นเวลา 40 - 60 วัน และกลับกองปุ๋ยหมักพร้อมปรับความชื้นทุก 10 วัน (ภาณุพงศ์, 2548) หรือการกองปุ๋ยหมักโดยการวางท่อให้อากาศด้วยบั้งเข้าทางด้านล่างของปุ๋ยหมัก แทนการกลับกองที่สิ้นเปลืองแรงงาน ก็ให้ปุ๋ยหมักที่ดี และสามารถใช้น้ำเสียหรือตะกอนจุลินทรีย์จากบ่อบำบัดน้ำเสียในการปรับความชื้นของกองปุ๋ย ซึ่งให้ผลการทดลองที่ดีกว่าการใช้น้ำประปา นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากทะเลลายเปล่าปาล์มน้ำมันร่วมกับน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ใช้แปปังสาเป็นวัสดุหมักร่วม และใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายวัสดุหมักจากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ได้แก่ *P. chrysosporium* *T. harzianum* *A. niger* และ *Penicillium* พบว่า ภายในระยะเวลา 60 วันหลังการหมัก อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมัก ลดลงต่ำกว่า 17 : 1 และการทดสอบการงอกของเมล็ดมีอัตราการงอกมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ (Kabbashi *et al.*, 2006) จะเห็นได้ว่า คุณสมบัติของทะเลลายเปล่าปาล์มน้ำมัน จะมีโครงสร้างที่ย่อยสลายได้ยากประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลส และมีปริมาณไนโตรเจนที่ต่ำ ทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักสูง หากนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักจำเป็นต้องหาวัสดุหมักร่วมที่มีค่าไนโตรเจนสูง เช่น มูลไก่ มูลแพะ และมูลโค จะช่วยให้วัสดุหมักสามารถย่อยสลายได้เร็วขึ้น และจากการทดลองการหมักปุ๋ยทะเลลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 90 กิโลกรัม ผสมกับมูลสัตว์ 25 กิโลกรัม และควบคุมความชื้นที่ 65 เปอร์เซ็นต์ พร้อมทั้งพลิกกลับกองทุก ๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่เติมมูลไก่จะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยที่สุด เท่ากับ 12 : 1 รองลงมา คือ มูลแพะ และมูลโค เท่ากับ 14 : 1 และ 18 : 1 ตามลำดับ (Thambirajah *et al.*, 1995) ในประเทศมาเลเซียมีการรวมวิธีการทำปุ๋ยหมักที่โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม โดยใช้ทะเลลายปาล์มเปล่าผสมกากตะกอนดีแคเตอร์ และใช้น้ำเสียปริมาณ 1.3 ตันต่อทะเลลายเปล่าปาล์มน้ำมันแห้ง 1 ตัน กองวัสดุหมักเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู สูง 2 เมตร และหลังการหมักความสูงลดลง 50 เซนติเมตร มีใบพัดเป็นฟันเฟืองหมุนไปตามความยาวของกองปุ๋ย เป็นการระบายความร้อนและให้อากาศไปในตัว เมื่อให้อากาศเสร็จแล้วให้คลุมด้วยพลาสติก (พูนสุข, 2558) ซึ่งการผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพจากวัสดุเหลือใช้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และสมบัติของปุ๋ยหมักที่เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติม โดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 (กรมวิชาการเกษตร, 2557) (ตารางที่ 70) ตัวอย่างส่วนผสมการผลิตปุ๋ยหมักจากทะเลลายปาล์มน้ำมัน ดังนี้

ส่วนผสมสูตร 1 เส้นใยปาล์มน้ำมันผสมกับกากตะกอนดีแคเตอร์ในอัตรา 1 : 1 ใช้ซีเมนต์ปาล์มในการปรับค่าความเป็นกรดภายในกองปุ๋ย และเติมยูเรียให้มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุ เริ่มต้นที่ 30 - 40 : 1 หลังจากนั้น เติมหิวเชื้อสารเร่ง ชูเปอร์ พด. 1 ของกรมพัฒนาที่ดิน กลับกองทุก 10 วัน ระยะเวลาการหมัก 45 วัน

ส่วนผสมสูตร 2 ทะลายเปลา์ปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านหีบ 74.53 กิโลกรัม ผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ 45.47 กิโลกรัม กำหนดค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุเริ่มต้นที่ 35 : 1 เติมสารเร่งซูปเปอร์ พด. 1 แล้วเติมอากาศภายใต้กอง ระยะเวลาการหมัก 60 วัน

ส่วนผสมสูตร 3 ทะลายเปลา์ปาล์มน้ำมันที่ผ่านหีบ 82.76 กิโลกรัม ผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ 37.24 กิโลกรัม กำหนดค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุเริ่มต้นที่ 35 : 1 เติมสารเร่งซูปเปอร์ พด. 1 แล้วเติมอากาศภายใต้กอง ระยะเวลาการหมัก 60 วัน

ส่วนผสมสูตร 4 กากตะกอนปาล์ม 26.7 กิโลกรัม ผสมกับมูลสุกร 6.7 กิโลกรัม เติมสารเร่งซูปเปอร์ พด. 1 กลับกองทุก 7 วัน ระยะเวลาการหมัก 45 วัน

ส่วนผสมสูตร 5 กากตะกอนปาล์ม 26.7 กิโลกรัม ผสมกับมูลไก่ 6.7 กิโลกรัม เติมสารเร่งซูปเปอร์ พด. 1 กลับกองทุก 7 วัน ระยะเวลาการหมัก 45 วัน

ส่วนผสมสูตร 6 กากตะกอนปาล์ม 26.7 กิโลกรัม ผสมกับมูลโค 6.7 กิโลกรัม เติมสารเร่งซูปเปอร์ พด. 1 กลับกองทุก 7 วัน ระยะเวลาการหมัก 45 วัน

ตารางที่ 70 สมบัติของปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพจากวัสดุเหลือใช้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์	ค่ามาตรฐาน	สูตร 1 ¹	สูตร 2 ²	สูตร 3 ²	สูตร 4 ³	สูตร 5 ³	สูตร 6 ³
pH (1 : 5)	5.5 - 8.5	7.61	8.13	8.49	6.32	7.04	6.64
EC (1 : 5) (dS/m)	≤ 10.0	-	2.04	1.93	3.72	3.01	2.53
C/N ratio	≤ 20:1	17.53	11.00	11.14	6.61	7.53	6.68
ความชื้น (%)	≤ 30.0	48.87	-	-	56.41	55.63	51.95
อินทรีย์วัตถุ (%)	≥ 20.0	68.49	56.37	58.40	40.14	36.70	33.56
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	≥ 1.0	2.28	3.09	3.34	3.53	2.82	2.91
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	≥ 0.5	0.86	0.64	0.68	3.40	1.84	3.37
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	≥ 0.5	1.85	4.47	4.59	1.77	1.55	0.88
โซเดียม (%)	≤ 1.0	-	-	-	0.15	0.07	0.03
สารหนู (มก./ล.)	< 50.0	-	0.10	0.27	-	-	-
แคดเมียม (มก./ล.)	< 5.0	-	0.15	0.12	-	-	-
โครเมียม (มก./ล.)	< 300	-	1.81	1.74	-	-	-
ทองแดง (มก./ล.)	< 500	-	56.36	55.28	-	-	-

ตารางที่ 70 (ต่อ)

สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์	ค่ามาตรฐาน	สูตร 1 ¹	สูตร 2 ²	สูตร 3 ²	สูตร 4 ³	สูตร 5 ³	สูตร 6 ³
ตะกั่ว (มก./ล.)	< 500	-	1.04	1.49	-	-	-
ปรอท (มก./ล.)	< 500	-	-	-	-	-	-
ดัชนีการงอกของเมล็ดพืช	≥ 80	-	-	-	78.23	74.73	82.20

ที่มา: ¹ภานุพงศ์ (2548); ²ณัฐฐาทัศน์ (2558); ³กัญจิกา และคณะ (2562)

(7.2.4) ผลิตภัณฑ์เอนไซม์และพอลิเมอร์ จากการใช้วัสดุเหลือใช้ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เช่น การใช้กากปาล์มและน้ำนึ่งปาล์มผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เอนไซม์เซลลูเลส ไชลานีส เอนไซม์เหล่านี้ผลิตได้จากเชื้อรา (Prasertsan *et al.*, 1992) โดยการใช้กากปาล์มเป็นแหล่งซับสเตรตในการผลิตเอนไซม์ผง พัฒนาเป็นเอนไซม์ผงเชิงการค้า เช่น เอนไซม์เซลลูเลส เอนไซม์ไชลานีส (พูนสุข และคณะ, 2544) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในด้านต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เอนไซม์เซลลูเลส ช่วยในกระบวนการย่อยสลายวัสดุที่ย่อยสลายยาก หรือวัสดุอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสย่อยสลายได้ง่าย เช่น เส้นใยปาล์ม การประยุกต์ใช้เซลลูโลสได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานกิจกรรมของจุลินทรีย์ พืช และสิ่งมีชีวิตในดิน และผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์จากลิกนิน ได้เป็นสารยึดติด สารเพิ่มความคงตัว และสารปรับปรุงโครงสร้างของดิน หรือช่วยกระบวนการแปรสภาพผลิตปุ๋ยหมัก (Bisaria and Ghose, 1981)

(7.3) การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป่งมันสำปะหลัง

(7.3.1) สารปรับปรุงดิน จากการใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป่งมันสำปะหลัง จากรายงานการใส่กากแป่งมันสำปะหลังอัตรา 1 และ 2 ตันต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเท่ากับ 4.67 และ 5.61 ตันต่อไร่ ตามลำดับ และการใส่ 2 ตันต่อไร่ ทำให้เปอร์เซ็นต์การสะสมแป้งเพิ่มสูงขึ้น 24.53 สูงกว่าการไม่ใส่กากแป่งมันสำปะหลัง จะเห็นได้ว่ากากแป่งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติที่เหมาะสม สำหรับปรับปรุงดินชุดดินโคราชที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ สามารถตอบสนองทำให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ผลผลิตแป้ง ชีวมวลส่วนเหนือดิน และเปอร์เซ็นต์การสะสมแป้งเพิ่มขึ้นตามอัตราของกากแป่งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น ส่งเสริมการดูดใช้ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่ไม่มีในรูปของปุ๋ยเคมี (นทีทิพย์ และคณะ, 2561) สำหรับปรับปรุงดินในชุดดินสodik จากการใส่กากแป่งมันสำปะหลังอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับโดโลไมต์อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงในปีแรก 6.10 ตันต่อไร่ ส่วนการใส่กากแป่งมันสำปะหลังอัตรา 500

กิโกรัมต่อไร่ ต่อเนื่องเป็นปีที่ 2 ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลัง 5.65 ตันต่อไร่ (พรชัย และคณะ, 2560) และการใช้ประโยชน์กากแป้งมันปะหลังร่วมกับมูลไก่เกลบอัตราอย่างละ 1 ตันต่อไร่ ทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 5.38 ตันต่อไร่ เมื่อปลูกในชุดดินด้านขุนทด (Nilnorie *et al.*, 2016) การใช้ประโยชน์จากเปลือกมันสำปะหลัง 4 ตันต่อไร่ ร่วมกับมูลไก่เกลบ 1 ตันต่อไร่ ต่อเนื่อง 2 ปี เพิ่มผลผลิตสูงสุด 5.30 ตันต่อไร่ มีกำไรสุทธิ 8,804 บาทต่อไร่ สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี 100 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิต 4.0 ตันต่อไร่ มีกำไรสุทธิ 6,230 บาทต่อไร่ ด้านสมบัติของดินจากการใส่เปลือกมันสำปะหลังร่วมกับมูลไก่เกลบ มีผลให้สมบัติทางเคมีของดินดีขึ้น มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมในดินสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง (สมลักษณ์, ม.ป.ป.) และการใส่เปลือกมันสำปะหลังอัตรา 6 ตันต่อไร่ ให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย 5,567 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ปริมาณแป้งในหัวมันสด 22.4 - 24.0 เปอร์เซ็นต์ (ประภาส และคณะ, 2549) ขณะที่การใส่เปลือกมันสำปะหลังอัตราต่ำ 1.0 - 1.6 ตันต่อไร่ มีผลดีต่อการปรับปรุงดินพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง (ปิยะวดี และ เสกสรรค์, 2564) อีกทั้ง การไถกลบซากต้นมันสำปะหลังและใบลงดิน ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 8 กิโลกรัมของ N - P₂O₅ - K₂O ต่อไร่ สำหรับปลูกมันสำปะหลังในดินชุดยโสธรอย่างต่อเนื่อง 7 ปี สามารถรักษาระดับผลผลิตของมันสำปะหลังไว้ได้ในระดับสูงสุด ส่วนการไถกลบเศษซากต้นมันสำปะหลังอย่างเดียวติดต่อกัน 7 ปี นั้น สามารถรักษาระดับผลผลิตไว้ได้ในระดับที่สูงกว่าการปลูกมันสำปะหลัง โดยไม่ใส่ปุ๋ยถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (ชาญ และ โชติ, 2537)

(7.3.2) ปุ๋ยหมัก จากการใช้เปลือกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมักเปลือกมันสำปะหลัง และจากการใช้ปุ๋ยหมักเปลือกมันสำปะหลัง อัตรา 3 ตันต่อไร่ ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินลดลงจาก 0.430 เป็น 0.407 เดซิซีเมนต่อเมตร เพิ่มไนโตรเจน 0.002 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 0.627 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการใช้ปุ๋ยหมักเปลือกมันสำปะหลัง อัตรา 3 ตันต่อไร่ ร่วมกับแกลบ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินลดลงจาก 0.65 เป็น 0.29 เดซิซีเมนต่อเมตร เพิ่มไนโตรเจน 0.002 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 182.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียม 5.103 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลดความหนาแน่นรวมของดิน จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยหมักเปลือกมันสำปะหลังลงดิน มีผลทำให้ดินมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน (อรรถพล และคณะ, 2566)

(7.3.3) ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ จากรายงานผลการใช้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นแหล่งอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์กรด 5 - อะมิโนลิวูลินิก (5 - aminolevulinic acid) จากแบคทีเรียสังเคราะห์ โดยใช้ประโยชน์จากน้ำเสียของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง สำหรับเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย ด้วยการเติมสารอาหารเพิ่มเติม ได้แก่ (NH₄)₂HPO₄ K₂HPO₄ และ KH₂PO₄ ในความเข้มข้นที่เหมาะสม ในการเลี้ยงเชื้อในสภาพกลางแจ้งที่ไม่มีการฆ่าเชื้อน้ำเสียจากโรงงาน ไม่ควบคุมอุณหภูมิ

และความเป็นกรดเป็นด่าง ได้ปริมาณเซลล์ 4.67 กรัมเซลล์แห้งต่อลิตร หลังการเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 11 วัน (Noparatnaraporn, 1987) นำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เนื่องจากกรด 5 - อะมิโนลิวูลินิก มีคุณสมบัติเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารประกอบเตตราไพโรล (tetrapyrrole) ที่ประกอบด้วยฮีม (heme) คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และวิตามินบี 12 (vitamin B12) พบได้ทั้งในพืช สัตว์ สาหร่าย และแบคทีเรีย (Akram and Ashraf, 2013) ซึ่งกรด 5 - อะมิโนลิวูลินิก จัดเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยมีการศึกษาการใช้ประโยชน์เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตพืช ได้แก่ ข้าว (Nguyen *et al.*, 2016) ไม้ผล และพืชผัก เป็นต้น (Sun *et al.*, 2017) รวมทั้งในปัจจุบันนี้ยังมีการศึกษาการใช้กรด 5 - อะมิโนลิวูลินิก เป็นสารกำจัดวัชพืชและแมลงศัตรูพืชอีกด้วย (Xu *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2011) นอกจากนี้ กรด 5 - อะมิโนลิวูลินิก ยังช่วยในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ส่งผลทำให้พืชเกิดสภาวะความเครียด ทั้งสภาวะที่มีความเค็ม แห้งแล้ง และอุณหภูมิสูงหรือต่ำมาก (Kosar *et al.*, 2015) สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษาวิจัยการใช้กรด 5 - อะมิโนลิวูลินิกในข้าว โดยจะมีการเปรียบเทียบความเข้มข้น และวิธีการใช้กรด 5 - อะมิโนลิวูลินิกจากแบคทีเรียต่อการเจริญเติบโตในข้าวหอมปทุมธานี 1 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า *P. acidipropionici* TISTR442 สามารถผลิตกรด 5 - อะมิโนลิวูลินิกได้ 43.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อนำไปทดสอบการงอกของเมล็ดข้าว พบว่าการรดน้ำที่มีส่วนผสมของกรด 5 - อะมิโนลิวูลินิก ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 7 วัน สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นข้าว ทำให้ข้าวปทุมธานี 1 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีความสูงเพิ่มขึ้น 101.18 และ 139.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (พรพิมล และ วัฒนาลัย, 2554) และมีรายงานการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภัณฑ์กรด 5 - อะมิโนลิวูลินิก เพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยนั้น มีรายงานสิ่งประดิษฐ์ชีวภัณฑ์ 5 - อะมิโนลิวูลินิก ไฟว้อล่า สำหรับเร่งการเจริญเติบโตของพืช เช่น พืชไร่ ข้าว ไม้ผล ไม้ดอก ไม้ประดับ และพืชผัก ช่วยเพิ่มผลผลิตพืช ลดต้นทุน และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้ใช้และผู้บริโภค (สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2560) และในต่างประเทศมีผลิตภัณฑ์ที่มีการจำหน่ายเพื่อการค้าชื่อว่า Pentakeep - V ซึ่งสินค้าดังกล่าวผลิตโดยบริษัท Cosmo seiwa agriculture จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

(7.4) การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

(7.4.1) สารปรับปรุงดินจากน้ำกากส่า จากรายงานการใช้

น้ำกากส่าเป็นสารปรับปรุงดินและแหล่งธาตุอาหารสำหรับการผลิตพืช เช่น พื้นที่ปลูกอ้อย จากการใส่น้ำกากส่า อัตรา 60 และ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ มีผลต่อการเพิ่มจำนวนต้นและความสูงของอ้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่น้ำกากส่า โดยเฉพาะในระยะที่อ้อยมีอายุ 10 เดือนขึ้นไป และการใส่น้ำกากส่า อัตรา 60 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ มีผลต่อการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าการนำไฟฟ้าของดิน อินทรีย์วัตถุ โพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส เหล็ก

ทองแดง กำมะถัน และคลอไรด์ (ทัศนาศ, 2553) และการใส่น้ำกากส่า อัตรา 20 และ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ เพิ่มผลผลิตอ้อย 58 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีผลให้สมบัติดิน ชุดดินยโสธร เนื้อดินร่วนปนทราย มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้าของดิน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดินเพิ่มขึ้น (ศรีสุตา และคณะ, 2555) และการใส่น้ำกากส่า อัตรา 1 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ มีผลทำให้อัตราการงอกของอ้อยสูงที่สุด คือ 73 - 83 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าใส่น้ำกากส่าในอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และหากมีการใส่น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 16 - 8 และสูตร 21 - 7 - 18 อัตราละ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้ผลผลิตอ้อยสูงใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16 - 16 - 8 และสูตร 21 - 7 - 18 อัตราละ 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้สมบัติดินภายหลังใส่น้ำกากส่า ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่น้ำกากส่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ทัศนาศ, 2553) อย่างไรก็ตาม จากรายการส่งเสริมเกษตรกรจำนวน 39 รายในพื้นที่ลุ่มน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น ติดตามการใส่น้ำกากส่าต่อเนื่องกันเป็นเวลา 1 - 3 ปี มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของผลผลิตอ้อย แต่การใส่ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 - 5 ปี มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตลดลง และสมบัติดินมีค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการใส่ ดังนั้นการใส่น้ำกากส่าต้องคำนึงถึงสมบัติของน้ำกากส่า อัตราการใช้ และสมบัติของดินในแต่ละพื้นที่ (มงคล และคณะ, 2560) สำหรับการปลูกมันสำปะหลัง จากรายงานการใส่น้ำกากส่า อัตรา 20 40 และ 60 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ทำให้การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ทั้งในด้านจำนวนใบและความยาวของต้นเพิ่มขึ้น และผลผลิตเฉลี่ยของมันสำปะหลัง มีค่าเท่ากับ 9.6 9.4 และ 9.9 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ขณะที่ผลผลิตเฉลี่ยเมื่อไม่ใส่น้ำกากส่า มีค่าเท่ากับ 8.0 ตันต่อไร่ (ทัศนัย, 2553) โดยการใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าในอัตราที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อสมบัติทางเคมีดินทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และคลอไรด์ในดินเพิ่มมากขึ้น (ทัศนัย และ สมบูรณ์, 2547) นอกจากช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินแล้ว ยังช่วยเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินอีกด้วย (ประวิทย์ และคณะ, 2550) ดังนั้นการใช้ประโยชน์ในเชิงเกษตรกรรม ข้อดี คือ การใช้น้ำกากส่าเป็นสารปรับปรุงดินสามารถลดหรือทดแทนปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกอ้อย และกากตะกอนก้นบ่อสามารถผลิตปุ๋ยได้ข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้ำกากส่าสู่แปลงเกษตรกร ซึ่งการใช้งานเป็นสารปรับปรุงดินต้องควบคุมค่าขนส่ง เหมาะสมกับพื้นที่ที่จะใช้กับดินร่วนปนทราย และใช้ในช่วงฤดูกาลที่เหมาะสมด้วย เช่น ในฤดูแล้งสามารถใช้ประโยชน์น้ำกากส่าได้มาก แต่ในฤดูฝนควรควบคุมปริมาณ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของน้ำกากส่าสู่แหล่งน้ำและผิวดิน

(7.4.2) สารปรับปรุงดินจากกากตะกอนยีสต์ จากรายงานการใช้กากตะกอนยีสต์ผสมกับน้ำกากส่า โดยขั้นตอนแรกเตรียมวัสดุอินทรีย์ผสมจากกากตะกอนยีสต์ และน้ำกากส่า อัตราส่วน 2 - 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร น้ำกากตะกอนยีสต์ 2,000 กิโลกรัม ผสมกับ

น้ำกาสะ 3,000 ลิตร ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน และหมักทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน กระทั่งวัสดุอินทรีย์ ผสมมีลักษณะเป็นโคลน จากนั้นจึงให้แห้งแล้วบด และนำมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่เกษตร จากรายงาน การใส่กากตะกอนยีสต์และน้ำกาสะ 1,200 กิโลกรัมต่อไร่ ในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังมีผลให้ผลผลิต สูงสุด 11.35 ตันต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ยหัวต่อต้นเพิ่มขึ้น 0.62 กิโลกรัมต่อหัว ขณะที่ไม่ใส่ให้ผลผลิต 4.56 ตันต่อไร่ ให้น้ำหนักเฉลี่ยหัวต่อต้น 0.33 กิโลกรัมต่อหัว (พงษ์นรินทร์, 2557) และสำหรับในพื้นที่ ปลูกข้าว จากการใส่กากตะกอนยีสต์และน้ำกาสะ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 2,490.10 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ไม่ใส่ผลผลิต 1,315.21 กิโลกรัมต่อไร่ (นฤพน, 2557) สำหรับพื้นที่ ปลูกอ้อย จากการใส่กากตะกอนยีสต์และน้ำกาสะ 1,200 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่อัตรา 1,200 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีปริมาณธาตุอาหารหลักเทียบเท่าในวัสดุ มีผลให้น้ำหนัก ต่อลำต้นของอ้อย ผลผลิตอ้อย และผลผลิตน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นสูงกว่าการไม่ใส่ (สันติภาพ, 2557; วิษณุ, 2557) สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จากการใส่กากตะกอนยีสต์และน้ำกาสะ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ หรืออัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีปริมาณธาตุอาหารหลัก เทียบเท่าในวัสดุ ให้ผลผลิต น้ำหนักฝักทั้งเปลือก และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพดเพิ่มขึ้นมากกว่าการไม่ใส่ มีผลให้สมบัติทางเคมีของดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีแนวโน้มลดลง ปริมาณธาตุอาหาร และอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้น (รุจิกร, 2563) และการใส่กากตะกอนยีสต์เพียงอย่างเดียว อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักเปลือก และ น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดเพิ่มขึ้นมากกว่าการไม่ใส่ ด้านสมบัติทางเคมีของดินมีอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นจาก 0.74 เป็น 1.52 เพิ่มโพแทสเซียมจาก 46.89 เป็น 80.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพิ่มฟอสฟอรัสจาก 33.34 เป็น 51.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลงจาก 7.12 เป็น 6.53 ทั้งนี้เนื่องจากกากตะกอนยีสต์มีสมบัติเป็นกรด (ชัยวัฒน์, 2559) ดังนั้นการประยุกต์ใช้ กากตะกอนยีสต์ต้องคำนึงถึงอัตราการใช้ และคุณสมบัติดินในพื้นที่ที่เหมาะสม แสดงผลงานวิจัยดัง ตารางที่ 71

ตารางที่ 71 การประยุกต์ใช้กากตะกอนยีสต์และน้ำกากส่าวัสดุเหลือใช้โรงงานเอทานอลจากผลการทดลองในพื้นที่เกษตรกรรม

วัสดุเหลือใช้	อัตราการใช้	ชนิดพืช	ผลต่อสมบัติดิน		การตอบสนองของพืช	อ้างอิง
			ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง		
กากตะกอนยีสต์ และน้ำกากส่า	2,000 กิโลกรัมต่อไร่	ข้าว	pH 6.63	pH 6.75	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 2,490.10 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ไม่ใส่ผลผลิต 1,315.21 กิโลกรัมต่อไร่	นฤพน (2557)
			OM 2.67 เปอร์เซ็นต์	เพิ่ม OM 3.42 เปอร์เซ็นต์		
			P 91.88 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม P 112.62 มิลลิกรัมต่อลิตร		
			K 209.11 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม K 231.33 มิลลิกรัมต่อลิตร		
กากตะกอนยีสต์ และน้ำกากส่า	1,200 กิโลกรัมต่อไร่	มันสำปะหลัง	pH 6.49	pH 6.83	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 11.35 ตันต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ยหัวต่อต้นเพิ่มขึ้น 0.62 กิโลกรัมต่อหัว ขณะที่ไม่ใส่ผลผลิต 4.56 ตันต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ยหัวต่อต้น 0.33 กิโลกรัมต่อหัว	ทิพวรรณ (2558)
			OM 0.64 เปอร์เซ็นต์	เพิ่ม OM 1.77 เปอร์เซ็นต์		
			P 36.65 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม P 74.53 มิลลิกรัมต่อลิตร		
			K 56.92 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม K 95.08 มิลลิกรัมต่อลิตร		
กากตะกอนยีสต์ และน้ำกากส่า	อัตรา 1,200 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี (ธาตุอาหารหลักเทียบเท่าในวัสดุ)	มันสำปะหลัง	pH 6.49	pH 6.11	ผลผลิตหัวสด ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในหัวมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น มากกว่าการไม่ใส่	พงษ์นรินทร์ (2557)
			OM 0.64 เปอร์เซ็นต์	เพิ่ม OM 1.38 เปอร์เซ็นต์		
			P 36.65 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม P 62.25 มิลลิกรัมต่อลิตร		
			K 56.92 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม K 83.47 มิลลิกรัมต่อลิตร		
กากตะกอนยีสต์ และน้ำกากส่า	อัตรา 1,200 กิโลกรัมต่อไร่	อ้อย	pH 7.91	เพิ่มขึ้นปริมาณโพแทสเซียมในดิน	ผลผลิตอ้อย ผลผลิตน้ำตาล และน้ำหนักต่อลำต้นของอ้อยเพิ่มขึ้น มากกว่าการไม่ใส่	สันติภาพ (2557)
			OM 0.65 เปอร์เซ็นต์			
			P 35.31 มิลลิกรัมต่อลิตร			
			K 57.11 มิลลิกรัมต่อลิตร			

ตารางที่ 71 (ต่อ)

วัสดุเหลือใช้	อัตราการใช้	ชนิดพืช	ผลต่อสมบัติดิน		การตอบสนองของพืช	อ้างอิง
			ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง		
กากตะกอนยีสต์ และน้ำกากส่า	อัตรา 1,200 กิโลกรัม ต่อไร่ เปรียบเทียบกับ ปุ๋ยเคมี (ธาตุอาหาร หลักเทียบเท่าในวัสดุ)	อ้อย	pH 7.91	pH 6.80	ผลผลิตอ้อย และความหวานของ อ้อยเพิ่มมากขึ้น มากกว่าการไม่ใส่	วิชญ (2557)
			OM 0.65 เปอร์เซ็นต์	เพิ่ม OM 1.428 เปอร์เซ็นต์		
			P 35.31 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม P 46.27 มิลลิกรัมต่อลิตร		
			K 57.11 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม K 85.43 มิลลิกรัมต่อลิตร		
กากตะกอนยีสต์ และน้ำกากส่า	อัตรา 1,000 กิโลกรัม ต่อไร่ เปรียบเทียบกับ ปุ๋ยเคมี (ธาตุอาหาร หลักเทียบเท่าในวัสดุ)	ข้าวโพด เลี้ยงสัตว์	pH 7.80	pH 6.44	ผลผลิตน้ำหนักฝักทั้งเปลือกเพิ่มขึ้น และน้ำหนักเมล็ดของข้าวโพด เพิ่มขึ้น มากกว่าการไม่ใส่	รุจิกร (2563)
			OM 0.74 เปอร์เซ็นต์	เพิ่ม OM 1.58 เปอร์เซ็นต์		
			P 51.56 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม P 68.21 มิลลิกรัมต่อลิตร		
			K 50.28 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม K 69.21 มิลลิกรัมต่อลิตร		
กากตะกอนยีสต์	อัตรา 2,000 กิโลกรัม ต่อไร่ เปรียบเทียบกับ ปุ๋ยเคมี (ธาตุอาหาร หลักเทียบเท่าในวัสดุ)	ข้าวโพด เลี้ยงสัตว์	pH 7.12	ลด pH 6.53	ผลผลิตน้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนัก ฝักเปลือกเปลือกและน้ำหนักเมล็ด ข้าวโพดเพิ่มขึ้น มากกว่าการไม่ใส่	ชัยวัฒน์ (2559)
			OM 0.74 เปอร์เซ็นต์	เพิ่ม OM 1.52 เปอร์เซ็นต์		
			P 33.34 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม P 51.22 มิลลิกรัมต่อลิตร		
			K 46.89 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพิ่ม K 80.65 มิลลิกรัมต่อลิตร		

(7.4.3) ปุ๋ยหมัก การใช้กากสาหร่ายเพิ่มแหล่งธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก โดยนำกากสาหร่ายผสมรวมกับกากขี้ไก่ และเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงไป เพื่อให้เกิดการสลายตัวเร็วขึ้น ตัวอย่างเช่น บริษัทเอกชนใช้กากขี้ไก่ 1 ตัน ในการดูดซับและระเหยนํ้ากากสาหร่ายได้ถึง 10 ตัน ปุ๋ยหมักที่ได้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 5.1 การใช้ประโยชน์ที่สำคัญ คือ การใช้ปรับปรุงดินและปรับสภาพดิน เนื่องจากกากขี้ไก่มีคุณค่าอาหารต่ำ (เปรมปรี, 2530) สำหรับการทำปุ๋ยหมักจากโรงงานสุราที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีการผสมนํ้ากากสาหร่ายกับขี้ไก่ หรือ ขุยมะพร้าว และเติมหัวเชื้อ หรือที่เรียกว่า สารตัวเร่ง F - 60 ของบริษัท ปุ๋ยไบโอเนก จำกัด ซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์ 10 สายพันธุ์ เป็นเชื้อแอสเพอร์จิล 6 สายพันธุ์ เชื้อรา 2 สายพันธุ์ และแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ หมักเป็นเวลากว่า 1 เดือน ปุ๋ยหมักที่ได้เรียกว่า ปุ๋ยไบโอเนก

(7.4.4) ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ เป็นแหล่งอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพ จากการใช้นํ้ากากสาหร่ายเป็นแหล่งคาร์บอน และธาตุอาหารที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง นำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ ผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียว โดยมีการเติมสารอาหารในนํ้ากากสาหร่าย เช่น คาร์โบไฮเดรต หรือไนโตรเจน เพื่อใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร เช่น *Actinomycetes* และ *Streptomyces* เป็นต้น (Muller, 1980) และจากรายงานการใช้นํ้ากากสาหร่ายเป็นแหล่งอาหารเลี้ยงเชื้อเติมสารอาหารเพิ่ม เพื่อขยายเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 โดยใช้กากสาหร่าย 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของนํ้า ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) 0.1 กรัมต่อลิตร และใส่ปุ๋ยโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) 1 กรัมต่อลิตร ผสมให้เข้ากันเลี้ยงเชื้อนาน 48 ชั่วโมง สามารถเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ เท่ากับ 3.10×10^6 CFU ต่อมิลลิลิตร ปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสฟอรัส เท่ากับ 7.08×10^8 CFU ต่อมิลลิลิตร ปริมาณจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม เท่ากับ 7.94×10^8 CFU ต่อมิลลิลิตร และปริมาณจุลินทรีย์ผลิตฮอร์โมนพืช เท่ากับ 2.51×10^6 CFU ต่อมิลลิลิตร และเก็บรักษาจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ขยายในนํ้ากากสาหร่ายได้นาน 21 วัน และจากการใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลวจากนํ้ากากสาหร่าย อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ ทุก 3 เดือน หรือทุก 4 เดือน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างต่อเนื่อง 2 ปี มีผลต่อการสะสมปริมาณโพแทสเซียมในดิน การสะสมปริมาณไนโตรเจนในใบอ้อยที่สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ (จันจิรา และ นวลจันทร์, 2562)

(7.5) การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ของโรงงานแปรรูปอาหารทะเล
อุตสาหกรรมอาหารทะเลเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักของประเทศ มีโรงงานขนาดใหญ่เกิดวัสดุเหลือใช้โรงงานต่อปีปริมาณมากประกอบด้วยสารอาหารวิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ มีศักยภาพความเป็นไปได้สูงในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร และสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพใหม่เพิ่มมูลค่า ดังนี้

(7.5.1) สารปรับปรุงดิน จากการนำกากตะกอนน้ำเสียที่เป็นอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลมีส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ในการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพ เคมี ชีวภาพของดิน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการปรับปรุงโครงสร้างดิน น้ำในดิน และส่งผลต่อผลผลิตของพืชได้ กากตะกอนสามารถปรับปรุงโครงสร้างดินโดยลดความหนาแน่นรวมของดิน เพิ่มความพรุน ความเสถียรของการเกิดเม็ดดิน ความอุ้มน้ำของดิน และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน สมบัติของกากตะกอนน้ำเสียโดยทั่วไปมักจะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณมากพอที่จะใช้เป็นปุ๋ยได้ (ศุภมาศ, 2539) ดังนั้นการใส่กากตะกอนน้ำเสียลงไปในดินเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน และปลดปล่อยธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดังนั้นกากตะกอนน้ำเสียมาเติมลงในดินเป็นประโยชน์ในการปลูกพืชทำหน้าที่ทั้งการปรับปรุงดินและเป็นปุ๋ยสำหรับพืชด้วย และจากรายงานการใช้ประโยชน์กากตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล สำหรับเป็นปุ๋ยหมักและสารปรับปรุงดิน สามารถเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตลอดระยะเวลาการหมัก โดยไนโตรเจนปลดปล่อยมากที่สุด 1 สัปดาห์หลังจากการบ่ม มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอินทรีย์วัตถุ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล มีสมบัติประกอบด้วยความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ในช่วง 5.29 - 5.72 ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน อยู่ในช่วง 34.72 - 35.90 เซนติโมลของประจุต่อกิโลกรัม มีอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ (อุไรวรรณ, 2545)

(7.5.2) ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ

ปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากเศษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตซูริมีประเภทเนื้อปลาบดแช่เยือกแข็ง จากการใช้วัตถุดิบปลา 110 - 180 ตันต่อเดือน มีวัสดุเหลือทิ้งจากเศษปลามากถึง 44 - 72 ตันต่อเดือน ซึ่งมีศักยภาพที่สามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากปลาไหล ปลาตาหวาน และปลาทรายแดง โดยวิธีการหมักเศษปลาที่ได้ธาตุอาหารและฮอร์โมนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต จากการใช้อัตราส่วนวัตถุดิบประกอบด้วยเศษปลา : เศษผลไม้ : กากน้ำตาล : น้ำ : พด. 2 ในอัตราส่วน 15 กิโลกรัม : 5 กิโลกรัม : 5 กิโลกรัม : 5 ลิตร : หัวเชื้อจุลินทรีย์สารเร่งซูปเปอร์ พด. 2 จำนวน 1 ของ บรรจุในถังพลาสติก 60 ลิตร เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 วันที่ 7 ของการหมัก เติมเศษผลไม้ 5 กิโลกรัม และทำการหมักต่อจนครบ 21 วัน พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากเศษปลาชนิดต่าง ๆ มีค่าวิเคราะห์มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เหลว (กรมวิชาการเกษตร, 2557) มีเพียงผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่ามีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทุกสูตรแต่เมื่อพิจารณาจากหลักเกณฑ์ของค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เหลว กล่าวว่า มีปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกันไม่น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณธาตุอาหารหลักของทั้ง 3 สูตร

เท่ากับ 2.15 2.13 และ 2.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (อธิป, 2562) จึงถือว่ามีธาตุอาหารหลักรวมผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เมื่ออ้างอิงค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ชนิดเหลว) ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติม โดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 (กรมวิชาการเกษตร, 2557) รายละเอียดดังตารางที่ 72

ตารางที่ 72 สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากเศษปลาชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์เหลว

รายการวิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน ¹	ปลาแฮลน	ปลาตาหวาน	ปลาทรายแดง
C/N ratio	ไม่เกิน 20 : 1	7.73	7.14	7.21
อินทรีย์คาร์บอน (%)	-	9.89	9.14	9.52
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	≥ 0.5	1.28	1.28	1.32
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	≥ 0.5	0.43	0.47	0.50
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	≥ 0.5	0.44	0.38	0.45

ที่มา: อธิป (2562)

¹พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติม โดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 (กรมวิชาการเกษตร, 2557)

ปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากเศษปลาส่วนของหัวปลา ก้างปลา และอวัยวะภายในของปลา ด้วยวิธีการย่อยสลายด้วยกรดฟอสฟอริกที่เข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และระยะเวลา 3 ชั่วโมง การย่อยสลายเศษปลาเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ จะได้ปุ๋ยปลาที่ให้ปริมาณธาตุอาหาร และมีกลิ่นที่ดี การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากปลาในรูปสารละลาย สามารถใช้ได้โดยตรงโดยให้ทางดินในอัตราที่เหมาะสม คือ 50 กิโลกรัมต่อไร่ จะให้ผลตอบแทนของพืชดีเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 16 - 16 - 8 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากปลาสามารถใช้เป็นปุ๋ยทางใบ โดยใส่ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยรองพื้น และฉีดพ่นปุ๋ยอินทรีย์จากปลาทางใบจะช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าว (พงศ์เทพ และคณะ, 2540) และจากรายงานการผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากของเศษเหลือทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมปลาแปรรูปส่วนผสมประกอบด้วยเลือดปลาสด หรือเลือดปลาต้มสุก 15 ลิตร : ก้างปลา 1 กิโลกรัม : กากน้ำตาล 5 ลิตร : หัวเชื้อจุลินทรีย์ 0.2 ลิตร หมักในถังพลาสติก กวนเช้า - เย็น เป็นเวลา 21 วัน หลังจากได้น้ำหมักชีวภาพจากปลาแล้ว เติมน Bentonite (bentonite) 20 กิโลกรัม แช่เป็นเวลา 30 นาที เพื่อปรับค่าความเป็นกรดและค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยอินทรีย์ให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร ยกเว้นค่าโซเดียมที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ จากรายงานผลการศึกษาศึกษาปุ๋ยอินทรีย์น้ำจาก

วัสดุเหลือทิ้งในโรงงานปลาป่นทั้ง 4 สูตร ดังนี้ สูตรที่ 1 ส่วนผสมประกอบด้วยเลือดปลาสด ก้างปลา และหัวเชื้อ สูตรที่ 2 ส่วนผสมประกอบด้วยเลือดปลาสด ก้างปลา หัวเชื้อ และเบนโทไนท์ สูตรที่ 3 ส่วนผสมประกอบด้วยเลือดปลา ต้มสุก ก้างปลา และหัวเชื้อ และสูตรที่ 4 เลือดปลาท้มสุก ก้างปลา หัวเชื้อ และเบนโทไนท์ (ตารางที่ 73) เมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์น้ำดังกล่าวไปฉีดพ่นสำหรับปลูกพืชผักใบ เช่น ผักกาดหอม โดยใช้ในอัตราเจือจางกับน้ำ 1 : 150 ฉีดพ่นทุก 7 วัน หรือนำส่วนผสมปุ๋ยอินทรีย์น้ำและเบนโทไนท์ทั้งหมดมาปรุงสูตรเป็นปุ๋ยอินทรีย์เคมี 3 - 3 - 1 หรือ 3 - 3 - 2 หรือ 3 - 3 - 3 แล้วนำไปใช้กับไม้ดอก เช่น ดาวเรือง อัตรา 10 กรัม พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์เคมีจากของเหลือทิ้งโรงงานปลาป่น ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นจำนวนและขนาดดอก ไม่แตกต่างจากปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ คือ 15 - 15 - 15 โดยปุ๋ยอินทรีย์เคมีสูตร 3 - 3 - 3 ให้ผลผลิตดอกขนาดใหญ่ที่สุด (อารีรัตน์ และ คณิตา, 2562)

ตารางที่ 73 สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากวัสดุเหลือใช้ในโรงงานปลาป่นชนิดต่าง ๆ

สมบัติ	ค่า	เลือดปลาสด	เลือดปลาสด	เลือดปลา	เลือดปลาท้มสุก
	มาตรฐาน	+ ก้างปลา	+ ก้างปลา	ต้มสุก	+ ก้างปลา
	ปุ๋ยอินทรีย์	+ หัวเชื้อ	+ หัวเชื้อ	+ ก้างปลา	+ หัวเชื้อ
	เหลว ¹		+ เบนโทไนท์	+ หัวเชื้อ	+ เบนโทไนท์
pH (1 : 5)	4.5 - 8.5	4.21	4.94	4.45	5.18
EC (1 : 5) (dS/m)	< 20	20.49	8.96	22.45	9.22
อินทรีย์วัตถุ (%)	≥ 10	19.49	19.49	13.10	13.10
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	≥ 0.5	1.08	1.08	1.13	1.13
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	≥ 0.5	1.73	1.73	1.37	1.37
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	≥ 0.5	2.04	2.04	1.53	1.53
โซเดียม (%)	< 1	3.25	3.25	3.75	3.75
แมกนีเซียม (มก./ล.)	-	0.21	0.21	0.19	0.19
แคลเซียม (มก./ล.)	-	0.19	0.19	0.18	0.18
ซัลเฟอร์ (มก./ล.)	-	0.14	0.14	0.10	0.10
เหล็ก (มก./ล.)	-	22.21	22.21	22.29	22.29
สารหนู (มก./ล.)	< 50	0.96	0.96	0.77	0.77
แคดเมียม (มก./ล.)	< 5	0.01	0.01	0.01	0.01
โครเมียม (มก./ล.)	< 300	0.01	0.01	0.02	0.02

ตารางที่ 73 (ต่อ)

สมบัติ	ค่า	เลือดปลาสด	เลือดปลาสด	เลือดปลา	เลือดปลาดมสุก
	มาตรฐาน	+ ก้างปลา	+ ก้างปลา	ต้มสุก	+ ก้างปลา
	ปุ๋ยอินทรีย์	+ หัวเชื้อ	+ หัวเชื้อ	+ ก้างปลา	+ หัวเชื้อ
	เหลว ¹		+ เบนโทไนท์	+ หัวเชื้อ	+ เบนโทไนท์
ทองแดง (มก./ล.)	< 500	0.92	0.92	0.75	0.75
ตะกั่ว (มก./ล.)	< 500	0.96	0.96	0.61	0.61
สังกะสี (มก./ล.)	< 500	2.35	2.35	2.94	2.94

ที่มา: อาริรัตน์ และ คณิตา (2562)

¹พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติม โดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2)

พ.ศ. 2550 (กรมวิชาการเกษตร, 2557)

(7.5.3) ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ จากการใช้ประโยชน์น้ำทิ้งบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแปรรูป มีสมบัติเป็นแหล่งอาหารที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์สูงสามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพ เช่น จุลินทรีย์ผลิตกรด 5 - อะมิโนลิวูลินิก เป็นสารที่สำคัญในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และฮีโม ซึ่งปัจจุบันมีการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยการใช้ในความเข้มข้นต่ำจะช่วยเพิ่มคลอโรฟิลล์ในพืช ส่งเสริมศักยภาพในการสังเคราะห์แสงและผลผลิตพืช ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่นำสารดังกล่าวมาใช้ประโยชน์กับพืชหลายชนิด เช่น ถั่วข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี มันฝรั่ง กระเทียม ข้าว และข้าวโพด ซึ่งเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตได้ถึง 10 - 60 เปอร์เซ็นต์ ต่อฤดูกาลผลิต (Von Wettstein *et al.*, 1995) นอกจากนี้วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอาหารทะเลแปรรูป เช่น เปลือกกุ้ง เปลือกปู นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ไคโตซาน (chitosan) ที่มาจากสารไคติน (chitin) และไคโตซาน จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสมที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งพบอยู่ในเปลือกนอกของสัตว์พวกกุ้ง ปู แมลง และเชื้อรา เป็นสารธรรมชาติที่มีลักษณะโดดเด่นเฉพาะตัว คือ เป็นวัสดุชีวภาพ มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ สัตว์ และไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม สารไคตินและไคโตซาน มีลักษณะพิเศษในการนำมาใช้ดูดซับ และจับตะกอนต่าง ๆ ในสารละลาย แล้วนำสารกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งเป็นการหมุนเวียนตามระบบธรรมชาติ และสามารถยับยั้งเชื้อสาเหตุของโรคพืช ได้แก่ เชื้อไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อราบางชนิด โดยไคโตซานจะซึมผ่านเข้าทางผิวใบและลำต้นพืช ช่วยยับยั้งการเกิดโรคพืชในกรณีที่เกิดเชื้อโรคพืชแล้ว และสร้างความต้านทานโรคให้กับพืช โดยไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น

ตัวกระตุ้นระบบป้องกันตัวเองของพืช ทำให้พืชผลิตเอนไซม์และสารเคมี เพื่อป้องกันตนเองหลายชนิด พืชจึงลดความเสี่ยงที่จะถูกคุกคามโดยเชื้อสาเหตุโรคพืช และมีบทบาทสำคัญด้านการเกษตร โดยคุณสมบัติโคโตซานมีองค์ประกอบไนโตรเจนอยู่ด้วย มีบทบาทสำคัญในด้านปุ๋ยชีวภาพ และเป็น สารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช (พัชรนันท์, 2542) มีการพัฒนานำมาใช้ในการเกษตรอย่าง มากมาย เช่น การเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช เช่น ข้าว ถั่ว ส่วนผสมอาหารสัตว์ ยาขับยั้งแมลง แบคทีเรีย และเชื้อรา ซึ่งวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลที่มีองค์ประกอบของสารโคโตซาน ได้แก่ เปลือกกุ้ง หัวกุ้ง และแกนปลาหมึก (ภาวดี และคณะ, 2543; ภรณ์ภิตา, 2555) โดยผลิตภัณฑ์ เชิงพาณิชย์ เช่น ไมโครโคโตซาน กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช เพิ่มความสมบูรณ์แข็งแรงของลำต้น ใบ และราก ช่วยให้พืชดูดซึมปุ๋ย และแร่ธาตุต่าง ๆ ได้ดีขึ้น กระตุ้นการงอกของเมล็ด ปรับปรุงสภาพ ดิน และกระตุ้นการเกิดสารป้องกันโรคพืช เมื่อใช้เป็นประจำช่วยให้พืชทนต่อความเครียดจาก สิ่งแวดล้อม ศัตรูพืช และโรคพืชได้ดีขึ้น สามารถเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น (พิริยธร, ม.ป.ป.) จากรายงาน ผลของการใช้โคโตซานที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนี้ ค่ะน้ำที่ปลูกในดินที่ผสมปุ๋ยคอกอัตราส่วน 7 : 1 ทำการฉีดพ่นสารละลายโคโตซานความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ของคะน้ำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูงต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ และจำนวนใบของคะน้ำเพิ่ม สูงขึ้น (นวลใจ และ พงษกร, 2556) สำหรับมันสำปะหลัง พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 จากการใช้โคโตซาน อัตรา 200 ซีซีต่อน้ำ 20 ลิตร ทำให้มีผลผลิตหัวสด 6,250 กิโลกรัมต่อไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 23.50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าการใช้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรให้ผลผลิตหัวสด 6,131 กิโลกรัมต่อไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง 24.24 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยทำให้มีผลผลิตหัวสดและเปอร์เซ็นต์แป้งน้อยที่สุดเพียง 2,323.75 กิโลกรัมต่อไร่ และ 20.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการใช้โคโตซานให้ผลผลิตสูงกว่า การไม่ใส่ปุ๋ยถึง 3 เท่า มีแนวโน้มขึ้นของอินทรีย์วัตถุ 0.10 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าการไม่ใส่ 0.04 เปอร์เซ็นต์ (ทวีทรัพย์ และคณะ, 2561) สำหรับข้าว จากการใช้โคโตซานความเข้มข้น 8 10 และ 16 มิลลิกรัม ต่อลิตร มีผลทำให้ข้าวเจ้าหอมนิลมีผลผลิตเพิ่มขึ้น (กนกวรรณ และ พรไพรินทร์, 2559) และการใช้ โคโตซานความเข้มข้น 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการให้ปุ๋ยจุลธาตุ ส่งเสริมการเจริญเติบโตและ ผลผลิตข้าวดีขึ้น และการใช้โคโตซานความเข้มข้น 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ปริมาณกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) และสารประกอบฟีนอล (phenol compounds) ในใบข้าวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ พืชมีภูมิคุ้มกันต้านทานการเข้าทำลายของโรคและแมลง (ศุภชัย และคณะ, 2560)

4.3.5 เทคโนโลยีการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ด้วย การประยุกต์ใช้กระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมในการใช้ประโยชน์จาก วัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดตามภูมิภาค ให้ความคุ้มค่าด้านการบำรุงดิน ซึ่งในเอกสารฉบับนี้ จะกล่าวถึงกระบวนการเทคโนโลยี 3 แขนง ได้แก่ เทคโนโลยีการหมัก เช่น การคลุมดิน และการไถกลบ

เพื่อการอนุรักษ์ และการนำทรัพยากรที่เหลือใช้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตรกลับมาใช้ใหม่ เทคโนโลยีการหมักแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ผลิตภัณฑ์อินทรีย์สาร ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม เช่น การผลิตถ่านชีวภาพเพื่อการบำรุงดิน ดังนี้

1) เทคนิคการคลุมดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

การคลุมดิน หมายถึง การนำวัสดุที่ส่งผลเป็นประโยชน์ต่อหน้าดิน และการปลูกพืช โดยการคลุมดินนั้นจะใช้วัสดุที่มีลักษณะ พรุณ ร่วน และอุ้มน้ำ ป้องกันการสูญเสียความชื้นของหน้าดินเปลี่ยนโดยปกติจะสูญเสียความชื้นส่วนใหญ่จากการระเหยขึ้นไปบนอากาศ ซึ่งส่งผลต่อความชื้นของผิวดินได้ถึง 10 เซนติเมตร รวมถึงแรงดึงให้น้ำที่อยู่ในชั้นดินถึงชั้นลึก 30 - 40 เซนติเมตร ขึ้นมาบนผิว ส่งผลให้ความชื้นของชั้นผิวดินจะเริ่มลดลงไปจนระเหยหมด (วิฑูรย์, 2539)

การคลุมดิน หมายถึง การคลุมดินด้วยวัสดุใด ๆ ก็ตาม ซึ่งอาจเป็นเศษเหลือของพืชหรือวัสดุอื่น ๆ ก็ได้ เช่น พลาสติกสีดำ ขี้เลื่อย เป็นต้น วัตถุประสงค์ก็เพื่อป้องกันการเกิดการกร่อนดิน โดยการลดแรงปะทะของเม็ดฝน และแรงลม เพิ่มความคงทนให้กับก้อนดิน (soil aggregate) ทำให้เพิ่มความสามารถในการซับซึมน้ำ และลดน้ำไหลบ่าอันจะเป็นทั้งการอนุรักษ์น้ำในเวลาเดียวกัน โดยปกติมักจะทำการคลุมดินบนที่ทำการไถพรวนแล้ว และรอการปลูกพืชอยู่ และทำในที่ซึ่งไม่สามารถจะทำการไถพรวนและปลูกพืชในแนวระดับ (contouring) หรือที่ซึ่งไม่สามารถจะทำคันดิน (terracing) ได้สะดวก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

(1) ประโยชน์จากคลุมดินด้วยวัสดุอินทรีย์

(1.1) เป็นการรักษาความชื้นภายในดิน วัสดุคลุมดินจะปกคลุมมิให้แสงแดดส่องกระทบผิวดินโดยตรง และกั้นการระเหยของความชื้นในดินไม่ให้เป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ความชื้นของดินบริเวณที่มีการคลุมดินสูงกว่าบริเวณที่ไม่มีการคลุมดิน

(1.2) ป้องกันการกัดเซาะล้างของผิวดิน ที่เกิดขึ้นจากน้ำและลม เนื่องจากเม็ดฝนที่ตกลงมาจะไม่กระทบผิวดินโดยตรง กระแสน้ำที่ไหลผ่านผิวดินถูกขวาง และดูดซับไว้โดยวัสดุคลุมดิน อีกทั้งขวางกั้นผิวดินจากแรงลม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีลมพัดรุนแรง

(1.3) การคลุมดินไว้ทำให้อุณหภูมิของผิวดินไม่สูงมากนัก บริเวณพื้นผิวดินจึงมีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นการสร้างความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว

(1.4) วัสดุที่คลุมดินช่วยปรับปรุงบำรุงดิน อินทรีย์วัตถุที่จะค่อย ๆ ย่อยสลายและปลดปล่อยแร่ธาตุอาหารให้แก่พืชอย่างช้า ๆ การใช้วัสดุคลุมดินอินทรีย์เมื่อสลายตามธรรมชาติเป็นแหล่งอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของพืชระยะยาว เนื่องจากเศษอินทรีย์วัตถุจะค่อย ๆ สลายตัวเป็นปุ๋ยอย่างช้า ๆ ทำให้ไม่สูญเสีย เป็นวิธีการเหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณพื้นที่เขตร้อน ซึ่งกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ดำเนินไปอย่างรวดเร็วกว่าในระบบนิเวศอื่น

(1.5) ช่วยควบคุมวัชพืช เนื่องจากวัชพืชมุดดินจะปิดกั้นไม่ให้แสงผ่านเข้าไปถึงผิวดิน เมล็ดของวัชพืชที่ฝังอยู่ใต้ดินแม้ว่าจะได้รับความชื้นเพียงพอแต่ก็ขาดแสงอันจำเป็นต่อการเจริญเติบโต ส่วนเมล็ดวัชพืชอื่น ๆ ที่ปลิวมาภายหลังจากที่คลุมวัสดุไว้แล้ว ก็ยากที่จะงอกขึ้นได้ เพราะเมล็ดไม่สัมผัสผิวดินโดยตรง นอกเหนือจากนี้ในกรณีที่มีวัชพืชบางส่วนงอกขึ้นได้ และเกษตรกรก็สามารถกำจัดได้ง่าย ๆ

(2) วัสดุที่ใช้ในการคลุมดินมีอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่

(2.1) ใช้เศษซากอินทรีย์วัตถุ เช่น เศษใบไม้ ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย ใบมะพร้าว ทางใบปาล์มน้ำมัน รวมทั้งมูลสัตว์แห้งคลุมดิน เศษอินทรีย์ที่ใช้คลุมดิน ควรมีลักษณะแห้งเพื่อมิให้เกิดการหมักจนเกิดความร้อน ซึ่งอาจทำอันตรายพืชปลูกได้

(2.2) การปลูกพืชหรือปล่อยให้พืชที่มีชีวิตขึ้นปกคลุมผิวดินบริเวณที่ต้องการ หรือเรียกว่า “พืชคลุมดิน” ส่วนมากนิยมใช้พืชตระกูลถั่ว เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนเป็นปุ๋ยแก่ดิน

(3) เทคนิคการคลุมดิน

(3.1) การคลุมดินด้วยเศษพืชเหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยว เช่น พื้นที่นาหลังการเกี่ยวข้าว สามารถปลูกพืชหมุนเวียนหลังนา เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าวโพดหวาน และพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น โดยการหยอดเมล็ดเป็นแถว ให้เศษฟางข้าวและตอซังคลุมผิวดิน เพื่อรักษาความชื้นในดิน หรือกรณีการปลูกพืชหลังการเกี่ยวข้าวโพดในแปลง เช่น การปลูกพริกทำการย้ายกล้าพริกปลูกเป็นตามแนวร่องข้าวโพดแล้วตัดต้นข้าวโพดคลุมดิน หรือการปลูกพืชตระกูลถั่วโดยการหยอดไปตามแนวร่องข้าวโพดแล้วตัดต้นข้าวโพดคลุมดิน

(3.2) การคลุมดินด้วยเศษพืชในแปลงปลูกที่ไถพรวน โดยนำเศษพืช เช่น ฟางข้าว แกลบ และเศษใบอ้อย เป็นต้น นำมาคลุมดินแปลงปลูกพืช จากรายงานการคลุมดินแปลงปลูกข้าวโพดหวานด้วยแกลบ หญ้าแฝก หรือฟางข้าว ทำให้วัชพืชที่ระยะ 6 สัปดาห์หลังปลูกลดลง เพิ่มผลผลิตข้าวโพดหวานสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ใช้วัสดุคลุมดิน และเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มสูงขึ้น (พรทิพย์ และคณะ, 2020) และจากรายงานการใช้วัสดุคลุมดินด้วยฟางข้าวในแปลงพืชสมุนไพรฟ้าทะลายโจร ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของฟ้าทะลายโจรเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการใช้แกลบ หรือพลาสติกดำ (สมยศ, 2018)

(3.3) การคลุมดินในพื้นที่เกษตรหลังการเก็บเกี่ยวหรือพื้นที่ว่างเปล่า โดยการนำเศษวัสดุอินทรีย์มาคลุมดินเพื่อรักษาหน้าดิน เช่น การนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินภายในสวนปาล์มช่วยเก็บรักษาความชุ่มชื้นให้แกดิน ช่วยลดการชะล้างและพังทลายของหน้าดิน อีกทั้งช่วยให้ปาล์มน้ำมันมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตมากขึ้น สามารถใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี

หรือใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้ ช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน และลดความหนาแน่นรวมของดิน (สุรจิตติ และคณะ, 2548) ซึ่งการนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินภายในสวนปาล์มให้เกิดประโยชน์ ลดผลกระทบต่อน้ำในบริเวณคลุมดิน จำเป็นต้องกองทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันทิ้งไว้เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 เดือน เพราะหากนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันไปใช้เป็นวัสดุคลุมดินทันที จุลินทรีย์ตามธรรมชาติจะย่อยสลายทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ในกิจกรรมของจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโต และย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่งผลให้อุณหภูมิในกองวัสดุสูงขึ้น และดินใต้กองจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ทำให้พืชเจริญเติบโตไม่เต็มที่ (อานัฐ, 2549) หรือการใช้วัสดุเหลือใช้จากกลบใบอ้อย หรือกากขานอ้อยคลุมดินในพื้นที่เกษตรว่างเปล่า ช่วยรักษาความชื้นในดินและลดการชะล้างของหน้าดินได้ด้วยเช่นกัน

การคลุมดินเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยรักษาให้น้ำในดินให้มีอยู่ และไม่สูญเสียความชื้นจากดินเป็นจำนวนมาก คือ การใช้วัสดุในการคลุมดิน สำหรับวัสดุในการคลุมดินที่เกษตรกรนิยมใช้ในแปลงปลูก ปัจจุบันมีทั้งวัสดุฟิล์มพลาสติก และชนิดที่เป็นวัสดุอินทรีย์ ได้แก่ เศษเหลือของพืช เช่น ฟางข้าว เปลือกถั่ว กลบ หญ้าแห้ง ชีเลื่อย และใบอ้อย เป็นต้น ข้อดีของการใช้วัสดุอินทรีย์ในการคลุมดิน เมื่อวัสดุอินทรีย์ย่อยสลายจะปลดปล่อยธาตุคืนสู่ดิน (Hudu *et al.*, 2002) เช่น การคลุมดินด้วยฟางข้าวนาน 18 เดือน ทำให้ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มสูงขึ้น (Vleeschauwer *et al.*, 1980) ดังนั้นการเลือกวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ที่นำมาคลุมดินก็จะมีประโยชน์นอกจากจะควบคุมลดการระเหยของน้ำจากผิวดินแล้ว ยังมีประโยชน์ต่อการกำจัดวัชพืช การลดอุณหภูมิดินลง และเศษวัสดุที่คลุมดินเหล่านี้เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุและแหล่งธาตุอาหารให้แก่พืชได้อีกด้วย (Huang *et al.*, 2005)

2) เทคโนโลยีการหมักด้วยการไถกลบ

การไถกลบตอซังพืช (crop residue incorporation) หมายถึง การนำเศษพืชหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต ไถกลบลงดินในระหว่างการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกและปล่อยทิ้งไว้ เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แล้วจึงดำเนินการปลูกพืชต่อไป (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข)

การไถกลบวัสดุเศษพืชมีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน และปรับปรุงบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ รวมถึงทดแทนธาตุอาหารบางส่วนที่พืชนำไปใช้ และติดไปกับผลผลิตทางการเกษตร

(1) ประโยชน์ของการไถกลบวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ต่อคุณภาพดิน พืช และสิ่งแวดล้อม ดังนี้

(1.1) อินทรีย์คาร์บอนจากเศษพืช เมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายที่สมบูรณ์จะเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ และหมุนเวียนธาตุอาหารพืชคืนสู่ดิน อินทรีย์วัตถุจะดูดซับ

ธาตุอาหารในดิน เพื่อปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ของพืช ลดความเป็นพิษของเหล็กและแมงกานีสในดิน การเพิ่มอินทรีย์วัตถุลงในดิน และช่วยรักษาระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

(1.2) อินทรีย์วัตถุช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ดินมีความโปร่งร่วนซุย อุ่มน้ำได้ดี และความหนาแน่นของดินลดลง

(1.3) เพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน ซึ่งมีบทบาทอย่างมากในกระบวนการแปรสภาพของอินทรีย์วัตถุในดินให้กลายเป็นธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืช ส่งเสริมกิจกรรมจุลินทรีย์จากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ทำให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารของพืชในดิน

(1.4) เพิ่มผลผลิตให้กับพืช ควรทำการไถกลบตอซังพืชในพื้นที่เกษตรกรรมอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เผาตอซัง

(1.5) ลดปัญหามลภาวะในสภาพแวดล้อม และอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากฝุ่นควันที่เกิดจากการเผา ซึ่งการเผามักจะกระทำกันฤดูแล้ง ทำให้ไม่มีฝนมาช่วยทำให้ฝุ่นควันเหล่านี้เจือจางลงได้ จากสถานการณ์ที่เกิดขึ้นกำลังเป็นปัญหาใหญ่ของประเทศอยู่ในทุก ๆ ปี

(2) เทคนิคการไถกลบเศษซากพืช หลังการเก็บผลผลิตในฤดูกาลปลูกที่ผ่านมา แยกตามชนิดและพื้นที่ปลูกพืช โดยการไถกลบวัสดุเหลือใช้เศษพืช และวัสดุเหลือใช้หลังการเก็บเกี่ยว หรือวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร วัสดุอินทรีย์ที่ไถกลบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558) คือ

(2.1) วัสดุไถกลบจากไร่นา เป็นวัสดุอินทรีย์ที่ได้มาหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชที่เพาะปลูก ได้แก่ ตอซังข้าว พางข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง พืชตระกูลถั่ว และอื่น ๆ เป็นต้น ทำการไถกลบเพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินต่อไป และการไถกลบควรทำพร้อมกับการเตรียมดินในฤดูกาลปลูกพืชใหม่ต่อไป เพื่อให้เศษพืชคลุมรักษาผิวหน้าดิน และลดต้นทุนค่าไถ

(2.2) วัสดุไถกลบจากโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตร ซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ที่ได้มาจากการแปรสภาพผลผลิตทางการเกษตรบางประเภท ได้แก่ กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล เปลือกมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง และวัสดุอินทรีย์ที่ได้จากโรงงานผลิตภัณฑ์แปรรูปอาหารและผลไม้กระป๋อง ได้แก่ กากมะเขือเทศ เปลือกและซังข้าวโพดหวาน เศษวัสดุหีบ และเปลือกผลไม้ต่าง ๆ ตามฤดูกาล เป็นต้น ซึ่งวัสดุอินทรีย์ดังกล่าวนี้ เกษตรกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยการใส่ลงในดิน และทำการไถกลบได้

(3) วิธีการไถกลบตอซังข้าว สามารถพิจารณาตามลักษณะพื้นที่ปลูกพืชแต่ละชนิด การไถกลบตอซังในพื้นที่ปลูกข้าว การทำน่ายังมีการจัดการเรื่องการไถกลบตอซัง แบ่งตาม

พื้นที่เพาะปลูก คือ พื้นที่นาในระบบชลประทาน และในพื้นที่นาข้าวที่ไม่มีระบบชลประทาน มีรายละเอียดดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

(3.1) พื้นที่นาข้าวในเขตชลประทาน สามารถปลูกข้าวได้ต่อเนื่อง 2 - 3 ครั้งต่อปี หลังจากเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว ให้ทำการไถกลบตอซังและฟางข้าว จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการจัดการฟางข้าวให้มีสภาพพร้อมที่จะใช้เครื่องมือไถกลบได้ โดยปล่อยน้ำเข้านาให้ระดับน้ำพอท่วมวัสดุ หลังจากนั้นใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำอัตรา 5 ลิตรต่อไร่ เจือจางกับน้ำ 100 ลิตร คิดเป็นอัตราส่วน 1 : 20 ราดลงในแปลงข้าว เพื่อช่วยให้ตอซังข้าวย่อยสลายได้ง่าย หมักไว้ประมาณ 2 สัปดาห์ แล้วจึงทำเทือก เพื่อเตรียมเพาะปลูกข้าวครั้งใหม่ต่อไป หรือสามารถปลูกพืชไร่เศรษฐกิจชนิดอื่นได้ เช่น พืชตระกูลถั่ว ข้าวโพด และข้าวฟ่าง เป็นต้น (ภาพที่ 14)

(3.2) พื้นที่เขตเกษตรน้ำฝน กรณีปลูกข้าวเป็นพืชหลักเพียงอย่างเดียว ตลอดฤดูเพาะปลูกโดยอาศัยน้ำฝน หลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวให้ทิ้งฟางข้าวและตอซังไว้ในพื้นที่ของเกษตรกร เพื่อเป็นการคลุมผิวหน้าดิน จากนั้นเมื่อเข้าสู่ต้นฤดูฝนประมาณปลายเดือนเมษายน หรือต้นเดือนพฤษภาคม ให้ทำการเตรียมดินพร้อมกับการไถกลบตอซังและฟางข้าว แล้วปฏิบัติเช่นเดียวกันกับในเขตชลประทาน โดยทำการปล่อยน้ำเข้านาให้ระดับน้ำท่วมวัสดุที่ไถกลบ หลังจากนั้นใส่ปุ๋ยอินทรีย์น้ำในพื้นที่ 1 ไร่ ใช้อัตรา 5 ลิตร โดยให้เจือจางกับน้ำ 100 ลิตร ก่อนราดลงในแปลงนาข้าว หมักทิ้งไว้ประมาณ 2 สัปดาห์ เพื่อให้ตอซังข้าวเกิดการย่อยสลาย แล้วจึงทำเทือกเตรียมแปลงพร้อมที่จะปลูกข้าวต่อไป



ภาพที่ 14 การไถกลบตอซังข้าว

ที่มา: วิสุทธิ์ (2559)

(4) การไถกลบตอซังในพื้นที่ปลูกพืชไร่และพืชผัก ในสภาพพื้นที่ดอน ซึ่งมีการปลูกพืชหลายชนิด ให้ไถกลบ หรือสับกลบวัสดุตอซัง ดังนี้

(4.1) การไถกลบตอซังข้าวโพดและข้าวฟ่าง ใช้ระยะเวลาไถกลบ 15 วัน ก่อนทำการปลูกพืชใหม่

(4.2) การไถกลบพืชตระกูลถั่ว ใช้ระยะเวลาไถกลบ 7 วัน ก่อนทำการปลูกพืชใหม่

(4.3) การไถกลบเศษพืชในพื้นที่ปลูกอ้อย มีวัสดุเหลือทิ้งจากใบและยอดอ้อย หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตปีแรก และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยต่อในปีต่อ ๆ ไป ควรทำการไถกลบทุกครั้ง เพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุและคินธาดอาหารพืชบางส่วนที่ต้นอ้อยดูดใช้กลับคืนสู่ดิน

(5) การใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์เพื่อช่วยเร่งการย่อยสลายตอซังพืช จากการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์เร่งการย่อยสลายตอซังพืชในการหมักตอซัง และฟางข้าว เช่น รายงานการใช้น้ำหมักชีวภาพปลา อัตราส่วนเจือจาง 1 : 10 ทำให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายฟางข้าวเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 20.95 เปอร์เซ็นต์ โดยสมบัติของน้ำหมักชีวภาพปลาเมืองค้ประกอบ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส อินทรีย์วัตถุ และค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด ส่งผลต่อประสิทธิภาพทำงานกิจกรรมการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ (ชนากานต์ และคณะ, 2565) และในน้ำหมักชีวภาพมีจุลินทรีย์ประกอบด้วย *Bacillus* sp. *Aspergillus* sp. และ *Lactobacillus* sp. มีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ทำหน้าที่ย่อยสลายเซลลูโลส ผลิตเอนไซม์โปรติเอสทำหน้าที่ย่อยโปรตีน และผลิตเอนไซม์ฟอสฟาเทส (phosphatase) ทำหน้าที่ปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้เป็นประโยชน์ต่อพืช (โสฬส, 2559) การหมักฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพจากปลา ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายฟางข้าวมากตามไปด้วย พบว่า การย่อยสลายฟางข้าวด้วยน้ำหมักชีวภาพปลา ตรวจพบปริมาณแบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีทย่อยสลายเซลลูโลสเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมัก ส่งผลต่อการย่อยสลายฟางข้าวที่เพิ่มขึ้น และการจัดการระบบให้น้ำหรือการควบคุมระดับความชื้นของดินในแปลง อาจมีผลส่งเสริมการย่อยสลายจากการใช้น้ำหมักชีวภาพปลาด้วยเช่นกัน (วีณรัตน์, 2553; นวลจันทร์, 2557) และการใช้ผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมัก จากผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ช่วยเร่งการย่อยสลายตอซังและฟางข้าวที่ค้างอยู่ในแปลงนา เพื่อการปลูกข้าวอย่างต่อเนื่อง และจากผลการทดลองที่ศูนย์วิจัยข้าวคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี พบว่า การใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายตอซังข้าว ทำให้ไม่พบการเกิดโรคเมตาตอซังข้าว และให้ผลผลิตข้าวมากกว่าการไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ และจากกรณีศึกษาแปลงเกษตรกร จังหวัดนครปฐม พบว่า ปริมาณข้าวเรือที่งอกจากเมล็ดข้าวที่ร่วงหล่นในแปลงนา และข้าวตอซังที่งอกจากตอซังข้าวในแปลงนาที่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ มีปริมาณข้าวเรือที่งอกจากเมล็ดข้าวน้อยกว่าที่อยู่ในแปลงนาที่ไม่มีการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การเฝ้าติดตามที่เหลืออยู่หลังการเก็บเกี่ยวข้าวรุ่นก่อนแล้ว ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ลงในแปลง 7 วัน ทำให้ปลูกข้าวได้ โดยกล้าข้าวไม่แสดงอาการโรคเมตาต็อกซ์ ผลผลิตข้าวที่ได้จากกรรมวิธีใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ มีจำนวนมากกว่าผลผลิตที่ได้จากกรรมวิธีไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ (สุปรานี และคณะ, 2557) ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานทั้งภาครัฐ เอกชน และมหาวิทยาลัย ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์เพื่อทำปุ๋ยหมัก ส่งเสริมสู่เกษตรกรไว้ใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมัก เช่น น้ำหมักชีวภาพจากสารเร่งซูปเปอร์ พด. 2 ของกรมพัฒนาที่ดิน ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ทำปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร และผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ของเอกชน มีจำหน่ายตามท้องตลาดหลายผลิตภัณฑ์ เช่น BIO SOIL ซูปเปอร์ - ไบโอ ไอโบนิค เป็นต้น มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จึงควรพิจารณาในการเลือกใช้

3) เทคโนโลยีการหมักผลิตปุ๋ยอินทรีย์

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ให้นิยามศัพท์ “ปุ๋ยอินทรีย์” หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุที่มีความสำคัญต่อการปรับปรุงบำรุงดิน เป็นแหล่งธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ค่อนข้างครบถ้วนที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต แม้แต่ละธาตุจะมีปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี แต่ธาตุอาหารส่วนมากถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ เพราะธาตุอาหารบางส่วนเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ และบางส่วนอยู่ในรูปคีเลต (chelate) จึงมีการสูญเสียเนื่องจากการชะล้างน้อย (ธงชัย, 2546)

(1) ปุ๋ยอินทรีย์ แบ่งได้ 4 ชนิด ดังนี้

(1.1) ปุ๋ยคอก (animal manure) หมายถึง สิ่งที่ได้จากมูลสัตว์ เกิดการเน่าเปื่อย หรือย่อยสลายจนถึงขั้นกลายเป็นฮิวมัสแล้วจึงนำไปใช้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ปุ๋ยคอก คือ มูลซึ่งสัตว์ขับถ่ายและสะสมอยู่ตามพื้นคอก ตลอดจนมูลและน้ำล้างคอกที่รวมอยู่ในสระเก็บน้ำทิ้ง มูลสัตว์ซึ่งรวบรวมได้มากพอที่จะใช้เป็นปุ๋ย ได้แก่ มูลโค กระบือ สุกร และสัตว์ปีก ในมูลสัตว์ดังกล่าวมีฟาง วัสดุรองคอก เศษพืช เศษอาหาร และปัสสาวะรวมกัน (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

(1.2) ปุ๋ยหมัก (compost) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการนำชิ้นส่วนของพืชมาหมัก และผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จนแปรสภาพไปจากรูปเดิมจนกระทั่งได้อินทรีย์วัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ และมีสัดส่วนของสารประกอบของคาร์บอนและไนโตรเจนต่ำกว่า 20 : 1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข)

(1.3) ปุ๋ยพืชสด (green manure) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการตัดสับหรือไถกลบลงไปบนดินในขณะที่พืชยังเขียวสดอยู่ในช่วงระยะที่พืชออกดอก เพื่อใช้ในการปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ของดิน พืชปุ๋ยสดที่นิยมใช้ คือ พืชตระกูลถั่ว เช่น ปอเทือง ถั่วพุ่ม ถั่วพริ้ว โสนอัฟริกัน เป็นต้น เนื่องจากขึ้นได้ง่ายและเจริญเติบโตได้ดี รวมทั้งมีแบคทีเรียไรโซเบียมที่ช่วยในการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ จึงทำให้พืชตระกูลถั่วมีไนโตรเจนสูง เมื่อไถกลบลงไปบนดิน และย่อยสลายแล้วจะช่วยในการเพิ่มไนโตรเจนและอินทรีย์วัตถุในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข)

(1.4) ปุ๋ยอินทรีย์เหลว หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ กรณีเป็นปุ๋ยอินทรีย์เหลว ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ให้นิยามศัพท์ “ปุ๋ยอินทรีย์” หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ (กรมวิชาการเกษตร, 2557)

(1.5) น้ำหมักชีวภาพ หมายถึง สารอินทรีย์ในรูปของเหลวที่ประกอบด้วยกรดอินทรีย์ และฮอโมน หรือสารเสริมการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด โดยได้จากการบวกรบการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในรูปของเหลว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ง)

(2) ประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์ต่อคุณภาพดิน ดังนี้

(2.1) สมบัติทางเคมีของดิน ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ต่ำ และสลายตัวให้อิออนส์ ซึ่งมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่า 60 เซนติโมลของประจุต่อกิโลกรัม เมื่อใส่ลงดินทำให้ช่วยเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงตามสัดส่วนของอัตราปุ๋ยที่ใส่ด้วย มีผลดี คือ เพิ่มปริมาณแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ ลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชรูปแคตไอออนไปกับการชะล้าง ดินมีความจุบัฟเฟอร์ (buffering capacity) สูงขึ้นจึงทำให้ต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน อีกทั้งเพิ่มอินทรีย์วัตถุในรูปเสถียร ได้แก่ กรดฮิวมิกจะค่อนข้างเสถียรเมื่ออยู่ในธรรมชาติ สามารถคงทนอยู่ในดินได้ และละลายน้ำได้น้อย และถูกชะล้างไปได้ยาก นอกจากนี้กรดฮิวมิกยังประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหมู่ฟีนอลิก สามารถยึดจับ และเปลี่ยนธาตุอาหารพืชและโลหะอื่น ๆ ได้อีกด้วย

(2.2) สมบัติทางกายภาพของดิน เนื่องจากอินทรีย์สารในปุ๋ยอินทรีย์มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคที่พอเหมาะ จึงปรากฏว่าเมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงบนดิน จะทำให้ดินอุ้มน้ำดีขึ้น และปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงขึ้น ทำให้ดินที่มีอนุภาคหยาบเกาะตัวกันดีขึ้น ส่วนดินเหนียวจะร่วนขึ้น มีการระบายน้ำและอากาศดีขึ้น ความหนาแน่นของดินลดลง ไม่แข็งเมื่อแห้ง และไม่จับติดเครื่องมือไถพรวนเมื่อมีความชื้นสูง อย่างไรก็ตาม ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อสมบัติทางกายภาพของดินจะไม่ใช่เป็นผลที่ยั่งยืนถาวร ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของปุ๋ยที่ใช้ ความถี่ในการใส่ และอัตราการสลายตัวขององค์ประกอบของปุ๋ยอินทรีย์ เช่น

พวกที่มีองค์ประกอบของฮิวมิคอยู่สูง ซึ่งจะช่วยรักษาสภาพทางกายภาพของดินให้ดีขึ้นอยู่ได้นาน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

(2.3) สมบัติทางชีวภาพของดิน อิทธิพลของอินทรีย์วัตถุ และสารอินทรีย์ ที่ได้จากปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งสารอาหารและพลังงานของสิ่งมีชีวิตในดิน เมื่อใส่ลงในดินจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งเสริมความหลากหลายของระบบนิเวศในดิน และกิจกรรมเอนไซม์ที่มีความสัมพันธ์กับการหมุนเวียนธาตุอาหารคีนสู่ดิน และการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ซึ่งกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์เหล่านี้ล้วนมีผลโดยตรงและโดยทางอ้อมต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ทำให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารในรูปต่าง ๆ ถ่ายทอดและถ่ายทอดจากสิ่งมีชีวิตหนึ่งไปยังสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ จึงเท่ากับเป็นการรักษาธาตุอาหารในรูปต่าง ๆ ไว้ไม่ให้สูญหายในเวลาอันสั้น ภายหลังใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง สามารถเพิ่มปริมาณของไส้เดือนและสัตว์เล็ก ย่อมเป็นสัญลักษณ์ที่บ่งบอกให้ทราบถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับสูงขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

(3) ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยอินทรีย์

วัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ประเภทต่าง ๆ ซึ่งสามารถจำแนกโดยอาศัยแหล่งที่มาดังนี้ คือ

(3.1) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยฟางข้าว ต้นข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง ต้นพืชตระกูลถั่ว ใบยอดอ้อย และมูลสัตว์

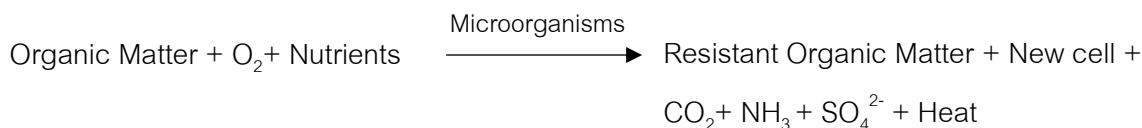
(3.2) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก แต่ละปีจึงมีวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นจำนวนมาก ซึ่งวัสดุดังกล่าวสามารถนำมาผลิตปุ๋ยหมักได้ เช่น ชานอ้อย ชังข้าวโพด ชี้อ้อย แกลบ ชุยมะพร้าว กากเมล็ดปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์มน้ำมัน กากมันสำปะหลัง เปลือกมันสำปะหลัง และกากตะกอนน้ำทิ้งต่าง ๆ

(4) ปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่ได้จากการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร มาหมักรวมกันแล้วทำการปรับเปลี่ยนสภาพของวัสดุ โดยวิธีการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ การผลิตปุ๋ยหมักมีวิธีการที่คล้ายกัน คือ การนำวัสดุเหลือใช้ที่สามารถย่อยสลายได้มากองรวมกัน ควบคุมความชื้น อุณหภูมิ ให้เหมาะสม แล้วใช้จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ช่วยในกระบวนการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ให้กลายเป็นปุ๋ย (อานันท์, 2549; โสฬส, 2559) มีปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของปุ๋ยหมัก ดังนี้

(4.1) การควบคุมกระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ

กระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ หรือใช้ออกซิเจน สามารถแสดงปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ดี (Tchobanoglous *et al.*, 1993) ดังนี้

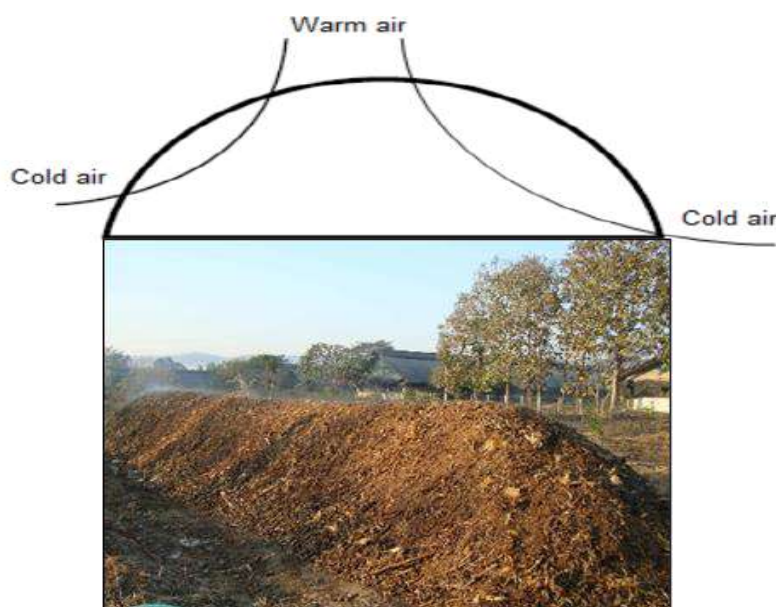


ในกระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ หรือใช้ออกซิเจน อินทรีย์วัตถุจะถูกย่อยสลายด้วยกลุ่มของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน จนกระทั่งกลายเป็นสารอินทรีย์คงตัวที่ไม่สามารถย่อยสลายได้อีกในกระบวนการย่อยสลายจะใช้เวลาประมาณ 7 - 30 วัน ขึ้นอยู่กับขนาด และชนิดของวัสดุหมัก การให้อากาศกับกองปุ๋ยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การพลิกกลับกองปุ๋ย และการใช้ระบบเติมอากาศ ดังนี้

วิธีที่ 1 การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศโดยกลับกองปุ๋ย เป็นวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรทำกันมานานแล้ว เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมที่เกิดจากการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร มากองบนพื้นที่ราบ ซึ่งเป็นพื้นดิน หรือพื้นคอนกรีต และสามารถกองได้ทั้งกลางแจ้ง และภายในโรงเรือนที่มีหลังคา แต่การกองวัสดุหมักไว้ในโรงเรือนที่มีหลังคาจะช่วยให้อุณหภูมิในการหมัก และคุณสมบัติปุ๋ยหมักที่ได้ดีกว่า เนื่องจากการหมักภายใต้โรงเรือนจะช่วยป้องกันแสงแดดและน้ำฝน ส่งผลให้มีความชื้นในกองปุ๋ยระหว่างกระบวนการหมักระเหยได้น้อยกว่า และธาตุอาหารไม่ถูกน้ำฝนชะล้างออกไป หลังจากทำการกองปุ๋ยได้ตามขนาดที่ต้องการแล้ว จะทำการพลิกกลับกองปุ๋ยครั้งแรกในวันที่ 7 ของการหมัก ซึ่งจำนวนครั้งของการพลิกกลับกองจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุหมัก แต่ในการหมักปุ๋ยแต่ละครั้งนั้นควรทำการพลิกกลับกองปุ๋ยอย่างน้อย 3 - 4 ครั้ง เพราะการพลิกกลับกองปุ๋ยจะเป็นการเพิ่มอากาศให้กับกองปุ๋ย ส่งผลให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยลดลง (อานัฐ, 2549) การระบายอากาศ หรือการเพิ่มออกซิเจนให้แก่กองปุ๋ย อาจทำได้โดยการกลับกองปุ๋ย ซึ่งนอกจากจะมีผลดีในการระบายอากาศแล้วยังช่วยลดกลิ่นคาวของวัสดุต่าง ๆ ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ การกลับกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง เป็นวิธีการที่ไม่ต้องลงทุน แต่ต้องใช้แรงงานเพิ่มขึ้น จากการศึกษาวิธีการระบายอากาศต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว พบว่า การกลับกองปุ๋ยหมักทุก ๆ 10 วัน ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 วันแรกของการกองปุ๋ยหมัก หรือจะทำการกลับกองปุ๋ยหมักทุก ๆ 20 วัน หรือทำการกลับกองปุ๋ย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในกองปุ๋ย 50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยให้ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นได้เช่นกัน และทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง ใกล้เคียงกันระหว่าง 20 : 1 ถึง 30 : 1 หลังจากหมักฟางข้าวประมาณ 3 เดือน (พิทยากร และคณะ, 2534)

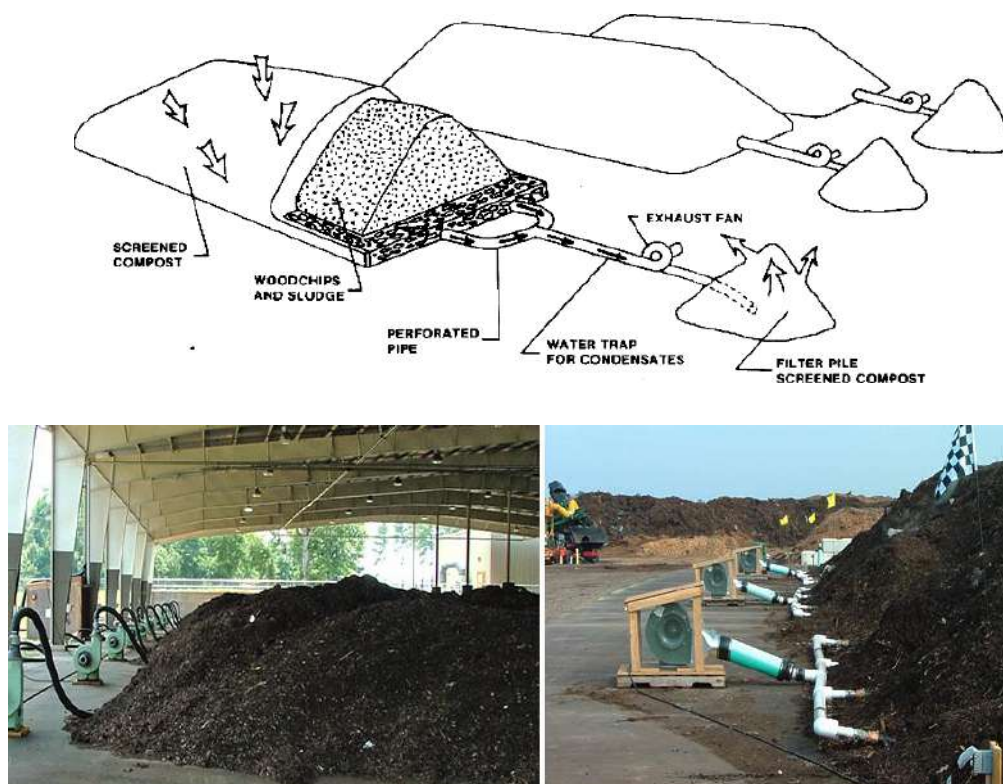
วิธีที่ 2 การทำปุ๋ยหมักแบบระบบเติมอากาศ การทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองปุ๋ยแบบง่าย ลักษณะการผลิตปุ๋ยหมักแบบง่ายใช้การแพร่ของอากาศแบบไม่กลับกอง

เช่น วิธีวิศวกรรมแมงไจ้ 1 (ภาพที่ 15) และการใช้ระบบเติมอากาศ เพื่อช่วยแก้ปัญหาความยุ่งยากในขั้นตอนการพลิกกลับกองปุ๋ย เนื่องจากการพลิกกลับกองปุ๋ยที่ไม่ทั่วทั้งกองเกิดการเติมอากาศเข้ากองปุ๋ยได้น้อย เพราะการเติมอากาศเข้ากองปุ๋ย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยดีขึ้น การหมักปุ๋ยด้วยวิธีการเติมอากาศจะใช้เวลาในการหมักอยู่ที่ 20 - 45 วัน ซึ่งการหมักด้วยวิธีการเติมอากาศจะใช้เวลาหมัก และความยุ่งยากในการหมักน้อยกว่า เพราะไม่ต้องเสียเวลาในการพลิกกลับกองปุ๋ย เหมาะสมกับการนำมาใช้สำหรับการหมักปุ๋ยที่มีปริมาณวัสดุหมักปริมาณมาก เช่น กองปุ๋ยจากกากตะกอนวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร โดยใช้เครื่องอัดอากาศเป่าเข้าไปสู่กองปุ๋ยหมัก โดยอากาศภายนอกกองปุ๋ยที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในกองปุ๋ยหมักจะถูกเป่าเข้าไปแทนที่ ส่งผลให้ภายในกองปุ๋ยหมักมีอากาศเพียงพอต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เป็นการเติมอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศเข้ากองปุ๋ยหมัก แรงกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ย และปลดปล่อยความร้อนออกมา ทำให้กองปุ๋ยหมักมีความร้อนสูงขึ้นระหว่าง 55 - 75 องศาเซลเซียส ช่วยทำลายจุลินทรีย์เชื้อสาเหตุก่อเกิดโรคของมนุษย์ได้ทุกชนิด (Graves *et al.*, 2010) (ภาพที่ 16) ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบการผลิตปุ๋ยหมักด้วยเทคโนโลยีการผลิตผ้าใบโพลีเอทิลีน มีคุณสมบัติกันน้ำ เส้นใยมีรูพรุน ยืดขยายตัว สามารถควบคุมอากาศและความชื้นในกอง ลดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย ลดกลิ่น และรักษาสีแฉดล่อม ซึ่งเป็นมาตรการป้องกัน และลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศสหรัฐอเมริกา (BioCycle, 2013) (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 15 ลักษณะการผลิตปุ๋ยหมักแบบง่ายใช้การแพร่ของอากาศแบบไม่กลับกอง

ที่มา: Graves *et al.* (2010); ธีระพงศ์ (2549)



ภาพที่ 16 ลักษณะการเติมอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศเข้ากองปุ๋ยหมัก

ที่มา: Graves *et al.* (2010)



ภาพที่ 17 เทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยหมักแบบควบคุมสภาวะ และลดการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยผ้าใบกันน้ำโพลีเอทิลีนในประเทศสหรัฐอเมริกา

ที่มา: BioCycle (2013)

(4.2) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักที่ได้ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 : 1 จะถือว่าวัสดุที่ผ่านการหมักเป็นปุ๋ยหมักที่มีความสมบูรณ์ (กรมวิชาการเกษตร, 2557; กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558) สามารถแยกลักษณะของวัสดุเหลือใช้ได้ 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 เป็นประเภทของวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้เร็ว มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 100 : 1 เช่น พืชตระกูลถั่ว ผักตบชวา หญ้าขน เปลือกสับปะรด ฟางข้าว ทะลายเป่าปาล์มน้ำมัน เส้นใยปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ประเภทที่ 2 เป็นประเภทของวัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่สูงกว่า 100 : 1 เช่น ชี้อ้อย แกลบ ใบอ้อย ชานอ้อย เป็นต้น ดังนั้นเพื่อควบคุมอัตราการย่อยสลายให้เกิดเร็วในกองปุ๋ยหมักควรมีการกำหนดค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักที่เหมาะสมในกระบวนการหมักควรมีค่าเริ่มต้นที่ 30 - 50 : 1 (Thambirajah and Kuthubutheen, 1989) แต่หากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกินไปจะทำให้ไนโตรเจนเกิดการระเหยออกจากกองปุ๋ย แต่ในทางกลับกันหากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูงมาก ๆ จะต้องทำการเติมสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของปุ๋ยเคมี หรือสารอินทรีย์ที่มีแหล่งไนโตรเจนประกอบอยู่ เพื่อช่วยลดให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำลง (Ruggieri *et al.*, 2008) เช่น ปุ๋ยหมักจากทะลายเป่าปาล์มผสมกับกากตะกอนดีแคเตอร์ กำหนดค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุเริ่มต้นที่ 35 : 1 เติมนจุลินทรีย์จากสารเร่งซุเปอร์ พด. 1 แล้วเติมอากาศภายใต้กอง ระยะเวลาการหมัก 60 วัน ได้ปุ๋ยหมักที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (ณัฐราชัตน์, 2558)

(4.3) ความชื้น ความชื้นในกองปุ๋ยหมักเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เพราะความชื้นหรือน้ำในกองปุ๋ยมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ความชื้นที่เหมาะสมที่สุดในกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยอยู่ที่ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ แต่ในทางกลับกันหากความชื้นในกองปุ๋ยหมักมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นภายในกองปุ๋ยหมัก เนื่องจากออกซิเจนไม่สามารถที่จะกระจายเข้ากองปุ๋ยได้อย่างทั่วถึง ทำให้กลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถเจริญอย่างรวดเร็ว และปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมา ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น และมีผลทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารพืชในระหว่างกระบวนการหมัก เช่น ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558)

(4.4) อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมในกองปุ๋ยหมักอยู่ในช่วง 40 - 70 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ส่งผลให้จุลินทรีย์บางชนิดไม่สามารถดำรงอยู่ได้ และหยุดการเจริญเติบโต ทำให้กระบวนการย่อยสลายวัสดุหมักในกองช้าลง (ศักดิ์สิทธิ์, 2533) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะเพิ่มขึ้นในช่วง 2 - 5 วันแรกหลังจากการหมักปุ๋ย โดยอุณหภูมิในกองปุ๋ยอาจเพิ่มขึ้นถึง 60 - 70 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมิ

ดังกล่าวจะพบจุลินทรีย์จำพวกเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ เพราะจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง และเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยลดลงเหลือประมาณ 45 - 60 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์กลุ่มที่ชอบความร้อนปานกลางจะสามารถทำงานได้ดี โดยพบแบคทีเรียเป็นส่วนมากจะทำหน้าที่ย่อยสลายวัสดุหมักแทน (ธีระพงศ์, 2549) ระดับอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับชนิดและขนาดของเศษวัสดุ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักด้วย โดยวัสดุที่เป็นเส้นขนาดใหญ่ ได้แก่ ฟางข้าว และผักตบชวา จะมีอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงระหว่าง 45 - 50 องศาเซลเซียส แต่วัสดุที่มีขนาดเล็ก ได้แก่ กากอ้อย แกลบ และเศษปอ จะมีอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักแล้ว ยังขึ้นอยู่กับ การเติมปัจจัยบางชนิดร่วมกับวัสดุเศษพืชในการทำปุ๋ยหมักด้วย ได้แก่ การเติมมูลสัตว์ลงในกองปุ๋ยหมัก (เสียงแจ้ว และคณะ, 2534) การใส่มูลสัตว์ซึ่งอาจจะเป็นมูลไก่ มูลโค หรือมูลสุกร ในอัตราตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูงกว่าการไม่ใส่มูลสัตว์ในช่วง 5 วันแรกของการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจากอุณหภูมิ 51 เป็น 60 องศาเซลเซียส และการใส่มูลสัตว์ในอัตราที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งเสริมการเพิ่มอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักมากขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในกองปุ๋ยหมักจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเพิ่มประสิทธิภาพอัตราการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ และมีความสอดคล้องกับ อัตราส่วนการลดลงของค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักด้วย (วรรณลดา และคณะ, 2534) การเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิตามที่ได้กล่าวแล้วนี้ โดยเฉพาะระยะที่สองที่มีอุณหภูมิสูงถึง 50 - 70 องศาเซลเซียส จะมีผลไปทำลายเมล็ดวัชพืช ไข่แมลง เชื้อโรคต่าง ๆ ของคน และเชื้อโรคพืชก็ถูกทำลายด้วย โดยทั่วไปเชื้อราสาเหตุโรคพืชจะถูกทำลายที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่วนเชื้อโรคของคนมักถูกทำลายที่อุณหภูมิตั้งแต่ 55 องศาเซลเซียส (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

(4.5) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่เหมาะสมที่สุดในกองปุ๋ยหมัก จะอยู่ในช่วงระหว่าง 5.0 - 7.5 การวัดระดับความเป็นกรดเป็นด่างจากตัวอย่างที่เก็บจากกองปุ๋ยหมัก นำมาหาค่าเฉลี่ยในช่วง 3 วันแรกจะลดลงจากเดิมเหลือ 5.3 ถึง 5.7 หลังจากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง เมื่ออยู่ในช่วงระหว่าง 7.0 - 8.5 และในช่วง 2 - 3 วันแรก และจะมีระดับความเป็นกรดเป็นด่างลดลง เนื่องจากในช่วงแรกสามารถย่อยสลายวัสดุที่ย่อยสลายได้ง่ายอย่างรวดเร็ว และผลิตกรดอินทรีย์บางชนิด มีผลทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างลดลงระหว่าง 4.5 - 5.0 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการหมัก จะมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้นด้วย และจะรักษาระดับความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ในช่วงระหว่าง 7.5 - 8.5 (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข) ดังนั้นแม้เศษวัสดุที่นำมาหมักจะมีความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน เช่น ตะกอนน้ำเสียจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ 5.0 - 6.5 เมื่อนำมาหมักความเป็นกรดเป็นด่างในกองปุ๋ยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 - 8.5 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรดเป็นด่างในการหมักวัสดุต่าง ๆ พบว่า ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยหมักขี้เลื่อย ปุ๋ยหมักกากตะกอนน้ำเสีย และปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัส มีค่าระดับ

ความเป็นกรดเป็นด่างไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และปุ๋ยหมักที่ได้มีค่าระดับความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 6.7 - 8.1 (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

(4.6) ขนาดของวัสดุเหลือใช้ที่ย่อยสลายได้ยาก ก่อนการหมักควรที่จะต้องสับ หรือหั่นวัสดุ ให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้วัสดุหมักสัมผัสกับอากาศได้ง่ายขึ้น จะช่วยให้กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์สามารถทำกิจกรรมได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ขนาดของเศษวัสดุที่แนะนำว่าควรใช้ขนาดวัสดุที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 - 50 มิลลิเมตร กองให้มีช่องอากาศ 32 - 38 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้น 52 - 60 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นสภาพที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายตัวของวัสดุแบบใช้อากาศ สำหรับปริมาณช่องอากาศอิสระในกองวัสดุ โดยทั่วไปเศษวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักมีลักษณะที่แห้ง เนื่องจากสะดวกในการกองและควบคุมสภาพแวดล้อมในกองปุ๋ย ในด้านความชื้นและการระบายอากาศ บางกรณีอาจใช้เศษวัสดุสดแต่ต้องระมัดระวังเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่มากและการระบายอากาศไม่ดี เพราะอาจก่อให้เกิดกระบวนการเน่าเสียในกองปุ๋ยได้ เช่น กากตะกอน หรือผลผลิตทางการเกษตรที่มีความชื้น นำมาตากแดดประมาณ 2 - 3 วัน เพื่อให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ หรือนำวัสดุอื่น เช่น ฟางข้าวมาผสมในระหว่างการทำปุ๋ยหมัก เพื่อเป็นการลดความชื้นในกองปุ๋ยหมัก (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข)

(4.7) จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการย่อยสลายเศษวัสดุในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง จนกระทั่งเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ความร้อน และสารประกอบอิวมัส กลุ่มของจุลินทรีย์ในแต่ละช่วงเวลาของกระบวนการหมัก มี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง และกลุ่มที่ชอบอุณหภูมิสูง และแบ่งระยะเวลาการหมักเป็น 3 ระยะ ตามอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก ดังนี้ ระยะอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic phase) ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงแรกของการย่อยสลายประมาณ 1 - 2 วัน โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วงประมาณ 30 - 45 องศาเซลเซียส โดยจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลและสารอาหารที่ย่อยสลายง่ายอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้อุณหภูมิของกองปุ๋ยเพิ่มสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ในระยะนี้แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลางจะมีมากที่สุด แต่เมื่ออุณหภูมิของกองปุ๋ยสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ก็จะพัฒนาเข้าสู่ระยะที่ 2 ระยะอุณหภูมิสูง (thermophilic phase) หลังจากหมักเศษวัสดุประมาณ 4 วัน อุณหภูมิในกองปุ๋ยจะเพิ่มสูงขึ้นจนอยู่ระหว่าง 50 - 75 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงจะเริ่มเจริญและเพิ่มปริมาณมากขึ้นในการย่อยสลายสารประกอบย่อยสลายยาก เช่น ไซแลน เซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น ช่วงนี้ตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสและลิกนินได้ดี เมื่อความร้อนในกองปุ๋ยหมักมากเกินไปเกินกว่า 75 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดตายลง และมีผลทำให้อัตราการย่อยสลายลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลง เมื่ออุณหภูมิลดลงถึงระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง สามารถเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ก็จะดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายได้อีกก็จะทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นอีก ลักษณะดังกล่าว

จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักช่วงนี้ประมาณ 45 - 65 องศาเซลเซียส และค่อนข้างคงที่ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนี้ จนกระทั่งสภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักไม่เหมาะสม หรือวัสดุในกองปุ๋ยหมักถูกย่อยสลายจนใกล้จะสมบูรณ์ก็จะทำให้อุณหภูมิลดลง ดังนั้นควรมีการปรับสภาพในกองปุ๋ยหมักให้เหมาะสม ได้แก่ การระบายอากาศโดยการกลับกองปุ๋ย เพื่อเพิ่มการถ่ายเทอากาศ และทำให้กองปุ๋ยมีความร้อนกระจายสม่ำเสมอ และเอาวัสดุที่อยู่ภายนอกเข้ามาได้รับความร้อนภายในกองปุ๋ย และควบคุมความชื้น เพื่อทำให้อัตราการย่อยสลายโดยกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงเหล่านี้ดำเนินกิจกรรมได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการย่อยสลายเศษวัสดุอย่างรวดเร็ว ทำให้ระยะเวลาการทำปุ๋ยหมักน้อยลง เชื้อจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพเร่งการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ผลิตปุ๋ยหมัก

ปัจจุบันมีหัวเชื้อจุลินทรีย์ช่วยเร่งการย่อยสลายเศษพืชได้รวดเร็ว ผลิตเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ เช่น สารเร่งซูปเปอร์ พด. 1 ของกรมพัฒนาที่ดิน เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส ไขมัน และลิกนินที่ย่อยสลายยาก เพื่อผลิตปุ๋ยหมักในเวลาที่รวดเร็ว และมีคุณภาพ เป็นจุลินทรีย์ที่ทนอุณหภูมิสูง ประกอบด้วย 3 กลุ่ม ดังนี้ เชื้อราย่อยเซลลูโลส 4 สายพันธุ์ คือ *Scytalidium thermophilum* *Chaetomium thermophilum* *Corynascus verrucosus* และ *Scopulariopsis brevicaulis* แอคติโนมัยซีทย่อยเซลลูโลส คือ *Streptomyces* sp. จำนวน 2 สายพันธุ์ และแบคทีเรียย่อยไขมัน คือ *B. subtilis* จำนวน 2 สายพันธุ์ (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข) ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ทำปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร และผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ของเอกชน มีจำหน่ายตามท้องตลาดหลายผลิตภัณฑ์ เช่น BIO SOIL ซูปเปอร์ ไบโอ ไบโบนิก และหัวเชื้อจุลินทรีย์ EM เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน จึงควรพิจารณาในการเลือกใช้

(5) วิธีการกองปุ๋ยหมัก สามารถเลือกปฏิบัติได้ตามความเหมาะสมได้ 4 วิธี คือ 1) การกองแบบใช้เศษพืชอย่างเดียว 2) การกองแบบใช้เศษพืชผสมมูลสัตว์ 3) การกองแบบใช้เศษพืชผสมมูลสัตว์และปุ๋ยไนโตรเจน และ 4) การกองแบบใช้เศษพืชผสมมูลสัตว์ ปุ๋ยไนโตรเจน และหัวเชื้อจุลินทรีย์ แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงการกองปุ๋ยหมักวิธีที่ 4 การกองวิธีนี้ได้ปุ๋ยหมักใช้ได้รวดเร็ว มีขั้นตอนการทำปุ๋ยหมักตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข) ดังนี้

(5.1) ส่วนผสมของวัสดุในการกองปุ๋ยหมัก 1 ตัน ประกอบด้วย

เศษพืชแห้ง	จำนวน	1,000	กิโลกรัม
มูลสัตว์	จำนวน	200	กิโลกรัม
ปุ๋ยไนโตรเจน (ยูเรีย)	จำนวน	2	กิโลกรัม

หรือน้ำหมักจากปลา จำนวน 9 ลิตร

สารเร่งซูเปอร์ พด. 1 จำนวน 1 ชอง

(5.2) ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมัก มีดังนี้

แบ่งส่วนผสมของวัสดุออกเป็น 3 ส่วน

ขั้นตอนที่ 1 ผสมสารเร่งซูเปอร์ พด. 1 จำนวน 1 ชอง ในน้ำ 20 ลิตร คนนานประมาณ 10 - 15 นาที เพื่อกระตุ้นจุลินทรีย์ออกจากสภาพที่เป็นสปอร์ และพร้อมที่จะเกิดกิจกรรม

ขั้นตอนที่ 2 การกองชั้นแรก นำเศษพืชแห้งที่แบ่งไว้ส่วนที่หนึ่ง มากอง มีขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร และสูงประมาณ 30 - 40 เซนติเมตร ย่ำให้พอแน่น รดน้ำให้ชุ่มทั่วกอง ใส่มูลสัตว์ทับชั้นเศษพืช และเกลี่ยให้ทั่วกอง จากนั้นโรยปุ๋ยไนโตรเจน หรือรดด้วยน้ำหมักชีวภาพจากปลาให้ทั่วชั้นมูลสัตว์

ขั้นตอนที่ 3 ใส่สารละลายจุลินทรีย์ให้ทั่วกองปุ๋ยสิ้นสุดการกองชั้นแรกหลังจากนั้นนำเศษพืชมากองทับเพื่อทำชั้นต่อไป โดยปฏิบัติการเหมือนกับการกองชั้นแรก ทำต่ออีก 2 - 3 ชั้น

ขั้นตอนที่ 4 กองปุ๋ยที่กองเสร็จแล้ว ชั้นบนสุดของกองปุ๋ยให้ปิดทับด้วยดิน พลาสติก หรือทางมะพร้าว เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น

(5.3) การดูแลกองปุ๋ยหมัก

รดน้ำกองปุ๋ยควรกระทำอย่างสม่ำเสมอ รักษาระดับความชื้นภายในกองอยู่ในระดับที่มีความเหมาะสมกับจุลินทรีย์ ประมาณ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ กรณีหมักแบบกลับกองปุ๋ยหมักเป็นการระบายอากาศลดความร้อนในกองปุ๋ย และช่วยให้วัสดุคลุกเคล้าเข้ากัน เพื่อให้สภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยมีความเหมาะสมกับจุลินทรีย์ในการดำเนินกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง ควรมีการกลับกองปุ๋ยทุก ๆ 7 - 10 วัน เมื่อกองปุ๋ยกลายเป็นปุ๋ยที่สมบูรณ์แล้ว ควรเก็บรักษาปุ๋ยหมักไว้ในโรงเรือนหรือสถานที่ที่มีกำบังแดดและฝน เพราะเมื่อปุ๋ยหมักถูกแดดหรือฝน จะทำให้คุณภาพของปุ๋ยหมักลดลง

(5.4) หลักการพิจารณาลักษณะของปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์

(5.4.1) ปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์พร้อมนำไปใช้เพื่อปรับปรุงดิน คือ มีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ไม่เกิน 20 : 1

(5.4.2) อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยใกล้เคียงกับภายนอกกองปุ๋ย

(5.4.3) สีของเศษวัสดุหลังจากเป็นหมักที่สมบูรณ์จะมีลักษณะ

เป็นสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ

(5.4.4) ลักษณะของวัสดุมีลักษณะอ่อนนุ่ม ยุ่ย และฉีกขาดออกจากกันได้ง่าย

(5.4.5) กลิ่นของวัสดุปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ จะไม่มีกลิ่นเหม็น ในกรณีที่มีกลิ่นเหม็น หรือฉุนอยู่ แสดงว่ากระบวนการย่อยสลายในกองปุ๋ยยังไม่สมบูรณ์

(6) การผลิตปุ๋ยหมักอัตราเร็วสูงแบบถังปฏิกรณ์

การผลิตปุ๋ยหมักอัตราเร็วสูงแบบถังปฏิกรณ์ มีการออกแบบถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 2 ตันต่อวัน ที่จะช่วยให้การทำปุ๋ยหมักเกิดในอัตราสูง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ ที่จะมัลต่อการหมักรวมทั้งการใช้หัวเชื้อที่ขอบอุณหภูมิสูง และสูตรที่เหมาะสมของวัสดุเหลือใช้ที่ใช้อ่อน รวมทั้งการปรับสภาวะต่าง ๆ มีการพัฒนาหัวเชื้ออุณหภูมิสูง เพื่อให้คงอัตราที่สูง และการย่อยสลายที่อุณหภูมิสูง ส่วนการหาสูตรอาหารในการป้อน และสภาวะที่ใช้ คือ การใช้สูตรอาหารให้มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในช่วง 20 - 30 : 1 มีความชื้นในช่วง 45 - 60 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้กิจกรรมของจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพ และให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจนสูงสุด รวมทั้งการบดวัสดุเหลือใช้เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว มีการออกแบบถังปฏิกรณ์ให้มีจำนวนประชากรจุลินทรีย์สูงในบริเวณที่มีการป้อนวัสดุเหลือใช้ โดยใช้ปุ๋ยหมักประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยหมักที่ได้กลับมาผสมกับวัสดุเหลือใช้ที่ป้อนเข้า วิธีการนี้ช่วยลดระยะเวลาในการเริ่มต้นระบบ โดยการให้มีปริมาณจุลินทรีย์ในขนาดที่เพียงพอ และให้มีความร้อนผสมเข้าไปกับวัสดุเหลือใช้ การผสมปุ๋ยหมักทำโดยการหมุนถังปฏิกรณ์ทรงกระบอก เพื่อป้องกันการลื่นไหล และการหมุนยังช่วยเสริมการถ่ายเทออกซิเจน รวมทั้งการถ่ายเทความร้อน ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายภายใต้สภาวะมีอากาศถังปฏิกรณ์เพียง 25 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เกิดการไหลของวัสดุในแนวเอียงจากบริเวณที่มีการป้อนไปอีกปลายด้านหนึ่งที่มีการปล่อยออก เมื่อถังปฏิกรณ์มีการหมุนการป้อนวัสดุอาจเป็นแบบต่อเนื่อง หรือเติมระหว่างการหมักที่จุดเติมที่ปลายด้านหนึ่งที่ยึดติดไว้ การให้ออกซิเจนระหว่างการหมักได้จากช่องว่างเหนือวัสดุหมักภายในถัง ซึ่งแทนที่อย่างต่อเนื่องด้วยอากาศความดันต่ำจากเครื่องเป่าอากาศ (blower) ที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนของช่องปล่อยผลิตภัณฑ์ออก วิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายถูกกว่าการให้อากาศแบบอากาศอัด (compressed air) การทำปุ๋ยหมักแบบนี้จะใช้พื้นที่น้อยด้วยเครื่องจักร และระบบการผลิตแบบอัตโนมัติ ทำให้มีราคาแพง และค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาสูง (Cabacang *et al.*, 2002)

การเลือกใช้เทคโนโลยีในการผลิตปุ๋ยหมักในยุคปัจจุบัน สิ่งที่ต้องคำนึงคือ 1) ประสิทธิภาพพื้นที่ความสามารถในการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ไม่ว่าจะผ่านระบบแบบเติมอากาศแบบมีหลังคา ระบบแบบเติมอากาศด้วยอากาศแบบย้อนกลับ และตัวกรองชีวภาพ หรือระบบในอาคาร หรืออุโมงค์ 2) การควบคุมกลิ่นเป็นส่วนสำคัญของการทำปุ๋ยหมักอย่างยั่งยืน ระบบที่ครอบคลุม และติดตั้งตัวกรองชีวภาพ มีคุณสมบัติในการระงับกลิ่น ส่งเสริมความสัมพันธ์ที่ดีขึ้นกับชุมชนใกล้เคียง และสภาพแวดล้อม 3) ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการเร่งกระบวนการหมัก

ด้วยวิธีการเติมอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มักเกี่ยวข้องกับวิธีการทำปุ๋ยหมักแบบดั้งเดิม มีส่วนช่วยให้การดำเนินงานเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และ 4) ความคล่องตัวของระบบ ทำให้เหมาะสมกับความต้องการในการปฏิบัติงาน และสถานที่หลากหลาย ลดการขนย้ายวัสดุไม่ว่าจะเป็นการดำเนินการทำปุ๋ยหมักขนาดใหญ่ หรือโรงงานขนาดเล็กในเมือง เพื่อการนำเทคโนโลยีที่เป็นนวัตกรรมมาปรับให้เหมาะสมกับความต้องการ

(7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

กรมพัฒนาที่ดินได้มีการพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณธาตุอาหารหลักที่สูงขึ้นจากปุ๋ยหมักทั่วไป โดยนำวัสดุอินทรีย์หรืออินทรีย์ธรรมชาติทางการเกษตรที่มีธาตุอาหารสูงมาผ่านการหมักจนสลายตัวสมบูรณ์ หรือการนำปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการสลายตัวสมบูรณ์แล้วผสมกับวัสดุอินทรีย์ หรืออินทรีย์ธรรมชาติทางการเกษตรที่มีธาตุอาหารสูง เรียกว่า “ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง” ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้มีการกำหนดมาตรฐานเป็นแนวทางที่จะยึดเป็นเกณฑ์เพื่อที่จะให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงที่ดี โดยกำหนดในระเบียบกรมพัฒนาที่ดินว่าด้วยการใช้เครื่องหมายรับรองมาตรฐานปัจจัยการผลิตทางการเกษตร พ.ศ. 2550 โดยปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต้องมีอินทรีย์วัตถุมากกว่า หรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนมากกว่า หรือเท่ากับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสมากกว่า หรือเท่ากับ 2.5 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมมากกว่า หรือเท่ากับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ และธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ชนิด ($N - P_2O_5 - K_2O$) รวมกันปริมาณต้องมากกว่า หรือเท่ากับ 9 เปอร์เซ็นต์ และน้อยกว่า หรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยอินทรีย์ตามค่ามาตรฐานประกาศกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2557 ได้แก่ ไนโตรเจน มากกว่าหรือเท่ากับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม มากกว่า หรือเท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ หรือมีปริมาณธาตุอาหารรวมกันต้องไม่ต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

(7.1) สูตรผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงของกรมพัฒนาที่ดิน

กรมพัฒนาที่ดินส่งเสริมสูตรปุ๋ยอินทรีย์ สำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง จากการศึกษาวิจัยและคัดเลือกชนิดของวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของธาตุอาหารหลักของพืชในปริมาณสูง รวมทั้งอัตราส่วนของวัตถุดิบในแต่ละชนิด กระบวนการในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และชีวภาพ ซึ่งวัตถุดิบที่มีปริมาณธาตุอาหารสูงที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง โดยสูตรของกรมพัฒนาที่ดินมีวัตถุดิบในการผลิต ได้แก่ กากถั่วเหลือง รำข้าว มูลสัตว์ หินฟอสเฟต กระดุกปูน และมูลค่างควา โดยอัตราส่วนของวัตถุดิบในแต่ละชนิด กำหนดสูตรปุ๋ยได้ 5 สูตร มีธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน 3 - 4 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 5 - 9 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข) ซึ่งเกษตรกรหรือผู้ผลิต สามารถเลือกผลิตได้ตามปริมาณและชนิดของวัตถุดิบที่มีในพื้นที่ ดังตารางที่ 74

ตารางที่ 74 แสดงชนิดและปริมาณวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงสูตรต่าง ๆ
จำนวน 100 กิโลกรัม

ชนิดวัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบ (กิโลกรัม)				
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
กากเมล็ดถั่วเหลือง	40	40	40	-	40
ปลาป่น	-	-	-	30	-
รำละเอียด	10	10	10	-	10
มูลสัตว์	10	10	10	30	10
หินฟอสเฟต	24	24	40	24	24
กระดูกป่น	8	16	-	-	-
มูลค่างควา	8	-	-	16	16
สารเร่งซูปเปอร์ พด. 1 สารเร่งซูปเปอร์ พด. 3 และจุลินทรีย์ซูปเปอร์ พด. 9 อย่างละ 1 ชอง					
สารเร่งซูปเปอร์ พด. 2 ที่ขยายเชื้อในกากน้ำตาล จำนวน 26 - 30 ลิตร					

ที่มา: กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน (2558ข)

(7.2) ขั้นตอนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงของสูตรกรมพัฒนาที่ดิน
มีดังนี้

(7.2.1) ทำการขยายเชื้อสารเร่งซูปเปอร์ พด. 2 ด้วยการเจือจาง
กากน้ำตาล 5 กิโลกรัม ต่อน้ำ 50 ลิตร ใส่สารเร่งซูปเปอร์ พด. 2 จำนวน 1 ชอง คนให้เข้ากัน แล้วปิด
ฝาตั้งไว้ในที่ร่ม โดยขยายเชื้อเป็นเวลา 3 วัน

(7.2.2) ผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน ตามส่วนผสมของปุ๋ยอินทรีย์
คุณภาพสูงแต่ละสูตร

(7.2.3) นำสารเร่งซูปเปอร์ พด. 1 จำนวน 1 ชอง ใส่ลงใน
สารละลายสารเร่งซูปเปอร์ พด. 2 ที่ขยายเชื้อแล้ว จำนวน 26 - 30 ลิตร คน 10 - 15 นาที เทลงใน
วัตถุดิบ และคลุกเคล้าให้ทั่ววัตถุดิบอย่างสม่ำเสมอ และปรับความชื้นกองปุ๋ยประมาณ 40 - 50
เปอร์เซ็นต์

(7.2.4) ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูงไม่น้อย
กว่า 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ย เพื่อรักษาความชื้นหลังจากหมักประมาณ 3 วัน อุณหภูมิ
ภายในกองจะสูงขึ้น 45 - 55 องศาเซลเซียส

(7.2.5) กลับกองทุก 5 วัน หมักกองปุ๋ยเป็นเวลาประมาณ 9 - 12 วัน หรือจนกระทั่งอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยมีอุณหภูมิเท่ากับภายนอกกอง ขึ้นกับขนาดกองปุ๋ย

(7.2.6) ใส่จุลินทรีย์ซูเปอร์ พด. 9 และสารเร่งซูเปอร์ พด. 3 อย่างละ 1 ชอง คลุกเคล้าให้ทั่วกองและหมักไว้เป็นเวลาประมาณ 3 วัน จึงนำปุ๋ยไปใช้ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน แนะนำอัตราการใช้ 300 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับข้าว พืชไร่ พืชผัก และไม้ผล 3 - 5 กิโลกรัมต่อต้น

(7.3) หลักการพิจารณาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช ลดหรือทดแทนปุ๋ยเคมี ข้อควรพิจารณาส่วนผสมการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูงแบบผสมผสาน ดังนี้

(7.3.1) ศึกษาความต้องการธาตุอาหารของพืช ตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด ตามความต้องการธาตุอาหารพืช ตามค่าวิเคราะห์ดินในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อลดหรือทดแทนปุ๋ยเคมี จำเป็นต้องคำนวณปริมาณธาตุอาหารที่มีในปุ๋ยอินทรีย์ ความสำคัญธาตุอาหารหลัก 3 ชนิด เป็นธาตุอาหารหลักที่พืชจำเป็นต้องใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ต้องการเป็นปริมาณมาก แต่มักจะมีอยู่ในดินไม่ค่อยเพียงพอกับความต้องการของพืชที่ปลูก ธาตุอาหารในกลุ่มนี้ คือ ไนโตรเจน (N) ช่วยให้พืชมีสีเขียว เร่งการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น กระตุ้นให้พืชเจริญเติบโตและแข็งแรง อีกทั้งเพิ่มปริมาณโปรตีนให้แก่พืช ฟอสฟอรัส (P) ส่งเสริมการออกดอก ติดเมล็ด การพัฒนาเมล็ดและผล เร่งการเจริญเติบโตของราก พร้อมช่วยเพิ่มความต้านทานต่อโรคพืช และมีส่วนช่วยในการเร่งการสุกแก่ของผลให้เร็วขึ้น และโพแทสเซียม (K) ช่วยพืชสร้างอาหาร ช่วยในการสังเคราะห์แสง และมีส่วนช่วยให้รากแข็งแรง ทนทานต่อโรคและแมลง เพิ่มขนาดผลผลิตเมล็ด และปรับปรุงคุณภาพผลผลิต ซึ่งในปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงไม่เพียงแต่มีธาตุอาหารหลัก ยังมีธาตุอาหารรอง และจุลธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่พืชต้องการในปริมาณน้อยมักมีในดินค่อนข้างเพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งไม่มีในปุ๋ยเคมีเดี่ยว ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) ทำให้พืชผลิใบได้ดีและเร็ว เป็นส่วนประกอบให้ผิวของลำต้น ใบ ดอก และผลแข็งแรง ส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ทำงานร่วมกับธาตุโบรอนในการผสมเกสร การงอกของเมล็ด ขณะที่แมกนีเซียม (Mg) เสริมสร้างการดูดใช้และลำเลียงธาตุฟอสฟอรัส และน้ำตาลไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของต้น มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง (การเจริญเติบโต) และกำมะถัน (S) เป็นส่วนประกอบของอะมิโน กรดไขมัน โปรตีน สี กลิ่น วิตามินต่าง ๆ มีผลทางอ้อมต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ และการพัฒนาส่วนยอดของต้นพืช อีกทั้งยังมีจุลธาตุอีกด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

(7.3.2) ชนิด สมบัติของวัตถุดิบ และราคาของวัตถุดิบ ควรเลือกวัตถุดิบแบบผสมผสานที่มีในท้องถิ่น เช่น มูลสัตว์ที่มีธาตุอาหารสูง และวัสดุเหลือใช้จากโรงงาน

อุตสาหกรรมเกษตรที่มีองค์ประกอบของธาตุอาหารสูง รวมทั้งคำนึงถึงต้นทุนการผลิตที่เกษตรกรหรือผู้ผลิตยอมรับได้ สามารถเลือกผลิตได้ตามปริมาณและชนิดของวัตถุดิบที่มีในพื้นที่ แสดงปริมาณธาตุอาหารของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 75 สามารถชนิดวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูงแบบผสมผสานจากวัตถุดิบโดยยึดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร

(7.3.3) เพิ่มคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จุลินทรีย์เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช เช่น ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ของกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วยแบคทีเรีย 4 ชนิด ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ แบคทีเรียละลายฟอสเฟต แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม และแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช ใช้กระบวนการหมักช่วงเวลาสุดท้ายก่อนนำไปใช้ประโยชน์ 4 วัน ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน (2562ค)

(7.3.4) ใช้น้ำหมักชีวภาพจากปลา หรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่มีไนโตรเจนสูง หรือน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล และน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น ในการปรับความชื้นบนกองปุ๋ยหมักแทนน้ำ เพื่อเพิ่มแหล่งธาตุอาหาร และสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์

ตารางที่ 75 ปริมาณธาตุอาหารของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ

วัตถุดิบ	ปริมาณธาตุอาหาร (เปอร์เซ็นต์)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
กากถั่วเหลือง	8.50	2.13	1.91
กากถั่วลิสง	7.20	1.50	1.20
กากเมล็ดฝ้าย	6.50	2.50	1.50
กากเมล็ดนุ่น	7.50	2.50	1.50
กากกาแฟ	3.21	1.64	2.60
กากส่าเหล้า	2.06	0.17	1.03
รำข้าว	2.10	5.00	1.09
ละอองข้าว	2.71	0.68	0.59
ขี้เถ้าไม้ยาง	1.13	0.06	13.48
เปลือกเมล็ดกาแฟ	0.93	0.14	6.22
เปลือกสับปะรด	1.79	0.85	5.46

ตารางที่ 75 (ต่อ)

วัตถุดิบ	ปริมาณธาตุอาหาร (เปอร์เซ็นต์)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ใบยาสูบ	4.00	0.50	6.00
ต้นยาสูบ	3.70	0.50	4.50
แทนแดง	3.30	0.57	1.23
ขนไก่	13.26	0.12	0.07
เลือดแห้ง	10.50	1.50	0.8
เปลือกกุ้ง	7.80	4.20	0
ปลาป่น	9.50	5.50	3.80
กากน้ำปลา	3.87	7.31	0.05
กระดูกป่น	3.50	19.00	0.68
หนังสัตว์	9.01	0.53	0.02
กากผงชูรส	4.93	0.35	2.47
หินฟอสเฟต	0.15	16.00	0.10
ซีไค์ปาล์มน้ำมัน	3.73	0.72	1.50
มูลสุกร	2.41	3.38	1.31
มูลไก่	3.19	4.73	3.01
มูลเป็ด	2.21	4.81	2.34
มูลกระบือ	1.82	1.92	2.08
มูลแพะ	3.74	1.56	5.29
มูลค่างควา	1.61	12.52	1.84
มูลช้าง	0.98	0.64	1.53
มูลม้า	1.50	2.38	1.37
มูลนกกระทา	4.10	3.70	2.30
มูลโค	1.48	0.96	2.08

ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2554)

(8) การผลิตปุ๋ยคอกที่มีคุณภาพ

ปุ๋ยคอก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากมูลสัตว์ต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปของเหลว และของแข็ง (Eneji *et al.*, 2001) ส่วนใหญ่จะเป็นมูลสัตว์เลี้ยง เช่น มูลโค มูลไก่ มูลเป็ด และมูลสุกร เป็นต้น ประกอบด้วยอุจจาระและปัสสาวะของสัตว์ ซึ่งเป็นส่วนของซากพืชและสัตว์จากอาหารสัตว์ ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายจากระบบย่อยอาหารของสัตว์ ปัสสาวะก็จะเป็นส่วนประกอบของเกลือ และสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ซึ่งเป็นแหล่งธาตุอาหารพืช อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ปุ๋ยคอกที่ได้จากสัตว์ต่างชนิดกันจะมีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ปุ๋ยคอกมูลไก่ เป็นปุ๋ยคอกที่มีปริมาณธาตุอาหาร คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในปริมาณที่สูงกว่า ปุ๋ยคอกชนิดอื่น ๆ ได้แก่ ปุ๋ยมูลโค ปุ๋ยมูลกระบือ และปุ๋ยมูลเป็ด (Polthanee *et al.*, 2008) และจากการประเมินปริมาณมูลสัตว์ทั่วประเทศ มีปริมาณการเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจกระจายทั่วทุกภูมิภาค การจัดการที่เหมาะสมการรวบรวมนำมูลสัตว์ การใช้ประโยชน์เพื่อปรับปรุงดินเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารพืช โดยแยกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ มูลสด นำมาผลิตเป็นปุ๋ยคอกโดยตรง หรือนำมาเป็นส่วนผสมเพิ่มธาตุอาหารกับวัสดุเหลือใช้อื่น ๆ ผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพ และน้ำล้างคอก ตะกอนบ่อบำบัดสามารถใช้เป็นปุ๋ย ซึ่งขนาดฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ซึ่งฟาร์มขนาดใหญ่อาจได้ตะกอนมูลสัตว์ปีละ 3,000 - 5,000 ตัน ตะกอนดังกล่าวมีความชื้น 90 - 92 เปอร์เซ็นต์ แต่มีธาตุอาหารค่อนข้างสูง สามารถลดความชื้นให้เหลือเพียง 60 - 75 เปอร์เซ็นต์ นำมาหมักเพื่อให้ย่อยสลายให้สมบูรณ์ จะได้วัสดุปรับปรุงดินที่มีคุณสมบัติ คือ ความเป็นกรดเป็นด่าง 4.8 - 6.4 ไนโตรเจนทั้งหมด 2.3 - 3.1 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.3 - 0.6 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมทั้งหมด 0.1 - 0.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะที่จะใช้บำรุงดิน (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

(8.1) การผลิตปุ๋ยคอกจากมูลสัตว์สดแบบต่อเนื่องของ Matsuzaki (1977) โดยมีวิธีการดังนี้

(8.1.1) ลดความชื้นมูลสัตว์ให้เหลือเพียง 55 - 65 เปอร์เซ็นต์ โดยการผึ่งแดดหรือใช้พลังงานในรูปอื่น โดยปกติมูลสัตว์สดจะมีความชื้นประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์

(8.1.2) เมื่อลดความชื้นลงตามที่ต้องการแล้วจัดให้เป็นกอง และกลับกองมูลสัตว์ทุก ๆ 3 - 4 วัน การกองและกลับกองมูลสัตว์เป็นครั้งคราวเช่นนี้จะเร่งกิจกรรมของจุลินทรีย์ให้สูงขึ้น โดยกองปุ๋ยจะร้อนขึ้นส่วนความชื้นลดลงไปเองจนเหลือเพียง 40 - 50 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลาเพียง 15 วัน ผลที่ได้จากการหมักในขั้นตอนนี้ เรียกว่า เชื้อปุ๋ยหมัก (seed compost) การปฏิบัติขั้นตอนนี้ ถือได้ว่าเป็นขั้นเตรียมการเท่านั้น

(8.1.3) นำอุจจาระสัตว์สด ๆ มาผสมกับเชื้อปุ๋ยหมัก โดยให้ความชื้นไม่เกิน 55 - 65 เปอร์เซ็นต์ และคลุกให้เข้ากันดีแล้วก็ทำเป็นกอง ปล่อยให้สลายตัวต่อไป

ประมาณ 15 วัน ก็แบ่งปุ๋ยที่ได้ส่วนหนึ่งไปใส่ไรนา ส่วนที่เหลือก็ใช้เป็นเชื้อปุ๋ยหมักสำหรับการหมักครั้งต่อไป

(8.2) การผลิตปุ๋ยเหลวจากมูลสัตว์

(8.2.1) การผลิตปุ๋ยคอกเหลวแบบใช้อากาศ (aerobic digestion)

การย่อยสลายแบบนี้อาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน เพื่อให้สารอินทรีย์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ข้อดีของกระบวนการย่อยสลายที่ใช้ออกซิเจนในการผลิตปุ๋ยเหลว คือ ไม่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ไม่มีการสะสมแอมโมเนีย และลด BOD (biological oxygen demand) ของปุ๋ย ลดเชื้อโรคในปุ๋ย จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายเป็นพวกที่ใช้ออกซิเจนทั้งสิ้น ปุ๋ยคอกที่เป็นของเหลวมีส่วนผสมที่สม่ำเสมอ และเมื่อนำไปเจือจางแล้วใช้ฉีดพ่นทางใบ ก็ไม่เป็นพิษต่อใบพืช (ยงยุทธ และคณะ, 2551) วิธีการผลิตดังนี้

วิธีการผลิตแบบที่ 1 นำมูลสัตว์แห้งบรรจุลงในถุงไนลอน แล้วแช่น้ำ อัตราส่วนมูลสัตว์แห้ง 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 10 ลิตร (1 : 10) ปิดฝาถึงให้สนิท และหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วยกถุงที่บรรจุมูลสัตว์ออกจากถัง นำน้ำสกัดส่วนใสที่ได้มาเจือจางกับน้ำก่อนนำไปฉีดพ่นกับพืช (Kelley, 2004)

วิธีการผลิตแบบที่ 2 นำมูลเก่าที่ตากแห้งแล้ว นำมาแช่น้ำในอัตราส่วน ดังนี้ ปุ๋ยมูลสัตว์ 10 กิโลกรัม ต่อน้ำ 40 ลิตร และใช้สารเร่งจุลินทรีย์ พด. 2 จำนวน 1 ช้อน ต่อส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยน้ำหมัก 50 ลิตร หมักในถังขนาด 100 ลิตร แล้วปิดฝาเก็บในที่ร่ม คนทุก ๆ 3 วัน โดยใช้เวลาหมักนาน 30 วัน จากนั้นกรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวมาใช้ประโยชน์ (ยุทธนา และ ศิริวรรณ, 2565)

การใช้ประโยชน์ปุ๋ยเหลวมีองค์ประกอบของธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอื่น ๆ ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของข้าว (ยงยุทธ, 2547) นำปุ๋ยเหลวมาเจือจางกับน้ำ เพื่อใช้เป็นปุ๋ยรดทางดิน หรือฉีดพ่นทางใบ จากรายงานการใช้ปุ๋ยน้ำหมักจากมูลโค ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดกวางตุ้งฮ่องเต้ได้ดีกว่าปุ๋ยน้ำหมักจากมูลแพะ ปุ๋ยมูลโคมีระดับธาตุอาหารไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่สูงกว่าปุ๋ยมูลแพะเล็กน้อย โดยปุ๋ยมูลโคมีระดับธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 1.90 0.56 และ 1.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (จุไรรัตน์, 2554) จากการใช้ประโยชน์ปุ๋ยเหลวมูลโคมีสมบัติประกอบด้วย ค่าการนำไฟฟ้า 5.9 เดซิซีเมนต่อเมตร อินทรีย์วัตถุ 71.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.5 และไนโตรเจน 28.6 กรัมต่อกิโลกรัม ในการปรับปรุงสมบัติทางเคมี และกิจกรรมทางชีวภาพของดินอันดับแอนดิสอลส์ (Andisols) ซึ่งเป็นดินที่มีธาตุอาหารไฟฟ้านามาก พบว่า ปุ๋ยเหลวมูลโคช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางเคมีให้ดิน เพิ่มกิจกรรมการหายใจของดิน และกิจกรรมเอนไซม์ในดินเพิ่มขึ้น

โดยดินจะมีศักยภาพดีขึ้นในช่วงระยะเวลาภายในไม่เกิน 10 วัน หลังจากนั้นดินจะเริ่มกลับสู่สภาวะเริ่มต้นก่อนการใส่น้ำสกัดมูลโค สามารถใช้เป็นปุ๋ยทางดิน และฉีดพ่นทางใบ ก่อนใช้ต้องนำมาละลายน้ำให้เจือจางอัตราส่วน 1 ต่อ 500 โดยพืชสามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ได้เร็วกว่าซึ่งจะช่วยเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง และการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชมีผลผลิตที่มีคุณภาพ และเพิ่มปริมาณผลผลิตสูงขึ้น สามารถใช้เป็นปุ๋ยรดทางดิน หรือฉีดพ่นทางใบ ส่วนกากมูลสัตว์ที่เหลือสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยทางดินได้อีก สำหรับน้ำสกัดมูลสัตว์ที่ได้มีองค์ประกอบของธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกัน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 76 โดยมูลสัตว์ที่ใช้ควรเป็นมูลสุกร มูลไก่ไข่ หรือมูลนกกระทาที่ตากแห้งแล้ว จะให้ธาตุอาหารพืชในปริมาณที่มากกว่ามูลไก่เนื้อที่มีวัสดรองพื้นเป็นแกลบ และมูลโคนม มูลโคเนื้อ ซึ่งมักกินฟาง หญ้า หรือพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่นด้วย (สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554)

ตารางที่ 76 ปริมาณธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในน้ำสกัดมูลสุกร มูลไก่ไข่ มูลนกกระทา และมูลโคเนื้อ

ธาตุอาหาร	น้ำสกัด มูลสุกรระยะขุน	น้ำสกัด มูลไก่ไข่	น้ำสกัด มูลนกกระทา	น้ำสกัด มูลโคเนื้อ
ไนโตรเจน (%)	0.09 - 0.10	0.15	0.23	0.04
ฟอสฟอรัส (%)	0.02 - 0.03	0.03	0.04	0.003
โพแทสเซียม (%)	0.13 - 0.16	0.27	0.25	0.14
แคลเซียม (มก./กก.)	45 - 95	400	400	75.88
แมกนีเซียม (มก./กก.)	197 - 229	100	200	43.93
เหล็ก (มก./กก.)	8 - 19	8.66	13.29	2.72
ทองแดง (มก./กก.)	14 - 21	1.58	2.65	1.35
แมงกานีส (มก./กก.)	1 - 8	1.91	2.61	0.29
โซเดียม (มก./กก.)	303 - 317	0.03	0.02	497.39
สังกะสี (มก./กก.)	6 - 8	2.18	2.66	0.62
โบรอน (มก./กก.)	1 - 2	1.94	2.75	0.61

ที่มา: สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2554)

(8.2.2) การผลิตปุ๋ยคอกเหลวแบบไม่ใช้อากาศ เป็นการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic digestion) อาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน การนำมูลสัตว์ไปหมักในบ่อที่ไม่มีอากาศ เพื่อให้อินทรีย์สารในของเหลวมีเสถียรภาพ ผลที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ คือ มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ส่วนของปุ๋ยคอกที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำหมักมูลสัตว์ และน้ำหมักส่วนข้น (concentrated liquid) ปุ๋ยคอกที่เป็นของเหลวเป็นวิธีการนิยมใช้ในหลาย ๆ ประเทศในยุโรป เช่น เดนมาร์ก และเนเธอร์แลนด์ เพื่อเป็นการกำจัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยการนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน จากผลการศึกษาในหลาย ๆ แห่งในประเทศจีน และประเทศในทวีปแอฟริกา พบว่า การใช้ปุ๋ยคอกที่เป็นของเหลวได้จากระบบไบโอแก๊ส ให้ผลดีกว่าการใช้ปุ๋ยคอกที่เป็นของเหลวที่ไม่ผ่านระบบไบโอแก๊ส อีกทั้งกากมูลหมักมีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ดี เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนถูกใช้ในการผลิตแก๊สมีเทน คงเหลือธาตุอาหารหลักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ทำให้สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบลง รวมทั้งความร้อนและกิจกรรมจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก ช่วยทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคและพยาธิ อีกทั้งกากมูลสัตว์จะไม่มีกลิ่น (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข)

(9) การผลิตน้ำหมักชีวภาพ หรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ

น้ำหมักชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของเหลวที่ได้มาจากการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากพืช หรือสัตว์ลักษณะสด โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาล ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ สารเร่งการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ออกซิน จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน เป็นต้น รวมทั้งมีวิตามิน กรดอะมิโน กรดฮิวมิก เอนไซม์ และแร่ธาตุ โดยเฉพาะฮอร์โมน ได้แก่ ฮอร์โมนออกซิน มีหน้าที่ในการช่วยให้เซลล์ของพืชขยายตัวได้มากขึ้น ทำให้ลำต้นขยายตัวใหญ่ขึ้น ส่วนฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน มีหน้าที่ในการยืดตัวของลำต้น จึงมีผลทำให้ความสูงของพืชเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีกรดฮิวมิกที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนออกซิน ซึ่งมีความสำคัญในการเร่งอัตราการเจริญเติบโตของรากและลำต้นพืชได้ดี (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข)

(9.1) กระบวนการผลิตน้ำหมักชีวภาพ หรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ เป็นรูปแบบการหมักแบบไร้อากาศ โดยมี 2 กระบวนการ ดังนี้

(9.1.1) กระบวนการพลาสโมไลซิส (plasmolysis) หรือการสกัดเป็นกระบวนการดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อพืช หรือสัตว์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยอาศัยความเข้มข้นของน้ำตาล หรือกากน้ำตาล เข้าไปแทนที่น้ำที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืช หรือสัตว์ ทำให้ได้น้ำที่มีสารอาหารพืชละลายออกมา

(9.1.2) กระบวนการย่อยสลาย (decomposition) เป็นขั้นตอนที่จุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายเนื้อเยื่อพืช หรือสัตว์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยจุลินทรีย์จะใช้น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนมากขึ้น แล้วจึงสร้างกรดและเอนไซม์ มาใช้ในการย่อยสลาย ทำให้สารอินทรีย์ต่าง ๆ ถูกย่อยมากขึ้น ซึ่งอาจมีการสร้างสารอินทรีย์บางชนิดขึ้นมาใหม่ โดยจุลินทรีย์ทำให้เกิดการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมา

(9.2) ปัจจัยควบคุมคุณภาพของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ดังนี้

(9.2.1) ชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร หรืออุตสาหกรรมเกษตร ที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ต้องเป็นวัสดุที่มีลักษณะสดหรืออวบน้ำ สำหรับผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ สามารถแบ่งออกเป็น 2 วัสดุหลัก ได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งจากพืช ได้แก่ เศษพืชผัก และผลไม้ต่าง ๆ เช่น ผักคะน้า ผักกาดขาว ผักกาดหอม กะหล่ำปลี บวบ ข้าวโพด พืชตระกูลแตง พืชตระกูลมะเขือ มะละกอ สับปะรด และกล้วย เป็นต้น และวัสดุเหลือทิ้งจากสัตว์ ได้แก่ เศษปลาที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปอาหารทะเล ซึ่งแร่ธาตุที่พบในปลาน้ำจืดและน้ำเค็ม จะมีไนโตรเจน 2.5 - 3.0 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 1.2 - 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบมากในกระดุกและเกล็ดของปลา ฟอสฟอรัส 0.6 - 0.8 เปอร์เซ็นต์ พบมากในกระดุกและเกล็ดของปลา และกำมะถัน 0.3 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น นอกจากเศษปลาแล้วเศษหอยเชอรี่ก็สามารถนำมาทำปุ๋ยน้ำหมักได้ดี ซึ่งปริมาณธาตุอาหารในหอยเชอรี่ พบว่า มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง เช่นเดียวกันกับปลาอยู่ที่ 10.70 - 56.25 เปอร์เซ็นต์

(9.2.2) แหล่งอาหารคาร์บอนของจุลินทรีย์ น้ำตาลเป็นแหล่งอาหารคาร์บอนที่สำคัญของจุลินทรีย์ในการดำเนินกิจกรรม เช่น กากน้ำตาล น้ำตาลทรายแดง น้ำตาลทรายขาว น้ำอ้อยสด และน้ำตาลสด เป็นต้น ความเข้มข้นของน้ำตาลยังมีผลต่อการเกิดกระบวนการฟอสโมไลซิส เพราะทำให้เซลล์พืชหรือสัตว์แตกออก และได้สารละลายถูกสกัดออกมาเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุผลไม้มีองค์ประกอบของน้ำตาลในปริมาณที่มากกว่าวัสดุหมักชนิดอื่น ดังนั้นในการหมักวัสดุจากสัตว์ควรใช้ผลไม้ร่วมด้วย เพราะจะทำให้การดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ดีขึ้น อีกทั้งสามารถใช้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร เช่น น้ำกากสำ น้ำทิ้งกระบวนการผลิตแปรรูปอาหารทะเล หรือน้ำเสียจากเครื่องแยกเซพาเรเตอร์ของโรงงานแปรงมันสำปะหลัง เป็นแหล่งอาหารคาร์บอนของจุลินทรีย์

(9.2.3) การระบายอากาศ โดยทั่วไปแล้วกระบวนการหมักวัสดุลักษณะสดนี้จะเกิดขึ้นในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนมากกว่ามีออกซิเจน และได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการหมัก ดังนั้นจะต้องให้มีการระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไป จึงไม่ควรปิดฝาให้สนิท และควรมีการกวนวัสดุหมักทุก 7 วัน

(9.2.4) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีความสำคัญในกระบวนการหมัก เนื่องจากกิจกรรมของกลุ่มจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียผลิตกรดแอซิติก (acetic acid bacteria) หรือ

แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria) จะปลดปล่อยกรดอินทรีย์พวกกรดแอซิติก (acetic acid) หรือกรดแลคติก (lactic acid) ในกระบวนการหมัก ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเริ่มแรกมีค่าประมาณ 5 และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 3 - 4 ซึ่งการผลิตจากวัสดุบางชนิด อาจทำให้มีค่าความเป็นกรดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำของกรมวิชาการเกษตร ที่กำหนดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 4.5 - 8.5 การนำไปใช้ประโยชน์ต้องเจือจางกับน้ำก่อนนำไปใช้ประโยชน์ และมีรายงานการใช้เบนโทไนท์ในสัดส่วน 1 : 1 น้ำหนักโดยปริมาตร กวนให้เข้ากันและพักไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองเอาส่วนของเหลวใช้ประโยชน์ สามารถช่วยลดความเป็นกรดของปุ๋ยอินทรีย์น้ำจาก 4.2 - 4.4 เป็น 4.9 - 5.2 และผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำของกรมวิชาการเกษตร (อารีรัตน์ และ คณิตา, 2562)

(9.2.5) อุณหภูมิ จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีในอุณหภูมิปกติ หรือระหว่าง 30 - 35 องศาเซลเซียส ไม่ต้องการแสง ควรหมักในที่ร่มเพื่อรักษาคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์

(9.2.6) ความชื้น ในกระบวนการหมักจะต้องมีความชื้นสูง โดยมีการเติมน้ำให้ท่วมวัสดุหมัก ซึ่งเป็นสภาพที่มีความเหมาะสมในกระบวนการหมักโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ เพื่อทำให้สารละลายในวัสดุหมักออกมาจากเซลล์ หรือใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ชนิดเหลวโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรแทนน้ำเปล่า เช่น น้ำกากส่า น้ำทิ้งกระบวนการผลิตแปรรูปอาหารทะเล น้ำล้างเลือดปลา หรือน้ำเสียจากเครื่องแยกเซฟาเรเตอร์ของโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยโปรตีน วิตามิน และธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช เป็นส่วนผสมการผลิต

(9.2.7) จุลินทรีย์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักจากวัสดุที่มีความหลากหลาย และเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายธาตุอาหาร เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม จากวัสดุหมักเป็นกาก กระดูก และเศษกุ้ง เป็นต้น ได้แก่ ผลิตภัณฑ์สารเร่งซูปเปอร์ พด. 2 ของกรมพัฒนาที่ดินได้มีการส่งเสริมการใช้ประโยชน์ ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์เพิ่มประสิทธิภาพการย่อยวัสดุอินทรีย์สด ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีน แบคทีเรียย่อยสลายไขมัน และแบคทีเรียละลายอินทรีย์ฟอสฟอรัส

(9.3) การผลิตน้ำหมักชีวภาพ (กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2558ข)

(9.3.1) น้ำหมักจากผักและผลไม้ จำนวน 50 ลิตร ใช้เวลาหมัก 7 วัน

ผักหรือผลไม้	40	กิโลกรัม
กากน้ำตาล	10	กิโลกรัม
น้ำ	10	ลิตร
สารเร่งซูปเปอร์ พด. 2	1	ซอง (25 กรัม)

(9.3.2) น้ำหมักจากปลาหรือหอยเชอรี่ จำนวน 50 ลิตร

ใช้เวลาหมัก 15 - 20 วัน

ปลาหรือหอยเชอรี่ 30 กิโลกรัม

ผลไม้ 10 กิโลกรัม

กากน้ำตาล 10 กิโลกรัม

น้ำ 10 ลิตร

สารเร่งซูปเปอร์ พด. 2 1 ชอง (25 กรัม)

(9.4) วิธีการผลิตน้ำหมัก

(9.4.1) เทกากน้ำตาลตามอัตราส่วนลงในถังหมัก ใส่ น้ำจำนวน 5 ลิตร และคนให้ละลายกากน้ำตาลกับน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน

(9.4.2) เทสารเร่งซูปเปอร์ พด. 2 ในน้ำ 5 ลิตร หรือใส่ถังหมักทำการคนประมาณ 5 นาที เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

(9.4.3) หั่นหรือสับ วัสดุพืชหรือสัตว์ ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ และใส่ลงในถังหมักขนาดที่เหมาะสมกับวัสดุ พร้อมใส่สารเร่ง พด. ที่เตรียมไว้ ปรับปริมาณน้ำให้พอเหมาะหรือท่วมวัสดุหมัก เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา เช่น ราดำ ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ และเว้นช่องว่างระหว่างวัสดุหมักกับปากถังหมักประมาณ 10 - 15 เซนติเมตร เพื่อป้องกันของเหลวในถังหมักล้นออกมาระหว่างการหมัก

(9.4.4) คนส่วนประกอบต่าง ๆ ให้เข้ากันอีกครั้ง แล้วปิดฝาไม่ต้องสนิท เพื่อให้มีการระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก เก็บในที่ร่มที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

(9.4.5) ในระหว่างการหมักให้คน หรือกวน 1 - 2 ครั้งต่อวัน เพื่อระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และทำให้ส่วนผสมคลุกเคล้าได้ดียิ่งขึ้น

(9.5) องค์ประกอบของน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์น้ำ

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร จากแหล่งวัตถุดิบที่แตกต่างกัน น้ำหมักชีวภาพส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง 3.3 - 4.9 ค่าการนำไฟฟ้าเป็นตัวบ่งบอกถึงระดับความเค็มของน้ำหมักชีวภาพ ถ้ามีมากกว่า 20 เดซิซีเมนต่อเมตร ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักมีปริมาณน้อยมาก แต่มีเกือบทุกธาตุทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ (ตารางที่ 77) ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดวัสดุที่ใช้หมัก รวมทั้งระยะเวลาการหมัก โดยทั่วไปน้ำหมักจากสัตว์จะมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าน้ำหมักชีวภาพจากพืช น้ำหมักชีวภาพมีปริมาณฮอร์โมนพืช และชนิดของฮอร์โมนพืชที่ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่ใช้หมัก สูตรการหมัก รวมทั้งระยะเวลาการหมัก โดยฮอร์โมนพืชที่สำคัญ คือ ออกซิน จิบเบอเรลลิน

และโซโดไคโนน ในน้ำหมักชีวภาพมกรดฮิวมิกมากในสูตรน้ำหมักที่มีแหล่งโปรตีนสูง เช่น ปลา ไข่ ถั่ว และนม (ตารางที่ 78) ซึ่งกรดฮิวมิกมีคุณสมบัติต่อการปรับปรุงดินที่ดีเป็นสารที่มีความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออนสูง ซึ่งสูงกว่าสารฮิวมัสประมาณ 3 - 4 เท่าตัว ถ้าใส่ลงดินในปริมาณมากจะมีผลให้ดิน มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนรวมสูงขึ้นได้ไม่มากนักน้อย อีกทั้งเพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลง ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน นอกจากนั้นยังสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวก เช่น ธาตุโพแทสเซียม หรือเกิดเป็นสารคีเลตได้มากขึ้น โดยเฉพาะการเกิดการดูดซับกับธาตุโลหะในรูป ธาตุอาหารเสริม เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี เป็นต้น (Stevenson, 1986)

ตารางที่ 77 สมบัติทางเคมี ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุของน้ำหมักชีวภาพ

สมบัติ	วัสดุที่ใช้หมัก				
	ผัก	ผลไม้	ปลา	หอยเชอรี่	ไข่ไก่ นม ถั่ว
pH	3.3 - 4.9	3.4 - 3.9	4.0 - 4.7	4.3 - 4.9	น้ำนม - 4.54
EC (dS/m)	2.1 - 49.0	1.4 - 16.8	20.3 - 27.0	17.4 - 45.0	น้ำนม - 5.45
ธาตุอาหารหลัก (เปอร์เซ็นต์)					
ไนโตรเจน	0.07 - 0.92	0.07 - 1.91	1.45 - 3.42	0.24 - 1.48	0.39 - 1.48
ฟอสฟอรัส	0.01 - 0.40	0.03 - 0.78	1.04 - 1.30	0.02 - 0.93	0.07 - 0.25
โพแทสเซียม	0.14 - 1.84	0.05 - 1.84	1.04 - 2.39	0.42 - 1.47	0.62 - 1.82
ธาตุอาหารรอง (เปอร์เซ็นต์)					
แคลเซียม	0.010 - 1.19	0.090 - 1.06	0.140 - 1.00	0.130 - 0.73	0.130 - 0.73
แมกนีเซียม	0.009 - 0.19	0.026 - 0.35	0.038 - 0.22	0.045 - 0.16	0.033 - 0.21
กำมะถัน	0.001 - 0.29	0.008 - 0.54	0.002 - 0.30	0.006 - 0.42	0.002 - 0.29
จุลธาตุ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
เหล็ก	10 - 640	35 - 410	35 - 1700	45 - 3870	70 - 3500
แมงกานีส	1 - 130	10 - 150	6 - 130	2 - 220	2 - 10
ทองแดง	3 - 68	1 - 20	3 - 10	4 - 11	4 - 13
สังกะสี	4 - 30	15 - 58	8 - 50	6 - 55	9 - 40
โบรอน	2 - 100	1 - 166	2 - 12	1 - 40	1 - 10

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก โสฬส (2559)

ตารางที่ 78 ปริมาณฮอร์โมนพืชและกรดฮิวมิกของน้ำหมักชีวภาพชนิดต่าง ๆ

ชนิดฮอร์โมน	วัสดุที่ใช้หมัก						
	ผักใบ	ผักผล	สมุนไพร	น้ำมันผสม ผลไม้	ปลา	หอยเชอรี่	น้ำมันดิบ
ออกซิน (มก./ล.)	4.43	0.27	1.34	48.04	4.01	6.85	1.63
จิบเบอเรลลิน (มก./ล.)	16.57	28.93	17.40	360.60	33.07	37.14	17.18
ไซโตไคนิน (มก./ล.)	22.64	11.28	23.81	25.60	3.05	13.62	15.12
กรดฮิวมิก (%)	0.95	0.83	1.01	0.87	3.36	3.07	1.39

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2562ค)

(9.6) การใช้น้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์น้ำมี 2 วิธี คือ ราดลงดิน และฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจาง 1 : 500 ใช้กับพืชไร่ หรืออัตราเจือจาง 1 : 1,000 ใช้กับพืชผัก และไม้ดอก ซึ่งช่วยเร่งการเจริญเติบโตของรากพืช การขยายตัวของใบรวมถึงการยืดตัวของลำต้น เพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด และส่งเสริมการออกดอกและติดผลดีขึ้น

4) เทคโนโลยีชีวภาพผลิตภัณฑ์อินทรีย์สารกรดอะมิโนจากโปรตีนเซลล์เดียว

โปรตีนเซลล์เดียว (single cell protein, SCP) คือ โปรตีนเซลล์เดียวที่ได้จากจุลินทรีย์ ได้แก่ รา ยีสต์ และแบคทีเรีย และรวมถึงจุลินทรีย์ที่มีหลายเซลล์ ได้แก่ สาหร่าย ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากจุลินทรีย์ได้รับความสนใจมาก เนื่องจากการขาดแคลนวัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิตโปรตีนจากเนื้อสัตว์ และปัญหาการกำจัดของเหลือทิ้งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์อยู่สูง ด้วยเทคโนโลยีชีวภาพการแปรรูปสารอินทรีย์ และสารอื่น ๆ จากวัสดุเหลือใช้ให้เป็นผลผลิตที่มีประโยชน์ และมีมูลค่าเพิ่มโดยการแปรรูปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ที่มีโปรตีนมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนสูง โดยคุณลักษณะของจุลินทรีย์ที่ใช้ผลิตโปรตีนเซลล์เดียว เจริญได้เร็วในอาหารที่มีราคาถูก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่นนั้น ๆ เจริญได้ดีไม่ต้องการวิตามินและสารเร่งการเจริญ คงลักษณะทางพันธุกรรมได้ดีไม่กลายพันธุ์ง่ายเมื่อเลี้ยงติดต่อกันเป็นเวลานาน และเก็บเกี่ยวเซลล์ทำได้ง่ายหลังจากการเลี้ยงแล้ว มีวัสดุเหลือทิ้งน้อยหรือไม่มีเลย ไม่เป็นพิษ เก็บรักษาได้ง่ายจากการทำให้แห้ง (Sell *et al*, 1981) เช่น สาหร่าย ที่ผลิตเป็น

โปรตีนเซลล์เดียว ส่วนใหญ่จะมีคุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วนประกอบด้วยโปรตีน 40 - 65 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2 - 15 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 10 - 145 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 1 - 12 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.75 - 4.85 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 1.0 - 1.9 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโน และวิตามิน สำหรับการเจริญเติบโตของพืช ในประเทศแถบตะวันออกไกลสามารถผลิต *Chlorella* sp. เพื่อเป็นสินค้าออกสำหรับประเทศไทยมีบริษัทสยามแอลจี ผลิต *Spirulina* sp. ส่งเป็นสินค้าส่งออกให้กับประเทศญี่ปุ่น และในประเทศญี่ปุ่นใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ ส่วนการเลี้ยงสาหร่ายในน้ำทิ้งนั้น สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนในการผลิตปุ๋ยชีวภาพ (Tanticharone *et al.*, 1993) ซึ่งปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์กรดอะมิโนจากสาหร่ายในท้องตลาดจำหน่ายหลายผลิตภัณฑ์ สำหรับใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และช่วยเสริมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช

กรดอะมิโน (amino acid) คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของหมู่อะมิโน (amino group) หมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) ผลิตภัณฑ์กรดอะมิโนที่ใช้เป็นสารกระตุ้นเชิงชีวภาพ มิได้เป็นกรดอะมิโนอย่างใดอย่างหนึ่งที่บริสุทธิ์ แต่ประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด และเพปไทด์ท่อนสั้น ๆ (short peptides) เรียกว่า โปรตีนไฮโดรไลเสต (protein hydrolysate) ได้มาจากการนำโปรตีนมาย่อยด้วยปฏิกิริยาแยกสลายด้วยน้ำ หรือไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ซึ่งวัตถุดิบในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตมาจากหลายแหล่ง เช่น โปรตีนจากพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ อาศัยกระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์จากกระบวนการแปรสภาพด้วยจุลินทรีย์ได้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งใช้สำหรับกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชหลายวิธี เช่น ใส่ในดิน ฉีดพ่นทางใบ หรือคลุกเมล็ดพืชก่อนปลูก (Ertani *et al.*, 2009) การใช้ประโยชน์ของกรดอะมิโนต่อการเจริญเติบโตของพืช (ยงยุทธ, 2557ข) ช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช และเพิ่มประสิทธิภาพความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลักและจุลธาตุ (Maini, 2006) กรดอะมิโนสามารถทำปฏิกิริยาคีเลชัน (chelation) กับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดง ได้คีเลตอันเป็นรูปที่เซลล์พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายทั้งทางรากและเซลล์ใบ ทำให้พืชทนต่อความเครียดที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิต่ำ หรือสูงเกินไป และการขาดน้ำ (Jie *et al.*, 2008) กรดอะมิโนมีผลต่อลักษณะของรากพืช ตัวอย่างเช่น การใส่แอล - กลูตาเมต (L - glutamate) มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของรากปทุมณี และช่วยกระตุ้นการแตกรากแขนง ส่งเสริมการเกิดขนรากบริเวณใกล้ปลายรากอีกด้วย กรดอะมิโนทริปโตเฟน (tryptophan) ก็กระตุ้นการเจริญเติบโตของราก เนื่องจากกรดอะมิโนชนิดนี้เป็นสารตั้งต้น สำหรับการสังเคราะห์ออกซิน (Walch-Liu *et al.*, 2006) และส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ดังนั้นการใส่กรดอะมิโนลงไปในดินช่วยให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินสูงขึ้น มีผล 2 ประการ คือ เร่งการสลายตัวของเศษซากพืชให้เป็นฮิวมัส ซึ่งมีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดิน และการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดิน มีผลให้ธาตุอาหารที่เคยอยู่ในเศษซากพืชถูกปลดปล่อยออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Garcla-Martinez *et al.*, 2010)

การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวด้วยกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ (fermentation) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมชีวภาพ โดยการหมักเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของวัตถุดิบตั้งต้น หรือชีวมวล ให้เป็นโปรตีนเซลล์จุลินทรีย์ สำหรับข้อดีที่สำคัญของการหมัก คือ ทำให้สามารถสร้างกรดอะมิโนได้ในปริมาณมากโดยมีต้นทุนที่ต่ำ จากการใช้แหล่งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตรที่มีแหล่งสารอินทรีย์แปรสภาพด้วยกระบวนการจุลินทรีย์ผลิตโปรตีนเซลล์เดียวที่มีองค์ประกอบของกรดอะมิโน มีแนวทางการใช้ประโยชน์ ดังนี้

(1) การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวด้วยกระบวนการหมักจากน้ำนึ่งปลาทูน่าน้ำต้มกุ้ง และน้ำทิ้งจากโรงงานทะเลแช่แข็ง สำหรับเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสง สามารถเจริญได้ดีในน้ำนึ่งปลาทูน่าน้ำ ให้ปริมาณเซลล์สูงสุด 4 กรัมต่อลิตร ในน้ำนึ่งปลาทูน่าน้ำที่เจือจาง 10 เท่า มีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของค่าซีไอดีในช่วง 15,000 - 20,000 มิลลิกรัม ผลผลิตเซลล์เท่ากับ 0.32 กรัมเซลล์ต่อกรัมซีไอดี สามารถลดค่าซีไอดีได้ 78 เปอร์เซ็นต์ สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ คือ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเริ่มต้น 7.0 และความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ หลังการเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 5 วัน เชื้อ *R. gelatinosus* เซลล์มีปริมาณโปรตีน 56.00 เปอร์เซ็นต์ เชื้อ *R. capsulatus* เซลล์มีปริมาณโปรตีน 60.95 เปอร์เซ็นต์ เชื้อ *R. sphaeroides* เซลล์มีปริมาณโปรตีน 66.57 เปอร์เซ็นต์ และเชื้อ *S. anomalus* เซลล์มีปริมาณโปรตีน 50.50 เปอร์เซ็นต์ (Prasertsan et al., 1993) จากรายงานของศุภารัตน์ (2544) พบว่า เซลล์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมีองค์ประกอบของกรดอะมิโน เช่น ไลซีน (lysine) ฮิสติดีน (histidine) ทรีโอนีน (threonine) วาลีน (valine) เมไทโอนีน (methionine) ไอโซลิวซีน (isoleucine) ลิวซีน (leucine) และฟีนิลแอลลานีน (phenylalanine) (ตารางที่ 79) และรายงานการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้เป็นอาหารเลี้ยงยีสต์จากน้ำนึ่งปลาทูน่าน้ำที่แยกโปรตีนและไขมันออก แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 1 เติมน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.5 เลี้ยงยีสต์ *C. tropicalis* TISTR 5146 ได้ปริมาณเซลล์ยีสต์ 111.51 กรัมต่อลิตร มีองค์ประกอบ ได้แก่ โปรตีน 58.20 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.36 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 9.59 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 1.26 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโนในเซลล์ยีสต์ คือ ฮิสติดีน ไลซีน และทรีโอนีน เป็นต้น (ชุตินุช, 2542)

ตารางที่ 79 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (กรัม/100 กรัมแห้ง)			
	<i>R. gelatinosus</i>	<i>R. capsulatus</i>	<i>R. sphaeroides</i>	<i>Rhodospirillum rubrum</i>
ไลซีน	3.04	2.86	2.57	4.93
ฮิสติดีน	1.15	1.25	0.96	3.82
ทรีโอนีน	2.04	2.70	2.87	5.40
วาเลีน	3.44	3.51	2.68	7.05
เมไทโอนีน	1.94	1.58	1.47	3.05
ไอโซลิวซีน	2.73	2.64	1.78	4.10
ลิวซีน	5.84	4.50	3.90	6.56
ฟีนิลแอลลานีน	3.08	2.60	2.36	5.12

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก ศุภรัตน์ (2544)

(2) การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวด้วยกระบวนการหมักจากผลไม้ ด้วยเชื้อ *A. niger* แบบอาหารแข็งระดับโรงงานต้นแบบ ใช้วัสดุเหลือใช้จากผลไม้ตระกูลส้ม ทำการเลี้ยงแบบอาหารแข็ง โดยให้ความชื้น 50 - 65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไมซีเลียม (mycelium) ของเชื้อราเจริญได้ดีในอุณหภูมิช่วง 28 - 38 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 3 มีการให้อากาศ และการกวนเป็นครั้งคราว เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ และการถ่ายเทความร้อน การกวนต้องระมัดระวังมิให้ทำลายไมซีเลียมของเชื้อราที่กำลังเจริญ มีการเติมสารอาหารเป็นแหล่งไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ส่วนการเติมหัวเชื้อ อาจเป็นในรูปผงแห้งหรือสารแขวนลอย หรือใช้วิธีการเลี้ยงเชื้อแบบกึ่งกะ (fed batch) มีการนำเชื้อจากรุ่นก่อนเป็นหัวเชื้อของรุ่นถัดไป การใช้หัวเชื้อความเข้มข้นสูงช่วยร่นระยะเวลาการหมักให้ปริมาณโปรตีนสูง และลดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์อื่น การหมักใช้เวลา 30 - 36 ชั่วโมง เริ่มเกิดสปอร์นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบแห้งจนมีความชื้นเหลือ 8 - 12 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์จากการหมักมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น 2.9 - 6.7 เท่า จากการใช้วัตถุดิบตั้งต้น เช่น กล้วย และกากน้ำตาล เมื่อเทียบเคียงกับปริมาณที่มีในถั่วเหลืองป่น และปลาป่น ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูง และกรดอะมิโนของเซลล์แตกต่างกัน (Davy, 1981) (ตารางที่ 80)

ตารางที่ 80 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเซลล์จากเชื้อรา *A. niger* และวัสดุหมัก

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (กรัม/100 กรัมแห้ง)			
	เชื้อรา <i>A. niger</i>		วัสดุหมัก	
	จากกล้วย	จากกากน้ำตาล	ถั่วเหลืองป่น	ปลาป่น
ไลซีน	4.79	5.20	6.60	7.00
ฮิสติดีน	2.37	2.70	2.62	2.30
วาเลีน	6.26	7.50	5.20	5.20
เมไทโอนีน	1.52	2.70	1.10	2.60
ไอโซลิวซีน	4.48	3.80	5.80	4.60
ลิวซีน	7.03	6.20	7.60	7.30
ทรีโตน	-	-	1.20	2.90
ซิสตีน	1.48	-	1.20	1.10
อาร์จินีน	4.83	3.80	6.84	5.00

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Davy (1981)

(3) การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวด้วยกระบวนการหมักจากมูลสุกรด้วยวิธีการเลี้ยงยีสต์ *C. ingens* ในถังที่มีอากาศ กระบวนการหมักจะเปลี่ยนไนโตรเจนในมูลสัตว์เป็นเซลล์ยีสต์ที่มีโปรตีนสูงประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น มหาวิทยาลัยควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย มีการวิจัยผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากมูลสุกร (Henry and Thomson, 1979) มีกระบวนการผลิต ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การหมักภายใต้สภาวะไร้อากาศ สารละลายของมูลสุกรที่ใช้มีปริมาณของแข็ง 4 - 7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร และใช้ปัสสาวะของสุกรเป็นแหล่งไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย โดยให้มีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 500 - 1900 มิลลิกรัมต่อลิตร หมักเป็นเวลา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 37 - 39 องศาเซลเซียส จากการเปลี่ยนเซลล์ในมูลสัตว์ผลิตกรดไขมันได้สูงสุด มีสัดส่วนของปริมาณกรดไขมันระเหยแต่ละชนิด ดังนี้ กรดแอซิดิก (acetic acid) 23 มิลลิโมลต่อลิตร กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) 9 มิลลิโมลต่อลิตร กรดบิวทีริก (butyric acid) 7 มิลลิโมลต่อลิตร กรดไอโซวาเลอริก (iso - valeric acid) 3 มิลลิโมลต่อลิตร กรดวาเลอริก (valeric acid) 5 มิลลิโมลต่อลิตร และกรดคาโปริก (caproic acid) 7 มิลลิโมลต่อลิตร และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6

ขั้นตอนที่ 2 การเลี้ยงยีสต์ *C. ingens* ภายใต้สภาวะที่มีอากาศ ที่ปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายเป็น 4.8 ยีสต์สายพันธุ์นี้เจริญในค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

อยู่ในช่วง 4.6 - 6.0 การเจริญของยีสต์เกิดขึ้นชั้นของเซลล์ที่ผิวหน้าอาหารต่อมามีลักษณะยื่นเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว แล้วมีลักษณะเป็นแผ่น (matted pellicle) ทำให้เก็บเกี่ยวได้สะดวก เลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผลผลิต 50 กรัมต่อโมลของกรดทั้งหมดในอาหาร ผลผลิตน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1.4 - 5.8 กรัมต่อลิตร หรือคิดเป็นผลผลิตได้ยีสต์ 7 กรัมต่อ 100 กรัมของมูลสุกร ได้คุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ในรูปกรดอะมิโนที่จำเป็นสูง แสดงชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเซลล์ยีสต์ *C. ingens* เลี้ยงด้วยมูลสุกร ดังตารางที่ 80

(4) การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวด้วยกระบวนการหมักจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในบ่อน้ำทิ้งที่ผ่านการผลิตแก๊สชีวภาพ มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ มีค่าซีไอดี 3,670 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำมัน 133 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.5 กระบวนการแปรรูปทางชีวภาพด้วยยีสต์ *C. tropicalis* TISTR 5146 สภาพการเลี้ยงในน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์มที่เจือจางด้วยน้ำที่ระดับความเข้มข้น 1 : 5 โดยมีการเติมยีสต์สกัด 15 กรัมต่อลิตร และกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเริ่มต้น 5.5 บ่มบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ระยะการเลี้ยง 3 วัน ได้ปริมาณมวลชีวภาพ 12.53 กรัม เซลล์ประกอบด้วยโปรตีน 43.12 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.45 เปอร์เซ็นต์ (ชุดินุช และคณะ, 2557) แสดงชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเซลล์ยีสต์ *C. tropicalis* เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ดังตารางที่ 81

ตารางที่ 81 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเซลล์ยีสต์ *C. tropicalis* เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และ *C. ingens* เลี้ยงด้วยมูลสุกร

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (กรัม/100 กรัมแห้ง)	
	<i>C. tropicalis</i>	<i>C. ingens</i>
	น้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ¹	มูลสุกร ²
ไลซีน	5.01	3.70
ฮิสติดีน	6.68	-
วาเลีน	2.88	3.60
เมไทโอนีน	0.57	4.80
ไอโซลิวซีน	2.88	3.00
ลิวซีน	3.14	5.60
ฟีนิลแอลลานีน	2.14	3.70
อาร์จินีน	1.47	-

ตารางที่ 81 (ต่อ)

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (กรัม/100 กรัมแห้ง)	
	<i>C. tropicalis</i>	<i>C. ingens</i>
	น้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ¹	มูลสุกร ²
กลูตามีน	7.60	-
ทรีโอนีน	-	4.30
ซิสทีอีน	-	0.80

ที่มา: ¹ชุดินุช และคณะ (2557); ²พูนสุข (2558)

(5) ประโยชน์โปรตีนจากจุลินทรีย์เซลล์เดียวในการเกษตร

(5.1) เป็นแหล่งกรดอะมิโนจากโปรตีนจุลินทรีย์เซลล์เดียว ที่ใช้เป็นสารกระตุ้นเชิงชีวภาพ ซึ่งใช้สำหรับกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชหลายวิธี เช่น ใส่ในดิน ฉีดพ่น

(5.2) การใส่กรดอะมิโนจากโปรตีนจุลินทรีย์เซลล์เดียวลงไปในดิน ช่วยให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินสูงขึ้น ช่วยเร่งการสลายตัวของเศษซากพืชให้เป็นฮิวมัส และช่วยเร่งการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดิน ทำให้ธาตุอาหารที่เคยอยู่ในเศษซากพืชถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Garcla-Martinez *et al.*, 2010)

(5.3) กรดอะมิโนจากโปรตีนจุลินทรีย์เซลล์เดียว สามารถทำปฏิกิริยาคีเลชัน (chelation) กับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดง ได้คีเลตอันเป็นรูปที่เซลล์พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย ช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชทั้งทางรากและเซลล์ใบ และเพิ่มประสิทธิภาพความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลักและจุลธาตุ ทำให้พืชทนต่อความเครียดที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิต่ำ หรือสูงเกินไป และการขาดน้ำ (Jie *et al.*, 2008)

(5.4) โปรตีนจากจุลินทรีย์เซลล์เดียว เป็นทั้งแหล่งธาตุอาหารและสารอาหารให้กับพืชและจุลินทรีย์ในดิน ประกอบด้วยสารอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และกรดอะมิโน ทำให้เพิ่มปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้รากพืชโตเร็ว โดยเพิ่มโปรตีน แร่ธาตุ และกรดต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อพืช (พูนสุข, 2558)

(5.5) โปรตีนจากจุลินทรีย์เซลล์เดียว เป็นแหล่งโปรตีนสูง และใช้เป็นอาหารของสัตว์น้ำ และใช้เลี้ยงสัตว์ปีก (Olguin, 2000) ทำให้เพิ่มน้ำหนัก โดยเพิ่มสารอาหารแร่ธาตุที่จำเป็นต่อสัตว์ เช่น โปรตีนในแบคทีเรียสังเคราะห์แสงช่วยเพิ่มคุณภาพของเนื้อปลาดีขึ้น และเพิ่มสารอาหารให้กับสัตว์น้ำ (กรมปศุสัตว์, 2564)

5) เทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพ (biochar) เพื่อการปรับปรุงดิน

(1) ไบโอชาร์ (biochar)

ความหมายของไบโอชาร์ (biochar) หรือถ่านชีวภาพ จากแหล่งต่าง ๆ

ดังนี้

ไบโอชาร์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการปรับปรุงดินที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายเชิงความร้อนของชีวมวลหรือสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นสารประกอบของสิ่งมีชีวิตที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ เศษใบไม้ และกิ่งไม้ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ฟางข้าว ตอซังข้าว ซังข้าวโพด เปลือกถั่ว เปลือกผลไม้ เหง้ามันสำปะหลัง เศษอาหารในครัวเรือน และมูลสัตว์ เป็นต้น กระบวนการย่อยสลายเชิงความร้อนนี้เรียกว่า ไพโรไลซิส (pyrolysis) (ศิริลักษณ์ และ อรสา, 2556)

ไบโอชาร์ คือ ถ่านหินที่มีรูพรุน ได้จากซากต้นไม้จากการนำเอาซากพืชเหล่านี้ใส่เข้าไปในเครื่องที่มีความร้อนด้วยอุณหภูมิสูงมาก สารจะถูกให้ความร้อนผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยการให้ความร้อนทางเคมีเรียกว่า ไพโรไลซิส สารจากสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นวัตถุที่มีลักษณะกลมเหมือนถ่านหิน (Lehmann, 2007)

ไบโอชาร์ คือ ผลผลิตที่ได้จากการนำมวลชีวภาพผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนที่เรียกว่า ไพโรไลซิส สภาวะไร้ออกซิเจน หรือใช้ก๊าซออกซิเจน ในระหว่างการเผาไหม้ได้ถ่านชีวภาพที่มีความคงตัวสูง (Xu *et al.*, 2011)

ไบโอชาร์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือการทำปุ๋ยสัตว์ เช่น แกลบ ซังข้าวโพด ต้นข้าวโพด ชานอ้อย มูลสัตว์ เป็นต้น นำมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีด้วยความร้อน โดยจำกัดปริมาณ หรือปราศจากก๊าซออกซิเจนในกระบวนการเผาไหม้ ได้เป็นถ่านชีวภาพที่อุดมไปด้วยคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (Lehmann and Joseph, 2009)

ไบโอชาร์ คือ ถ่านที่มีลักษณะเป็นเนื้อละเอียด และเต็มไปด้วยรูพรุน เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของชีวมวล ในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนอย่างจำกัด ถูกให้ความร้อนผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยการให้ความร้อนทางเคมีเรียกว่า ไพโรไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการการให้ความร้อนที่นิยมใช้ โดยจะเปลี่ยนชีวมวลที่ถูกให้ความร้อนในสภาวะที่ไม่มีอากาศให้กลายเป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ สามารถผลิตได้จากวัสดุธรรมชาติหลายชนิด (Sohi *et al.*, 2010)

ไบโอชาร์ คือ วัสดุคาร์บอนที่มีรูพรุน ซึ่งผลิตโดยกระบวนการไพโรไลซิสของชีวมวล และนำไปใช้เพื่อให้คาร์บอนที่กักเก็บอยู่นั้นถูกกักเก็บไว้เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน หรือแทนที่คาร์บอนฟอสซิล ไม่ได้ถูกสร้างมาเพื่อเผาเพื่อผลิตพลังงาน (International Biochar Initiative, 2012)

(2) กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพผลิตได้จากวัตถุดิบที่เหลือทิ้งใช้ทางเกษตรหลากหลายชนิด เช่น เศษกิ่งไม้ เศษหญ้า ฟางข้าว แกลบ และซังข้าวโพด เป็นต้น โดยระหว่างผ่านกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนที่เรียกว่า กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งมวลชีวภาพจะถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็ง คือ ถ่านชีวภาพ ของเหลว คือ น้ำมันชีวภาพ (bio oil) และก๊าซ คือ ก๊าซสังเคราะห์ (syngas) ในสัดส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต กระบวนการไพโรไลซิส แบ่งเป็น 2 ประเภท (ตารางที่ 82) ได้แก่

(2.1) กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า (torrefaction) เป็นกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า ใช้ระยะเวลานาน โดยใช้อุณหภูมิระหว่าง 250 - 500 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จะได้สัดส่วนผลิตภัณฑ์ ได้แก่ น้ำมันชีวภาพ 30 เปอร์เซ็นต์ แก๊สสังเคราะห์ 35 เปอร์เซ็นต์ และไบโอชาร์ 35 เปอร์เซ็นต์

(2.2) กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (fast pyrolysis) เป็นการผลิตไบโอชาร์ที่ใช้เวลาน้อย เนื่องจากการแยกสลายด้วยความร้อนแบบเร็วที่ใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้เป็นวินาที ใช้อุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 400 - 600 องศาเซลเซียส จะได้สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของน้ำมันชีวภาพ 75 เปอร์เซ็นต์ แก๊สสังเคราะห์ 13 เปอร์เซ็นต์ และไบโอชาร์ 12 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 82 ผลผลิตที่ได้รับจากกระบวนการไพโรไลซิส

กระบวนการไพโรไลซิส	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน	ระยะเวลาการเผา	ผลผลิต (เปอร์เซ็นต์)		
				น้ำมันชีวภาพ	แก๊สสังเคราะห์	ถ่านชีวภาพ
แยกสลายแบบช้า	250 - 500	บรรยากาศ	วินาที - ชั่วโมง	30	35	35
แยกสลายแบบเร็ว	400 - 600	สุญญากาศ	วินาที	75	13	12

ที่มา: Tomczyk *et al.* (2020)

(3) กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพ (biochar) เกิดกระบวนการไพโรไลซิสสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

(3.1) ช่วงก่อนไพโรไลซิส (pre - pyrolysis) เป็นช่วงที่เริ่มเผา ซึ่งมีอุณหภูมิปกติจนกระทั่งอุณหภูมิเพิ่มสูงถึง 200 องศาเซลเซียส ช่วงนี้มีการระเหยของความชื้นและ

สารประกอบบางชนิดในวัตถุดิบ เนื่องจากการทำลายพันธะทางเคมีของกลุ่มไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (- ROOH) กลุ่มคาร์บอกซิล (- COOH) และกลุ่มคาร์บอนิล (- CO) (Cardenas-Aguilar *et al.*, 2017)

(3.2) ช่วงไพโรไลซิสหลัก (main - pyrolysis) เป็นช่วงที่อุณหภูมิการเผาอยู่ระหว่าง 200 - 500 องศาเซลเซียส ในช่วงนี้สารประกอบเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสมีการสลายตัวอย่างรวดเร็ว จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 200 - 260 องศาเซลเซียส (Ding *et al.*, 2014)

(3.3) ช่วงสร้างวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (formation of carbonaceous products) ซึ่งอุณหภูมิอาจจะน้อยหรือมากกว่า 500 องศาเซลเซียส สารประกอบที่มีพันธะทางเคมีแข็งแรง อาทิ ลิกนิน จะเริ่มสลายตัวในช่วงนี้ (Lee *et al.*, 2017) จากการศึกษา พบว่าอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิส มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับโครงสร้าง และสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของถ่าน เมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มสูงขึ้น พื้นที่ผิว ความเป็นกรดเป็นด่าง สัดส่วนของคาร์บอน และสารระเหยบางชนิดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ขณะที่ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และหมู่ฟังก์ชันบางชนิดบนพื้นผิวลดลง (Asdullah *et al.*, 2007; Jindo *et al.*, 2014)

(4) สมบัติของถ่านชีวภาพต่อความเป็นประโยชน์ทางการเกษตร

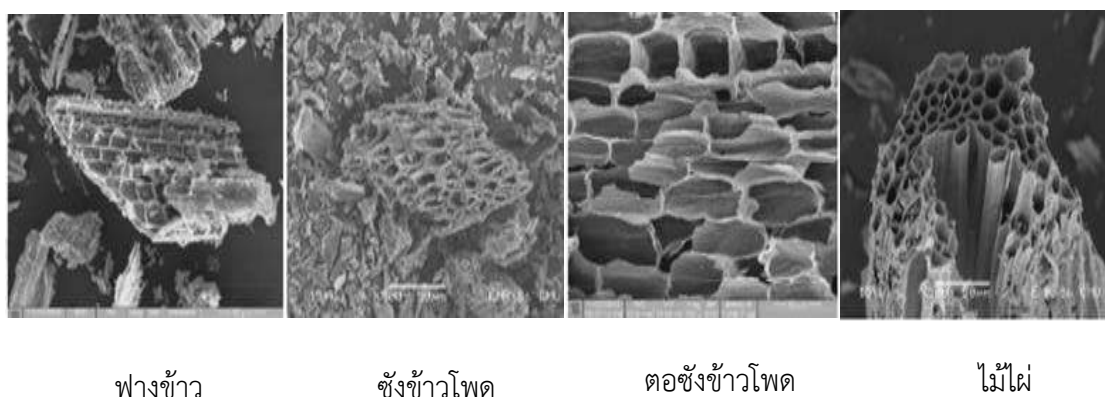
คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ เป็นวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน หรือผ่านกระบวนการเผาไหม้แล้ว จะได้ถ่านชีวภาพที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และซีเถ้า แต่จะเปลี่ยนแปลงได้ตามชนิดของวัตถุดิบที่นำมาทำถ่านชีวภาพ สมบัติของถ่านชีวภาพต่อความเป็นประโยชน์ทางการเกษตร ดังนี้

(4.1) ธาตุองค์ประกอบ (elemental composition) มีองค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ และกระบวนการไพโรไลซิส ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก โซเดียม และแมกนีเซียม (Jha *et al.*, 2010)

(4.2) ปริมาณคาร์บอนคงที่ (fixed carbon) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนที่เหลืออยู่ในรูปของแข็งหลังจากที่สารประกอบต่าง ๆ เกิดการระเหยออกไปหมด ถ่านชีวภาพที่มีปริมาณคาร์บอนคงที่มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 700 องศาเซลเซียส หากใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 250 - 350 องศาเซลเซียส ถ่านชีวภาพที่ได้จะมีปริมาณคาร์บอนคงที่ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ (Weber and Quicker, 2018)

(4.3) รูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านชีวภาพ เป็นสมบัติที่สำคัญของถ่านชีวภาพ ได้รับอิทธิพลมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส และประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ รูพรุนขนาดเล็กนับเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพ ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ทางด้านดินทั่วไปให้นิยามไว้ว่า มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย 200 นาโนเมตร รูพรุนขนาดเล็กนี้มีผลต่อความสามารถในการดูดซับโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น ก๊าซ และตัวทำละลายทั่วไป

(Rouquerol *et al.*, 1999) อุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการสลายของอินทรีย์วัตถุ ได้แก่ เซลลูโลส และลิกนิน และการก่อตัวของมัดท่อลำเลียง (vascular bundle) ทำให้พื้นที่ผิวและปริมาณของรูพรุนของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีการเรียงตัวของอะตอมแบบโครงข่ายที่ไม่มีระเบียบ และประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพก็นับเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดพื้นที่ผิว และรูพรุนของถ่านชีวภาพ (Zhao *et al.*, 2017) (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 ลักษณะรูพรุนของถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิด

ที่มา: ณิชากัทร (2562)

(4.4) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity, CEC) กระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 350 - 650 องศาเซลเซียส จะทำให้พันธะทางเคมีของชีวมวลถูกทำลาย และจัดเรียงเป็นหมู่ฟังก์ชันใหม่ ๆ เช่น คาร์บอกซิล (carboxyl) แลคโตน (lactone) แลคตอล (lactol) ควินีน (quinine) โครมีน (chromene) อีเทอร์ (ether) ฟีนอล (phenol) และไพโรน (pyrone) เป็นต้น (Mia *et al.*, 2017) ส่วนใหญ่ถ่านชีวภาพพบพันธะเคมี หรือหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลเป็นหมู่ฟังก์ชันไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่มากในชีวมวล (Ghani *et al.*, 2013) ซึ่งถ่านชีวภาพมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง ที่บ่งชี้ถึงการเพิ่มความสามารถในการกักเก็บธาตุไอออนบวก เช่น Ca^{2+} Mg^{2+} K^+ และ NH_4^+ (Cheng *et al.*, 2018) ขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ ตัวอย่างเช่น ถ่านชีวภาพจากมูลสุกรมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 32.7 เซนติโมลของประจุต่อกิโลกรัม ถ่านชีวภาพจากมูลไก่มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 814.0 เซนติโมลของประจุต่อกิโลกรัม (Cely *et al.*, 2015) ถ่านชีวภาพจากขานอ้อยมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 122.0 เซนติโมล

ของประจุต่อกิโกรัม (Carrier *et al.*, 2012) ถ่านชีวภาพจากสาหร่ายมีค่าความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออน 57.5 เซนติโมลของประจุต่อกิโกรัม ถ่านชีวภาพจากซากสัตว์ปีกมีค่าความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออน 48.4 เซนติโมลของประจุต่อกิโกรัม ถ่านชีวภาพจากกากสับมีค่าความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออน 29.9 เซนติโมลของประจุต่อกิโกรัม (Tag *et al.*, 2016) ถ่านชีวภาพจากเปลือกถั่วลิสง มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 4.6 เซนติโมลของประจุต่อกิโกรัม และถ่านชีวภาพจากเปลือก ไม้สนมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 5.0 เซนติโมลของประจุต่อกิโกรัม (Gaskin *et al.*, 2008) จึงทำให้ถ่านชีวภาพมีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลทั้งที่ประจุบวกและประจุลบของสารอาหาร ของพืช และโมเลกุลของน้ำ (Atkinson *et al.*, 2010) ซึ่งความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารที่มีความเกี่ยวข้องอย่างสูงต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง หมู่ฟังก์ชันกรด บนพื้นผิว และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Tomczyk *et al.*, 2020)

(4.5) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ถ่านชีวภาพ มีคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการเผาจากระบวนการไพโรไลซิสเป็นภาวะที่ สารมีความชอบน้ำต่ำ มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย สมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) ในถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาจนกระทั่งถึง 700 องศาเซลเซียส แต่สำหรับความสามารถ ในการอุ้มน้ำในถ่านชีวภาพนั้น ไม่ได้เกิดจากการที่ถ่านชีวภาพมีสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เป็นผลมาจากความพรุนในถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้นจึง ทำให้น้ำสามารถเข้าไปอยู่ภายในรูพรุนของ ถ่านชีวภาพเหล่านั้นได้ (Chun *et al.*, 2004; Pimchuai *et al.*, 2010)

(4.6) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) โดยทั่วไปถ่านชีวภาพมีค่าเป็นด่าง อยู่ในช่วง 7.1 - 10.5 (Lehmann *et al.*, 2011) เมื่ออุณหภูมิกระบวนการไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผล โดยตรงต่อปริมาณของด่างทั้งหมด และหมู่คาร์บอเนตจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ส่งผลทำให้ถ่านชีวภาพมี ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้า และกลุ่มฟังก์ชัน ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการไพโรไลซิส (Yuan and Xu, 2011) อีกทั้งค่าความเป็นกรดเป็นด่างของถ่านชีวภาพสูงขึ้นจากการสูญเสียหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด (- COOH) ในช่วงกระบวนการไพโรไลซิส (Al-Wabel *et al.*, 2013)

ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปสมบัติของถ่านชีวภาพต่อ ความเป็นประโยชน์ทางการเกษตร แสดงดังตารางที่ 83

ตารางที่ 83 สมบัติของถ่านชีวภาพต่อความเป็นประโยชน์ทางการเกษตร

ถ่านชีวภาพ	คุณสมบัติ
1. องค์ประกอบของธาตุ	- คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์
2. ความคงตัว	- สลายตัวได้ช้ามีอายุการใช้งานได้ยาวนาน
3. พื้นที่ผิวจำนวนมาก	- ช่วยดูดซับธาตุอาหารไว้บนพื้นที่ผิวทั้งภายนอก และภายในรูพรุนได้
4. มีความพรุนจำนวนมาก	- ช่วยกักเก็บน้ำ ทำให้ดินมีรูพรุนไม่จับตัวแน่น และเป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์
5. มีสถานะเป็นประจุลบ	- ช่วยดูดซับธาตุอาหารที่มีประจุบวก ทำให้มีธาตุอาหารที่อุดมสมบูรณ์ ช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืชอย่างช้า ๆ ช่วยปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินและน้ำ - ช่วยดูดซับก๊าซเรือนกระจก ลดปัญหาโลกร้อน

(5) การใช้ประโยชน์ถ่านชีวภาพต่อการปรับปรุงดิน

(5.1) การปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติทางการเกษตรต่อการปรับปรุงสมบัติทางเคมีดิน ได้แก่ การปรับความเป็นกรดของดินเปรียบเทียบกับการใช้ปูน เช่น การใช้ถ่านชีวภาพกลบมีสมบัติเป็นด่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 9.27 สามารถแก้ไขความเป็นกรดของดิน และยังช่วยเพิ่มค่าการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil pH buffering capacity, pHBC) อีกทั้งช่วยยับยั้งการกลับมาเป็นกรดของดินอีกด้วย (Xu *et al.*, 2012; Shi *et al.*, 2018) มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน 178.71 เซนติโมลของประจุต่อกิโลกรัม เพิ่มความสามารถอุ้มน้ำของดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้น อยู่ในช่วง 31.16 - 31.28 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 70.00 - 74.00 โดยค่าทั้งหมด อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของถ่านชีวภาพ ซึ่งถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน และมีบทบาทต่อกระบวนการทางชีวเคมี และการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน และจากรายงานการศึกษาในดินอันดับแอนโทรอสอล (Anthrosols) จาก Brazilian Amazon พบว่า การใส่ชีวมวลของถ่านคาร์บอนในดินสามารถเพิ่มการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของอินทรีย์คาร์บอนที่อยู่ใกล้ผิวดิน เพิ่มแหล่งคาร์บอน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินเพิ่มขึ้น จากรายงานของ Liang *et al.* (2006) ในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากตะกอนของเสียเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านชีวภาพจากไม้ พบว่า ถ่านชีวภาพจากตะกอนของเสียมีรูพรุนมากกว่า และมีปริมาณธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มากกว่าถ่านชีวภาพจากไม้

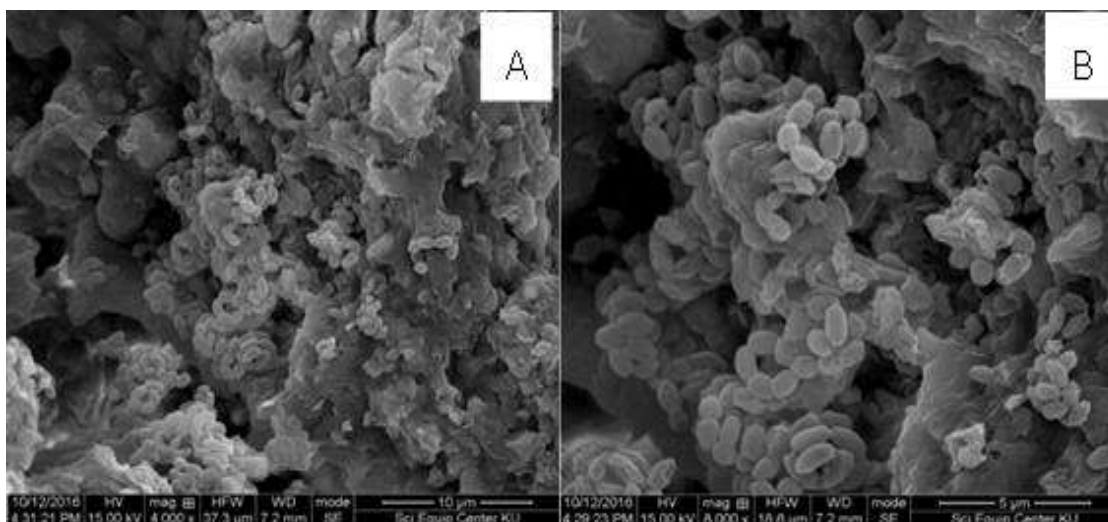
(Shinogi and Kanri, 2003) การใช้ประโยชน์ถ่านชีวภาพสำหรับพื้นที่การเกษตรในประเทศไทย เช่น การใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบ และถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด สำหรับการปลูกข้าวหอมมะลิ 105 ในพื้นที่นาดินทรายนอกเขตชลประทาน พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดจากพลังงานโรงงาน ไฟฟ้าที่อัตรา 300 หรือ 600 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้อินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มสูงขึ้น 0.63 - 0.80 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินสูงขึ้นในการปลูกข้าวปีที่ 2 ส่วนแคลเซียม และ แมกนีเซียม มีการสะสมเพิ่มขึ้นทุกปีสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และการใช้ถ่านชีวภาพอัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มค่าความจุความชื้นสนาม ค่าจุดเหี่ยวถาวร และค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดิน (จันจิรา และคณะ, 2558) จากรายงานการพัฒนาและฟื้นฟูดินทรายด้วยถ่านชีวภาพ จากวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ เช่น ถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียน ถ่านชีวภาพกะลามะพร้าว ถ่านชีวภาพ ฝักหางนกยูง และถ่านชีวภาพฝักสำโรง มีองค์ประกอบคาร์บอน 48.30 - 50.35 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นด่างสูง อยู่ในช่วง 9.00 - 10.59 ทำให้ดินกรดมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้น และการใช้ ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยหมักมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นมากกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (พินิจภณ, 2558) และการใช้ถ่านชีวภาพอัตรา 500 - 3,000 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตพืช ผักอินทรีย์ เพิ่มอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารพืชในพื้นที่ดินกรด (บรรเจิดลักษณ์ และ รติกร, 2560) สำหรับพื้นที่การเกษตร เช่น การปลูกข้าวแบบขังน้ำในพื้นที่ดินร่วนเหนียวปนทราย พบว่า จากการใส่ ถ่านชีวภาพแกลบ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลต่อการการสะสม ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด 2.02 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดิน 1.85 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณอินทรีย์วัตถุของดิน 3.19 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าดินไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (ชฎาภา, 2564) นอกจาก การสะสมของอินทรีย์วัตถุในดิน และการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจากกรดให้เป็น กลางแล้ว ยังพบการตรึงไนโตรเจนในสภาพน้ำขังจากการใส่ถ่านชีวภาพ (Kirk, 2004) และจากการใส่ ถ่านชีวภาพในอัตราที่สูงขึ้น 1,000 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลต่อการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน สูงขึ้นด้วย (เกศศิริพันธ์ และคณะ, 2558) เช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าวไร่ จากการใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับ ปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการไม่ใส่ (จิตินิภา, 2558)

(5.2) การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ถ่านชีวภาพมีสมบัติเป็น วัสดุอินทรีย์ที่อุดมด้วยคาร์บอน ผลิตจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้จากธรรมชาติ หรือวัสดุเหลือใช้ จากการเกษตร เช่น ใบไม้ กิ่งไม้ หญ้า ฟางข้าว เหม้ามันสำปะหลัง ตอซังข้าวโพด มูลสัตว์ และ กากตะกอนของเสีย เป็นต้น เมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะได้ผลผลิตประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ของ น้ำหนักแห้งมวลชีวภาพ (Abdelhafez *et al.*, 2017) เป็นถ่านชีวภาพรูปอินทรีย์คาร์บอนคงตัวสูง มีรูปพูนตามธรรมชาติ ช่วยให้สามารถอุ้มน้ำ รวมถึงเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ มีสมบัติใช้เป็นวัสดุปรับปรุง สมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ถ่านชีวภาพแกลบมีความชื้น 4.96 เปอร์เซ็นต์ ความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออน 17.57 เซนติโมลของประจุต่อกิโลกรัม และความเป็นกรดเป็นด่าง 8.70 เมื่อใส่ลงดิน

ทำให้ลดความหนาแน่นรวมของดิน เพิ่มความชื้นดิน ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และธาตุอาหาร ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมในดินเพิ่มขึ้น (Masulili *et al.*, 2010) โดยดินที่ใส่ ถ่านชีวภาพมีค่าความสามารถการนำน้ำในสภาพที่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นถึง 88.00 เปอร์เซ็นต์ สีของดินมี สีคล้ำขึ้น ค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลง 9.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความพรุนเพิ่มขึ้นจาก 45.70 เปอร์เซ็นต์ เป็น 50.60 เปอร์เซ็นต์ (Oguntunde *et al.*, 2008)

(5.3) การปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน ถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางชีวภาพของดิน เนื่องจากสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีรูพรุน พื้นที่ผิว และกักเก็บความชื้นสูงช่วยส่งเสริมความเป็นประโยชน์ทางชีวภาพในดินบริเวณรากพืช เช่น ถ่านชีวภาพกลบ สามารถเก็บเชื้อจุลินทรีย์ ละลายฟอสเฟต ส่งผลต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืช ส่งเสริมการเจริญมวลชีวภาพ และผลผลิตพืช ช่วยเก็บรักษาความมีชีวิตรอดของจุลินทรีย์ในสภาพแวดล้อมได้นานถึง 6 เดือน (Husna *et al.*, 2019) ถ่านชีวภาพมีศักยภาพในการเป็นวัสดุรองรับจุลินทรีย์ได้เท่าเทียมกับเวอร์มิคูไลต์ (vermiculite) ลิกไนต์ (lignite) พีทมอส (peat moss) และปุ๋ยหมัก (Lauren and Crowley, 2014) วิธีการตรึงจุลินทรีย์เป็นเทคโนโลยีชีวภาพที่จุลินทรีย์ถูกตรึงอยู่ในพื้นที่เฉพาะ โดยการตรึงด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อรักษากิจกรรมของจุลินทรีย์โดยธรรมชาติ (Karel *et al.*, 1985) และกลไกการตรึงจุลินทรีย์ด้วยถ่านชีวภาพจากกระบวนการตรึงจุลินทรีย์ การเกาะบนพื้นผิวและรูพรุน ผ่านการดูดซับ ปฏิกริยาระหว่างไฟฟ้าสถิต การสร้างการเชื่อมต่อดวัยไอออน และการจับกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) (Liu *et al.*, 2020; Vasilieva *et al.*, 2021) จากรายงานการใช้ถ่านชีวภาพเป็นตัวพาเซลล์จุลินทรีย์ เช่น การใช้ประโยชน์ถ่านชีวภาพในการเก็บรักษาและตรึงเซลล์เชื้อ *B. cereus* WHX-1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในดินในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียม (Chen *et al.*, 2021) การใช้ประโยชน์จากถ่านชีวภาพในการตรึงเซลล์ของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Pseudomonas* sp. (PSB) แล้วใส่ลงในดิน สามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดเร็วขึ้น ส่งเสริมการเพิ่มมวลชีวภาพของข้าวโพด การใช้ถ่านชีวภาพเพิ่มประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพของพืชตระกูลถั่ว และจากการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับเชื้อราที่ย่อยสลายฟอสเฟตลงไปในดิน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตของพืชหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง และถั่วเขียว เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ไม่ใช้ถ่านชีวภาพ (Abdullah and Wu, 2009) และจากรายงานการใช้ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของเชื้อราไมคอร์ไรซาในพืชตระกูลถั่ว ทำให้ดินบริเวณรากพืชเหมาะสำหรับการอยู่อาศัย (Zheng *et al.*, 2012) ส่งผลต่อกิจกรรมและการมีชีวิตรอดของเชื้อราไมคอร์ไรซาในดิน และเป็นที่พักพิงอาศัยให้เชื้อราชนิดอื่น ๆ ในดินด้วย (Cowie *et al.*, 2012) และจากรายงานผลการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพกลบเป็นวัสดุรองรับเชื้อแบคทีเรียในปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลว ส่วนผสมประกอบด้วยถ่านไบโอชาร์กลบ 1 ส่วนต่อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลว 2 ส่วน แช่ถ่านไบโอชาร์กลบ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ

แบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช แบคทีเรียละลายฟอสเฟต และแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม เท่ากับ 5.31 5.77 7.20 และ 6.04 log CFU ต่อกรัม ตามลำดับ พบการเข้าอยู่อาศัยของเซลล์แบคทีเรียในช่องว่างรูพรุนของถ่านชีวภาพจำนวนมาก และภายหลังการใส่ลงดินจากการปลูกคะน้าต่อเนื่อง 2 รอบ ยังพบว่ามีเซลล์แบคทีเรียอาศัยภายในช่องว่างรูพรุนของถ่านชีวภาพจำนวนมากเช่นกัน (ภาพที่ 19) (จันจิรา และคณะ, 2560ข) และถ่านชีวภาพยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาหัวเชื้อ *Pseudomonas* ได้นานกว่าหัวเชื้อที่ใช้พีทมอสเป็นวัสดุรองรับ (Glodowska *et al.*, 2016) เช่นเดียวกับรายงานการใช้ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุรองรับเชื้อราไตรโคเดอร์มา สามารถเก็บรักษาเชื้อราให้มีชีวิตอยู่ได้นาน 150 วัน (วุฒิชัย และคณะ, 2560)



ภาพที่ 19 ลักษณะของเซลล์แบคทีเรียในรูพรุนถ่านชีวภาพกลบ (A) ขยาย 4,000 เท่า
(B) ขยาย 8,000 เท่า

ที่มา: จันจิรา และคณะ (2560ข)

(5.4) การเจริญเติบโตและผลผลิตพืช จากการใช้ประโยชน์ถ่านชีวภาพ มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก โซเดียม และแมกนีเซียม ที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร ซึ่งถ่านชีวภาพมีสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุและอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส (ตารางที่ 84) จากสมบัติข้างต้นของถ่านชีวภาพสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช สามารถสรุปการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ สำหรับการผลิตพืช ได้แก่ ข้าว (ตารางที่ 85) ข้าวโพด และถั่วต่าง ๆ (ตารางที่ 86) และพืชผัก (ตารางที่ 87)

ตารางที่ 84 สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ

ชนิดถ่าน ชีวภาพ ¹	อุณหภูมิ (°C)	pH	เปอร์เซ็นต์							CEC cmol kg ⁻¹	C/N ratio	เปอร์เซ็นต์		H/C ratio	O/C ratio	SSA m ² g ⁻¹
			C	N	P	S	Ca	Mg	K			OM	Ash			
เปลือกถั่วลิสง	300	7.80	68.3	1.91	-	0.09	-	-	-	-	-	-	1.20	0.67	0.29	3.10
เปลือกถั่วลิสง	500	8.60	82.0	2.70	0.30	0.10	-	-	-	-	30.37	-	9.30	0.44	0.03	200
ซากอ้อย	< 500	8.63	74.0	1.00	0.24	-	0.17	0.32	2.00	69.60	74.02	87.80	12.20	0.42	0.23	92.30
เปลือกส้ม	< 500	8.75	66.4	2.13	0.25	-	1.04	0.28	1.86	68.30	31.20	88.80	11.20	0.65	0.32	0.20
มูลโค	380	8.20	62.1	0.10	-	-	-	-	-	39.00	621	-	25.60	1.90	0.27	-
กากตะกอน	380	8.50	38.3	5.20	-	-	-	-	-	0.50	7.37	-	44.90	0.94	0.25	-
ซังข้าวโพด	350	9.39	60.4	1.20	-	-	-	-	-	419	51.00	-	11.40	0.75	0.29	293
	600	9.42	70.6	1.07	-	-	-	-	-	252	66.00	-	16.70	0.39	0.10	527
ต้นข้าวโพด	400	9.60	51.1	1.34	0.25	-	-	-	1.34	-	38.10	-	-	-	-	-
	500	10.10	48.4	0.55	0.44	-	-	-	2.65	-	88.00	-	-	-	-	-
ฟางข้าวสาลี	425	10.40	46.7	0.59	-	-	1.00	0.60	2.60	-	79.20	-	20.80	-	-	-
ซากโกโก้	500	10.30	84.4	1.02	0.03	0.27	0.06	2.30	-	-	82.80	-	15.90	0.41	0.10	13.70
ถ่านมะพร้าว	< 500	8.86	76.5	0.20	-	-	-	-	-	-	427	-	2.90	0.12	-	-
ไม้สน	< 500	8.47	53.2	0.40	-	-	-	-	-	-	143	-	65.70	0.35	-	-
ยูคาลิปตัส	350	7.00	82.4	0.57	0.06	0.03	-	-	-	4.69	144	-	0.20	-	0.12	-
ไม้เนื้อแข็ง	600	-	63.8	0.22	-	0.01	-	-	-	-	290	-	22.80	0.60	0.14	1.00
ฟางข้าว ¹	-	9.68	540	10.5	1.20	-	4.50	6.20	2.40	8.20	51.40	-	-	-	-	-

ที่มา: Ahmad *et al.* (2014); ¹ ดัดแปลงมาจาก Shenbagavalli and Mahimairaja (2012)

ตารางที่ 85 การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ จากการทดลองสำหรับการปลูกข้าว

ชนิดถ่านชีวภาพ	ชนิดของดิน	อัตราถ่านชีวภาพ	การตอบสนองของพืช	แหล่งที่มา
ไม้	ดินกรด	1.76 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยคอก	ข้าวฟ่างและข้าวที่ได้รับถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยคอก มีผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน	Yamato <i>et al.</i> (2006) ประเทศอินโดนีเซีย
ไม้	ดินกรด	1.26 ตันต่อไร่	มวลชีวภาพของข้าวเพิ่มขึ้น 115 - 320 เปอร์เซ็นต์	Nehls (2002) ประเทศบราซิล
เปลือกข้าว	ดินเหนียวปน ทราย	1.60 ตันต่อไร่	การใส่ถ่านชีวภาพทำให้ความสูง น้ำหนักแห้งลำต้น ราก การแตกกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เพิ่มขึ้น	วิชุดา (2556) ประเทศไทย
ไม้ไผ่/แกลบ	ดินกรด ดินร่วนปนทราย	1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	ผลผลิตข้าวในแปลงที่ได้รับถ่านชีวภาพทั้งสองชนิด ไม่มีความแตกต่างกับข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว	เสาวคนธ์ (2557) ประเทศไทย
แกลบ	ดินร่วนเหนียว ปนทราย	1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับ การใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์	ปลูกข้าวแบบขังน้ำ เพิ่มการสะสม อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด 2.02 เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์คาร์บอนของดิน 1.85 เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์วัตถุของดิน 3.19 เปอร์เซ็นต์	ชฎาภา (2564) ประเทศไทย

ตารางที่ 86 การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ จากการทดลองสำหรับข้าวโพด และถั่วต่าง ๆ

ชนิดถ่านชีวภาพ	ชนิดของดิน	อัตราถ่านชีวภาพ	การตอบสนองของพืช	แหล่งที่มา
แกลบ	ดินทราย ดินกรด	1.60 ต้นต่อไร่	การตรึงไนโตรเจน การเจริญเติบโต และผลผลิตถั่วเหลือง เพิ่มขึ้นที่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ	Oka <i>et al.</i> (1993) ประเทศไทย
ไม้	ดินกรด	90 กรัมต่อกิโลกรัมดิน ร่วมกับปุ๋ยเคมี	ผลผลิตถั่วเพิ่มขึ้น 46 เปอร์เซ็นต์	Rondon <i>et al.</i> (2007) ประเทศโคลัมเบีย
ไม้	ดินกรด	0.12 - 3.20 ต้นต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ	ผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์	Major <i>et al.</i> (2010) ประเทศโคลัมเบีย
เปลือกไม้	ดินกรด	2.40 ต้นต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี	ผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว	Yamato <i>et al.</i> (2006) ประเทศอินโดนีเซีย
ไม้	ดินกรด	0.96 ต้นต่อไร่	ผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้นมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์	Kimetu <i>et al.</i> (2008) ประเทศเคนยา
ไม้เนื้ออ่อน	ดินกรด	1.60 ต้นต่อไร่ อย่างเดียว และ ร่วมกับปุ๋ยเคมี	ผลผลิตข้าวโพดและถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมี	Katterer <i>et al.</i> (2019) ประเทศเคนยา
แกลบ	ดินกรด	1 ต้นต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยหมัก	การใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบร่วมกับปุ๋ยคอก ทำให้ ข้าวโพดหวานมีความสูง ความยาวฝัก เส้นผ่าศูนย์กลางฝัก น้ำหนักฝักสด ผลผลิตรวมต่อไร่ และความหวานของฝักสดสูงที่สุด	เจษฎา และคณะ (2561) ประเทศไทย

ตารางที่ 87 การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ จากการทดลองสำหรับพืชผัก

ชนิดถ่านชีวภาพ	ชนิดของดิน	อัตราถ่านชีวภาพ	การตอบสนองของพืช พืชผัก	แหล่งที่มา
เปลือกข้าว	ดินเปรี้ยวจัด	3 ต้นต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยซีไค 1 ต้นต่อไร่	เพิ่มผลผลิตขมิ้นชัน 1,800 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ใช้ถ่านชีวภาพผลผลิต 1,550 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มความเป็นกรดเป็นด่างของดิน อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมในดิน	บรรเจิดลักษณ์ และ นวลจันทร์ (2560) ประเทศไทย
แกลบ	ดินด่าง	ไบโอชาร์แกลบตรึงเซลล์ปุ๋ย ชีวภาพ พด. 12 อัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์	เพิ่มความสูงต้น ความเขียวใบ ขนาดพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งต้นของคะน้า ผลผลิตคะน้า 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ ใกล้เคียงกับ การใส่ปุ๋ยเคมี 4,032 กิโลกรัมต่อไร่ ลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ 25 เปอร์เซ็นต์	จันจิรา และคณะ (2560ข) ประเทศไทย
ถ่านชีวภาพ	ดินทราย	800 กิโลกรัมต่อไร่	คะน้ามีการเจริญเติบโต และผลผลิตสูงขึ้น	เกศศิริรินทร์ และคณะ (2557) ประเทศไทย
ไม้ยูคาลิปตัส	ดินกรด	1,000 - 2,000 กิโลกรัมต่อไร่	ผลผลิตของผักสลัดกรีนคอสไม่แตกต่างกับ การใส่ปุ๋ยคอกที่อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัสในดิน	เกศศิริรินทร์ และคณะ (2558) ประเทศไทย

(6) การผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

(6.1) วัสดุที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ สามารถหาได้ในแต่ละท้องถิ่น ได้แก่ ประเภทไม้โตเร็ว ไม้กระถิน นนทรี จามจุรี หางนกยูง ชี้เหล็ก สะเดา สน ไม้ไผ่ และยูคาลิปตัส เป็นต้น ประเภทไม้ผลที่สามารถใช้ได้ทั้งกิ่งก้านและเปลือกผลไม้ ได้แก่ มังคุด ทุเรียน เงาะ มะม่วง และกระท้อน เป็นต้น หรือวัสดุทางการเกษตร เช่น แกลบ ชังข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง ฟางข้าว และเห้งน้ำมันสำปะหลัง เป็นต้น มูลสัตว์ที่แห้งแล้ว เช่น มูลโค มูลแพะ และมูลไก่ เป็นต้น และวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น กากตะกอน และกากชานอ้อย เป็นต้น

(6.2) แบบเตาเผาถ่านชีวภาพ

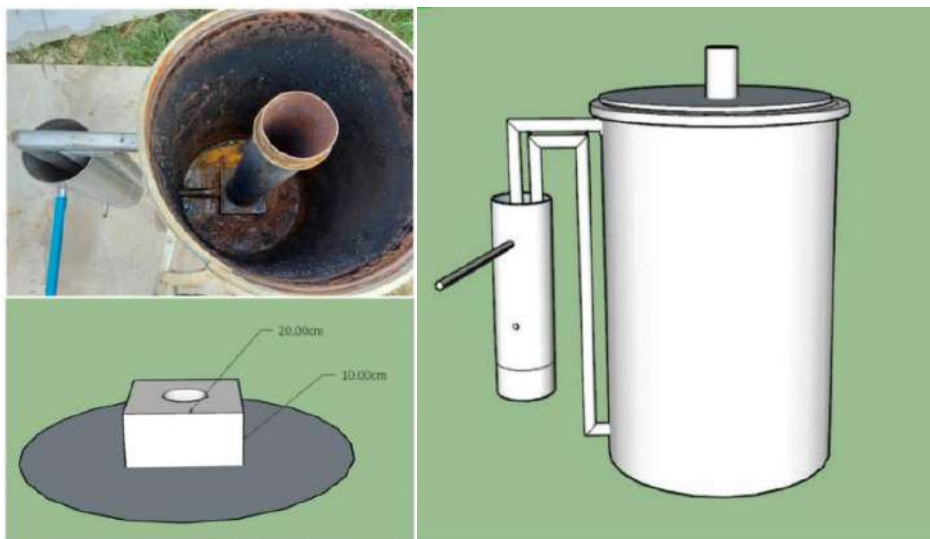
(6.2.1) แบบเตาเผาไบโอชาร์แบบตั้ง ขนาดบรรจุ 50 ลิตร (ภาพที่ 20) ใส่เศษซากพืชในช่องวงนอก ส่วนช่องท่อกวางตรงกลางถึงใส่เศษพืช เช่น กิ่งไม้แห้ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ควรเกิน 1 นิ้ว ให้ความร้อนประมาณ 350 องศาเซลเซียส ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์แบบเตา เบ็บซี (BEBEC Stove) เป็นเตาพลังงานชีวมวลผลิตแก๊สหุงต้มระดับครัวเรือน



ภาพที่ 20 แบบเตาเผาไบโอชาร์แบบตั้ง ขนาดบรรจุ 50 ลิตร

ที่มา: อรสา (2558)

(6.2.2) แบบเตาเผาไบโอชาร์แบบตั้ง ขนาดบรรจุ 250 ลิตร ใช้เศษซากพืชประมาณ 35 กิโลกรัมต่อครั้ง หลังจากผ่านกระบวนการไพโรไลซิส ประมาณ 4 ชั่วโมง ได้ผลผลิตไบโอชาร์ประมาณ 10 กิโลกรัม และน้ำส้มควันไม้ (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 แบบเตาเผาไบโอชาร์แบบตั้ง ขนาดบรรจุ 250 ลิตร

ที่มา: Burnette (2013)

(6.2.3) แบบเตาเผาไบโอชาร์ขนาดอุตสาหกรรม (ภาพที่ 22)

ใช้วัสดุเหลือทางการเกษตร หรือกากตะกอนอุตสาหกรรมเกษตร ขนาดบรรจุ 12 - 40 ลูกบาศก์เมตร ได้ผลผลิตถ่านชีวภาพจะอยู่ที่ประมาณ 1 : 3 เช่น การผลิตถ่านกะลามะพร้าวจะได้รับถ่านชีวภาพ 280 ถึง 330 กิโลกรัม จากกะลามะพร้าว 1,000 กิโลกรัม



ภาพที่ 22 แบบเตาเผาไบโอชาร์ขนาดอุตสาหกรรม

ที่มา: บริษัท เบสตัน กรุ๊ป จำกัด (2567)

(6.3) ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการไพโรไลซิสสำหรับผลิตถ่านชีวภาพ กระบวนการไพโรไลซิสสำหรับการผลิตถ่านชีวภาพเป็นที่นิยมในการผลิตถ่านชีวภาพในหลายประเทศ เพื่อประโยชน์ด้านการค้า และการใช้ประโยชน์ด้านการเกษตร จากการรวบรวมรายงานข้อมูลผลการศึกษาของ Tumuluru *et al.* (2011); Kavitha *et al.* (2018) และ Tomczyk *et al.* (2020) ได้รวบรวมสรุปข้อดีและข้อเสียของกระบวนการไพโรไลซิส สำหรับการผลิตถ่านชีวภาพไว้ (ตารางที่ 88) ดังต่อไปนี้

(6.3.1) ข้อดีของถ่านชีวภาพที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส

ถ่านชีวภาพที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส องค์ประกอบของถ่านชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำไม่เหมาะสมสำหรับเป็นพลังงานเชื้อเพลิง มีองค์ประกอบของแหล่งคาร์บอนคงตัวสูง มีค่าความหนาแน่นน้อย มีรูพรุนสูง และพื้นที่ผิวของวัสดุมาก มีองค์ประกอบธาตุอาหาร ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ซึ่งวัสดุบางชนิดมีองค์ประกอบของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง สามารถกำหนดคุณสมบัติของถ่านชีวภาพได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุ และการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส เช่น อุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ทำให้องค์ประกอบคาร์บอนคงตัวสูงมีพื้นที่ผิวจะรูพรุนมาก ตัวอย่างเช่น ถ่านชีวภาพเปลือกถั่วเผาที่อุณหภูมิไพโรไลซิสที่ 300 และ 500 องศาเซลเซียส มีค่าคาร์บอน 68.3 และ 82.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ถ่านชีวภาพซังข้าวโพดเผาที่อุณหภูมิไพโรไลซิสที่ 350 และ 600 องศาเซลเซียส มีค่าคาร์บอน 60.4 และ 70.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และถ้าอุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงกว่า 500 องศาเซลเซียส จะลดความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในขณะที่เพิ่มความเข้มข้นของสารอาหารหลัก (Ahmad *et al.*, 2014) ถ่านชีวภาพจึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมเป็นวัสดุปรับปรุงดินทางการเกษตร และมีการใช้ประโยชน์แพร่หลายในประเทศต่าง ๆ เช่น จีน อินเดีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย ออสเตรเลีย และสิงคโปร์ เป็นต้น (Asia Pacific Biochar Market, 2023) และทวีปยุโรป เช่น สหราชอาณาจักร เยอรมนี ฟินแลนด์ สเปน นอร์เวย์ อิตาลี เดนมาร์ก และสวีเดน เป็นต้น (European Biochar Foundation, 2012)

(6.3.2) ข้อเสียของถ่านชีวภาพที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส

ข้อเสียของกระบวนการไพโรไลซิสสำหรับผลิตถ่านชีวภาพ ต้องใช้พลังงานมากในกระบวนการผลิต และได้ผลผลิตถ่านชีวภาพน้อย เช่น อุณหภูมิไพโรไลซิสแบบช้าที่ 250 - 500 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตถ่านชีวภาพประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุ และอุณหภูมิไพโรไลซิสแบบเร็วที่ 400 - 600 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตถ่านชีวภาพประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุ ได้มวลถ่านชีวภาพน้อยกว่า เนื่องจากใช้อุณหภูมิสูงเกิดการสลายตัวเป็นแก๊ส และน้ำมันชีวภาพ อีกทั้งมีต้นทุนการผลิตและค่าขนส่งต่อหน่วยสูงขึ้น เนื่องจากสมบัติของถ่านชีวภาพมีน้ำหนักเบา

ตารางที่ 88 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการไพโรไลซิสสำหรับการผลิตถ่านชีวภาพ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีองค์ประกอบธาตุอาหาร ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์	1. ใช้พลังงานมาก
2. แหล่งคาร์บอนคงตัวสูง	2. ได้ผลผลิตถ่านชีวภาพน้อย ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุ
3. ความหนาแน่นน้อย รูพรุนสูง และพื้นที่ผิวมาก	3. มีต้นทุนค่าขนส่งต่อหน่วยสูง
4. ค่าความร้อนต่ำ	
5. สามารถกำหนดคุณสมบัติของถ่านชีวภาพได้ ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุ และการควบคุมอุณหภูมิในการเผา	
6. เป็นวัสดุบำรุงดินทางการเกษตรและเป็นที่ยอมรับในหลายประเทศ	

ที่มา: Tumuluru *et al.* (2011); Kavitha *et al.* (2018) และ Tomczyk *et al.* (2020)

(7) เทคโนโลยีทอร์รีแฟคชัน

(7.1) นิยาม

ทอร์รีแฟคชัน (torrefaction) หมายถึง กระบวนการปรับปรุงคุณภาพและการเปลี่ยนรูปชีวมวล โดยกระบวนการทางเคมีความร้อน โดยให้ความร้อนแก่ชีวมวลในสภาวะไร้ออกซิเจน หรือจำกัดออกซิเจน (อากาศ) ในช่วงอุณหภูมิ 200 - 300 องศาเซลเซียส และมีอัตราการให้ความร้อนต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียสต่อนาที ใช้ระยะเวลาประมาณ 30 - 120 นาที ทำให้สมบัติต่าง ๆ ของชีวมวลดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทอร์รีแฟคชัน ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จะมีสถานะเป็นของแข็ง ส่วนที่เหลือจะมีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ (Bach and Skreiberg, 2016; Tumuluru *et al.*, 2011)

ถ่านทอร์รีไฟด์ (torrefied biomass) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้จากกระบวนการทอร์รีแฟคชัน มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ และมีความมันเงา (นันทปรีชา, 2562)

(7.2) กระบวนการทอร์รีแฟคชันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของชีวมวลตามช่วงอุณหภูมิ ซึ่งมี 5 ขั้นตอนในการผลิต ได้แก่ (1) ช่วงให้ความร้อนเริ่มต้น (2) ช่วงระเหยความชื้น (3) ช่วงหลังระเหยความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิ (4) ช่วงทอร์รีแฟคชัน และ (5) ช่วงลดอุณหภูมิ (Tumuluru *et al.*, 2011) รายละเอียดดังนี้

ช่วงที่ 1 ช่วงให้ความร้อนเริ่มต้น (initial heating) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่ชีวมวลได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ความชื้นเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากการระเหยของความชื้นที่บริเวณผิวนอก

ช่วงที่ 2 ช่วงการลดความชื้น หรือการอบแห้งบางส่วนของวัสดุ (pre - drying) ช่วงนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ประมาณ 100 - 105 องศาเซลเซียส ความชื้นส่วนใหญ่ในชีวมวลถูกระเหยออกไป ทำให้ปริมาณความชื้นลดลงมาก ในขณะที่การใช้พลังงานความร้อนเพิ่มสูงขึ้น

ช่วงที่ 3 ช่วงการลดความชื้น หรือการอบแห้งส่วนสุดท้าย และเพิ่มอุณหภูมิของชีวมวล (post drying and intern heating) ช่วงนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 100 - 200 องศาเซลเซียส ความชื้นภายในผนังเซลล์ของชีวมวลถูกระเหยหมด และมีสารระเหยบางส่วนเริ่มระเหยออกจากชีวมวล ในขณะที่พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากช่วงก่อนหน้า ซึ่งจะสังเกตได้จากช่วงที่ 1 - 3 นั้น มวลแห้งของชีวมวลค่อนข้างคงที่ตลอดการเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากในช่วงดังกล่าวเป็นช่วงการระเหยความชื้นและการเพิ่มอุณหภูมิเป็นหลัก

ช่วงที่ 4 ช่วงทอรรีแฟกชันจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยช่วงได้รับความร้อน (heating period) ช่วงอุณหภูมิคงที่ (constant temperature period) และช่วงเย็นตัว (cool period) การดีโวลาทิลไลเซชัน (devolatilization) จะเกิดขึ้นในช่วงได้รับความร้อนและช่วงอุณหภูมิคงที่ โดยหยุดการปลดปล่อยสารระเหยในระหว่างช่วงเย็นตัว หรืออาจหยุดหลังช่วงเย็นตัว เมื่อขั้นตอนแรกสิ้นสุดลง ชีวมวลถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิทอรรีแฟกชันที่เรียกว่า ขั้นตอนการทำความร้อนชั้นกลาง อุณหภูมิของชีวมวลถูกรักษาให้คงที่ในช่วง 200 - 300 องศาเซลเซียส ในระหว่างช่วงเวลาการสลายตัวทางความร้อน เฮมิเซลลูโลสจะสลายตัวในสารชีวมวลดิบในช่วงอุณหภูมิ 200 - 250 องศาเซลเซียส ต่อมาลิกนินและบางส่วนของเซลลูโลสจะสลายตัวที่อุณหภูมิ 270 - 300 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 5 ผลิตภัณฑ์ของแข็งเย็นตัว (cooling) จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ลดลงจนถึงอุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะจำกัดแก๊สออกซิเจน หรืออับอากาศไม่มีการปลดปล่อยสารระเหย แต่มีการระเหยของสารระเหย ซึ่งผลิตภัณฑ์ของแข็งอาจดูดซับไว้

(7.3) ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการทอรรีแฟกชัน สำหรับการผลิตถ่านทอรรีไฟต์ที่นิยมผลิตถ่านพลังงานเชื้อเพลิง และจากการรวบรวมข้อมูลผลการศึกษาศึกษาของ Tumuluru *et al.* (2011); Bach and Skreiberg (2016) และ Baldi *et al.*, (2020) ได้รวบรวมและสรุปข้อดีและข้อเสียของกระบวนการทอรรีแฟกชัน สำหรับผลิตถ่านทอรรีไฟต์ไว้ (ตารางที่ 89) ดังต่อไปนี้

(7.3.1) ข้อดีของถ่านทอร์รีไฟด์ที่ผ่านกระบวนการทอร์รีแฟคชัน

การผลิตถ่านทอร์รีไฟด์ที่ผ่านกระบวนการทอร์รีแฟคชัน

จะใช้พลังงานน้อย ใช้ความร้อนช่วงอุณหภูมิ 200 - 300 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการไพโรไลซิส แต่ได้ผลผลิตมวลถ่านทอร์รีไฟด์สูงประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุ ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุ ซึ่งถ่านทอร์รีไฟด์มีค่าความร้อนสูงเหมาะสมเป็นพลังงานเชื้อเพลิงมีคุณภาพเทียบเท่าถ่านหินลิกไนต์ และมีองค์ประกอบของธาตุอาหาร ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ เช่นเดียวกับถ่านชีวภาพ ขณะที่ถ่านทอร์รีไฟด์มีต้นทุนการผลิตและค่าขนส่งต่อหน่วยต่ำสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อปรับปรุงดิน เพิ่มความสามารถอุ้มน้ำ และไม่มีผลกระทบเชิงลบกับจุลินทรีย์ในดิน

(7.3.2) ข้อเสียของถ่านทอร์รีไฟด์ที่ผ่านกระบวนการทอร์รีแฟคชัน

ถ่านทอร์รีไฟด์มีองค์ประกอบของแหล่งคาร์บอนคงตัว

น้อยกว่าถ่านชีวภาพ และมีค่าความหนาแน่นมาก จึงมีผลต่อรูพรุนและพื้นที่ผิวของวัสดุน้อยลง มีปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่าถ่านชีวภาพที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส ตัวอย่างเช่น ถ่านทอร์รีไฟด์จากหญ้าเนเปียที่ผ่านกระบวนการทอร์รีแฟคชันที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบไนโตรเจน 0.75 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.34 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 1.97 เปอร์เซ็นต์ มีองค์ประกอบของธาตุอาหารต่ำกว่าถ่านชีวภาพที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบไนโตรเจน 0.80 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.57 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 2.90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ่านทอร์รีไฟด์เป็นการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีสารระเหยสูงกว่าถ่านชีวภาพ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบจากการใช้ถ่านทอร์รีไฟด์ต่อการเจริญเติบโตของพืชและสิ่งมีชีวิตในดิน และด้านการใช้ประโยชน์สำหรับการบำรุงดินทางการเกษตร

ตารางที่ 89 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการทอร์รีแฟคชันสำหรับผลิตถ่านทอร์รีไฟด์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ใช้พลังงานน้อย	1. มีองค์ประกอบธาตุอาหารน้อยกว่า
2. ช่วงอุณหภูมิ 200 - 300 องศาเซลเซียส	ถ่านชีวภาพ
3. ได้ผลผลิตถ่านทอร์รีไฟด์สูง ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุ	2. แหล่งคาร์บอนคงตัวน้อยกว่า ถ่านชีวภาพ
4. ค่าความร้อนสูงเหมาะสมเป็นพลังงาน เชื้อเพลิง มีคุณภาพเทียบเท่าถ่านหินลิกไนต์	3. ความหนาแน่นมาก รูพรุน และ พื้นที่ผิวน้อยกว่าถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 89 (ต่อ)

ข้อดี	ข้อเสีย
5. มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน	4. ใช้ประโยชน์บำรุงดินทางการเกษตร ยังน้อย
6. มีองค์ประกอบของธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และซัลเฟอร์	
7. มีต้นทุนการผลิตและค่าขนส่งต่อหน่วยต่ำ	

ที่มา: Tumuluru *et al.* (2011); Bach and Skreiberg (2016) และ Baldi *et al.* (2020)

(7.4) สมบัติของถ่านทอร์รีไฟด์เปรียบเทียบกับถ่านชีวภาพ

ถ่านทอร์รีไฟด์ที่ผ่านกระบวนการทอร์รีแฟคชัน มีสมบัติดังนี้ ความชื้น 1 - 5 เปอร์เซ็นต์ สารระเหย 55 - 65 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนคงตัว 28 - 35 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น 0.75 - 0.85 กิโลกรัมต่อลิตร ค่าความหนาแน่นของพลังงานเชิงปริมาตร 15.00 - 18.70 จิกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และไม่ย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านชีวภาพ จากกระบวนการไพโรไลซิส มีสมบัติประกอบด้วยความชื้น 1 - 5 เปอร์เซ็นต์ สารระเหย 10 - 12 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนคงตัวสูง 85 - 87 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่นต่ำ 0.20 กิโลกรัมต่อลิตร และมีค่าความหนาแน่นของพลังงานเชิงปริมาตรต่ำ 6.0 - 6.4 จิกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร (Tumuluru *et al.*, 2011; ฦชาภัทร, 2562) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบองค์ประกอบธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ พบว่า ถ่านชีวภาพมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าถ่านทอร์รีไฟด์ ซึ่งทั้งถ่านชีวภาพและถ่านทอร์รีไฟด์มีความคงทนต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ แต่ถ่านชีวภาพอาจมีค่าขนส่งสูงกว่าถ่านทอร์รีไฟด์ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีรูพรุนและช่องว่างภายในวัสดุสูง ส่งผลให้น้ำหนักมวลรวมของถ่านชีวภาพมีน้ำหนักเบา แสดงรายละเอียดสมบัติของถ่านทอร์รีไฟด์เปรียบเทียบกับถ่านชีวภาพ ดังตารางที่ 90

ตารางที่ 90 สมบัติของถ่านทอร์รีไฟต์เปรียบเทียบกับถ่านชีวภาพ

สมบัติ	ถ่านทอร์รีไฟต์	ถ่านชีวภาพ
ความชื้น (%)	1 - 5	1 - 5
สารระเหย (%)	55 - 65	10 - 12
คาร์บอนคงตัว (%)	28 - 35	85 - 87
ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	0.75 - 0.85	0.20
ค่าความหนาแน่นของ	15.00 - 18.70	6.0 - 6.4
พลังงาน (จิกะจูล/ลบ.ม.)		
ไนโตรเจน ¹ (%)	1.25	1.71
ฟอสฟอรัส ¹ (%)	1.14	1.19
โพแทสเซียม ¹ (%)	0.49	1.70
ซิลเฟอร์ ¹ (%)	0.71	1.30
แคลเซียม ¹ (%)	0.11	4.34
แมกนีเซียม ¹ (%)	nd	0.063
เหล็ก ¹ (%)	0.005	0.021
การย่อยสลายทางชีวภาพ	ไม่ได้	ไม่ได้
ต้นทุนการขนส่ง	ต่ำ	สูงกว่า

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Tumuluru *et al.* (2011); ¹นิชากัทร (2562)

4.3.6 การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินและการผลิตพืช

การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินด้วยการเพิ่มอินทรีย์วัตถุ และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพื่อให้ดินมีความเหมาะสมต่อการผลิตพืช โดยการกำหนดเป้าหมายในการอนุรักษ์และฟื้นฟูคุณภาพดินเพื่อยกระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน จากระดับต่ำให้ขึ้นมาอยู่ในระดับปานกลาง คือ 1.5 เปอร์เซ็นต์ หรือยกระดับอินทรีย์วัตถุในดินในแต่ละปีให้สูงขึ้นกว่าเดิม จากข้อมูลการประเมินปริมาณอินทรีย์คาร์บอน การกักเก็บคาร์บอน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และสถานะความอุดมสมบูรณ์ของดินตามรายภาคของประเทศ และจากการรวบรวมข้อมูลวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เศษพืชเหลือทิ้งหลังจากการเก็บเกี่ยว มูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ และวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร 5 ประเภท ได้แก่ โรงงานอ้อย

โรงงานน้ำมันปาล์ม โรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานเครื่องตีแอลกอฮอล์ และโรงงานแปรรูปอาหารทะเล ทำให้ทราบถึงแหล่ง ชนิด ปริมาณ และองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของวัสดุชนิดต่าง ๆ รวมถึงเทคโนโลยีการนำวัสดุเหลือใช้มาเพิ่มคุณภาพสำหรับบำรุงดินเพิ่มอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืชเพื่อการฟื้นฟูคุณภาพดิน สามารถนำมาใช้ในการส่งเสริมและถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการพัฒนาที่ดิน เป้าหมายการพัฒนาคุณภาพดิน และการผลิตพืช หรือดำรงรักษาคุณภาพดินที่ดีอยู่แล้วให้ดีขึ้น ถือว่าเป็นการจัดการด้านพัฒนาที่ดินที่นำไปสู่ความยั่งยืน

1) การจัดการคุณภาพดินด้วยวิธีการบำรุงดินแบบผสมผสาน

การจัดการคุณภาพดินด้วยวิธีการบำรุงดินแบบผสมผสานใช้วิธีการที่ดีหลายวิธีร่วมกันอย่างเหมาะสมมีหลักการปฏิบัติ (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ดังนี้

(1) ปรับปรุงดินทางเคมีด้วยสารปรับปรุงดิน เช่น ใส่ปูนในดินกรดปรับความเป็นกรดเป็นด่างให้ใกล้เคียง จะช่วยให้ธาตุอาหารเดิมในดินและปุ๋ยที่ใช้มีความเป็นประโยชน์สูง

(2) ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ ด้วยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์รวมกับการไถพรวนที่เหมาะสม เพื่อเอื้ออำนวยให้รากพืชแผ่ขยายได้ดีทั้งแนวราบและแนวตั้ง

(3) มีการอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างเหมาะสม ด้วยวิธีการทางพืช เช่น ใช้ระบบการปลูกพืชหมุนเวียนและปลูกพืชคลุมดินร่วมกับวิธีการเชิงกล เช่น การไถพรวนตามแนวระดับ และใช้มาตรการอื่น ๆ ตามความจำเป็น เพื่อลดการสูญเสียดินและน้ำ

(4) ใส่ปุ๋ยเคมีเพื่อเสริมธาตุอาหารบางธาตุที่ยังไม่เพียงพอ ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินสูงเหมาะสมกับความต้องการของพืชที่ปลูก ซึ่งการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับการปลูกพืชแต่ละชนิด

ดังนั้นการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินและการผลิตพืช ควรใช้วิธีการบำรุงดินแบบผสมผสานรวมกับการพิจารณาวิธีการจัดการคุณภาพดินที่เหมาะสม นำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมสำหรับดินชนิดต่าง ๆ เช่น พื้นที่ดินเปรี้ยวจัด ดินกรด ดินอินทรีย์ ดินเค็ม ดินทราย และดินตื้น เป็นต้น

2) การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินเปรี้ยวจัด ดินกรด และดินอินทรีย์

(1) การจัดการฟื้นฟูคุณภาพดินเปรี้ยวจัด ดินกรด และดินอินทรีย์

(1.1) ดินเปรี้ยวจัด

สภาพปัญหาของดินเปรี้ยวจัด คือ ดินมีความเป็นกรดรุนแรงมากถึงเป็นกรดจัดมาก มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 4.0 - 5.0 ทำให้ดินขาดธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสขาดอย่างรุนแรง เนื่องจากฟอสฟอรัสถูกตรึงให้อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชต่ำ

มีเหล็กและอะลูมิเนียมละลายออกมาจนเป็นพิษต่อพืชที่ปลูก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ก) การปรับปรุงคุณภาพดินในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด จึงควรมีการจัดการดินด้วยการใส่ปูนทางการเกษตร เช่น ปูนมาร์ล โดโลไมท์ และปูนขาว เป็นต้น เพื่อยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน หรือในพื้นที่ใกล้แหล่งถ้ำล่อยโรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน โดยถ้ำล่อยมีสมบัติเป็นด่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 10.10 การใส่เถ้าถ่านเพื่อปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างเป็น 6.50 โดยต้องทำการหาค่าสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate equivalent) ของเถ้าถ่านก่อน เพื่อคำนวณปริมาณที่ต้องใส่สามารถยกระดับทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเป็น 6.70 สูงขึ้นจาก 4.82 มีความเป็นกรด และอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง ธาตุอาหารพืชในรูปที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น (อิสริยาภรณ์, 2562) หรือในพื้นที่ใกล้แหล่งถ่านชีวภาพ เช่น จากรายงานการใช้ถ่านกลบ อัตรา 3 ตันต่อไร่ เพื่อปรับปรุงดินกรด สามารถช่วยเพิ่มความเป็นกรดเป็นด่างของดิน อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมในดิน (บรรเจิดลักษณ์ และ นวลจันทร์, 2560) และควรมีการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินโดยใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด เป็นต้น โดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต หรือการเพิ่มปริมาณฟอสเฟตให้กับดินเปรี้ยวจัดเป็นสิ่งที่จำเป็นในการปลูกพืชช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น และให้ผลผลิตสูงขึ้น และควรใส่ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน และปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต และเพิ่มไนโตรเจน เช่น ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา จุลินทรีย์ซูเปอร์ พด. 9 เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด ดินเปรี้ยว และปุ๋ยชีวภาพผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืชเป็นผลิตภัณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน ในกรณีดินพื้นที่เกษตรทิ้งร้างเปล่า ควรมีการคลุมดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น ฟาง แกลบ ใบอ้อย ชานอ้อย และขี้เลื่อย เป็นต้น หรือการคลุมดินด้วยการปลูกพืชปุ๋ยสด เช่น ปอเทือง และพืชตระกูลถั่วคลุมดิน ควรใส่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมเพิ่มไนโตรเจน เพื่อรักษาหน้าดินลดการชะล้างพังทลายของหน้าดินจากฝน และเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน

(1.2) ดินกรด

สภาพปัญหาของดินกรดที่มีปัญหาทางการเกษตร คือ ดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 5.5 ทำให้ธาตุอาหารโดยเฉพาะฟอสฟอรัสถูกตรึงในดิน มีผลให้พืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ และจุลธาตุบางชนิดปลดปล่อยออกมาจนทำให้เป็นพิษต่อพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก) ดังนั้นสำหรับการปลูกพืชในพื้นที่ดินกรด จึงควรมีการจัดการดินด้วยการใส่ปูนทางการเกษตร หรือการใส่วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรที่มีสมบัติเป็นด่าง รวมทั้งต้องเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน และการคลุมดินด้วยวัสดุอินทรีย์ หรือพืชคลุมดิน จะช่วยรักษาความชื้นในดินป้องกันการชะละลายหน้าดิน เช่นเดียวกับดินเปรี้ยวจัด

(1.3) ดินอินทรีย์

สภาพปัญหาของดินอินทรีย์ คือ อินทรีย์วัตถุจะเกาะตัวกันอย่างหลวม ๆ ยึดหยุ่นและลอยน้ำ เมื่อระบายน้ำออกไป และดินแห้งทำให้ดินยุบตัวมาก จะพบปัญหาดินเปรี้ยวจัดด้วยดินและน้ำเป็นกรดจัดมาก เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร ขาดธาตุอาหาร และเกิดความเป็นพิษของเหล็กและอะลูมิเนียม จึงควรมีการจัดการดินด้วยการใส่ปูนทางการเกษตร หรือการใส่วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรที่สมบัติเป็นด่าง เช่นเดียวกับดินเปรี้ยวจัด รวมกับวิธีการควบคุมระดับน้ำเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การใส่ปูน และการใส่ปุ๋ย เป็นต้น

(2) การจัดการฟื้นฟูคุณภาพดินสำหรับพืชประเภทต่าง ๆ

(2.1) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกข้าว

ข้าวมีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.8 - 7.0 ดังตารางที่ 91 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543) ดังนั้นในพื้นที่ปลูกหากสมบัติดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าช่วงดังกล่าว จึงควรมีการจัดการดินเพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน ดังนี้

(2.1.1) ยกระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้เหมาะสมด้วยการใส่ปูนทางการเกษตร เช่น ปูนมาร์ล โดโลไมท์ และปูนขาว เป็นต้น เพื่อยกระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน หรือในพื้นที่ใกล้แหล่งเฝ้าล่อยจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน โดยเฝ้าล่อยมีสมบัติเป็นด่างมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 10.1 และการใส่เฝ้าล่อยเพื่อปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างเป็น 6.5 จะต้องทำการหาค่าสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate equivalent) ของเฝ้าล่อย ก่อนที่จะนำมาใช้ เพื่อคำนวณปริมาณที่ต้องใส่ สามารถยกระดับทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน หรือการใส่เฝ้าล่อยชีวภาพ อัตรา 500 - 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ อาจใส่เพียงครั้งเดียว หรือแบ่งใส่หลายครั้ง ช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (อิสริยาภรณ์, 2562)

(2.1.2) ไกลบตอซึ่งข้าวภายหลังการเก็บเกี่ยวร่วมกับการใช้น้ำหมักชีวภาพ อัตรา 5 ลิตรต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ 2) เทคโนโลยีการหมักด้วยการไกลบ

(2.1.3) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง และจากรายงานการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง อัตรา 240 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโต ความสูง จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และน้ำหนักเมล็ดข้าว (พนิดา และคณะ, 2551)

(2.1.4) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ต้องนำปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 จำนวน 1 ของ ผสมกับรำข้าวในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที

รตสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พต. 12 ลงบนกองน้ำปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมัก และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูกพืช เพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมี หรือใส่จุลินทรีย์ซูปเปอร์ พต. 9 เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด และดินเปรี้ยว เป็นผลิตภัณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วย แบคทีเรีย *Burkholderia* sp. วิธีการใช้ต้องนำจุลินทรีย์ซูปเปอร์ พต. 9 ไปขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และรำละเอียด 3 กิโลกรัม โดยผสมปุ๋ยหมัก และรำละเอียดให้เข้ากัน ละลายจุลินทรีย์ซูปเปอร์ พต. 9 จำนวน 1 ของ ในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากัน นาน 5 นาที รตสารละลายจุลินทรีย์ซูปเปอร์ พต. 9 ลงบนกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นกองปุ๋ยหมักไว้ในที่ร่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้ทันที โดยใช้อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านให้ทั่วพื้นที่ในช่วงการเตรียมดินปลูกคลุกเคล้ากับดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค) และจากรายงานการใช้จุลินทรีย์ผลิตภัณฑ์ 5 - อะมิโนลิควิลิก ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว โดยใช้ผงเชื้อ 25 กรัม ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม ผสมรำข้าวละเอียด 3 กิโลกรัม ปรับความชื้นด้วยน้ำให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ กองไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 4 วัน นำไปใส่ในแปลงช่วงเตรียมดิน อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในดินกรด ให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 827.18 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (จันจิรา และคณะ, 2563)

(2.1.5) ใส่ปุ๋ยหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้น้ำหมักชีวภาพมี 2 วิธี คือ ราดลงดิน และฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 500 ใช้ 100 ลิตรต่อไร่ ในช่วงปักดำหรืออายุ 30 วัน และระยะเกิดช่อดอก ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของรากพืช การขยายตัวของใบ รวมถึงการยืดตัวของลำต้น เพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด ส่งเสริมการออกดอกและติดผลดีขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.1.6) ปลูกพืชปุ๋ยสดคลุมดิน เช่น ถั่วพุ่ม ถั่วพราง ปอเทือง โสนอัฟริกัน หรือพืชคลุมดินตระกูลถั่ว ร่วมกับการใช้จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พต. 11 โสนอัฟริกัน หรือปอเทือง ของกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วยไรโซเบียมที่มีความเฉพาะเจาะจงกับพืชปุ๋ยสด และจุลินทรีย์ละลายสารประกอบฟอสเฟต วิธีการใช้ทำการขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม ผสมกับรำข้าว 1 กิโลกรัม ปรับความชื้นด้วยน้ำ 70 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งไว้ 4 วัน นำไปหว่านปุ๋ยให้ทั่วพื้นที่ปลูก หรือโรยในแถวร่องปลูก 100 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วปลูกโสนอัฟริกันหรือปอเทือง ให้หว่านเมล็ดโสนอัฟริกันที่แช่น้ำแล้ว 1 คืบ อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ไถกลบเมื่อระยะออกดอก แล้วปล่อยให้ย่อยสลายประมาณ 2 สัปดาห์ แล้วจึงปลูกข้าว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.2) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกพืชไร่

พืชไร่แต่ละชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีสมบัติดินในช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมแตกต่างกัน เช่น อ้อย มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.0 - 7.5 ถั่วเหลือง และข้าวโพด มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5.5 - 7.0 และมันสำปะหลัง มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.5 - 8 เป็นต้น ดังตารางที่ 91 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543) ดังนั้นพื้นที่ปลูกหากดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าช่วงดังกล่าว จึงควรมีการจัดการดินเพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน

(2.2.1) ยกกระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้เหมาะสมด้วยการใส่ปูนทางการเกษตร เช่น ปูนมาร์ล โดโลไมท์ และปูนขาว เป็นต้น เพื่อยกระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน หรือใช้เถ้าลอยโรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน หรือใช้ถ่านชีวภาพ เช่น ฟืนที่นาข้าว

(2.2.2) โกลบเศษพืชภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ 2) เทคโนโลยีการหมักด้วยการโกลบ

(2.2.3) เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินด้วยการใส่ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอก 2 - 4 ตันต่อไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค) หรือการใช้วัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น การใส่กากมันสำปะหลัง หรือกากตะกอนยีสต์ อัตรา 1 - 2 ตันต่อไร่ ช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดิน (นทีทิพย์ และคณะ, 2561; ชัยวัฒน์, 2559)

(2.2.4) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค) ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และการสะสมธาตุอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มสูงขึ้น (จันจิรา และคณะ, 2552) และการจัดการดินด้วยการสับกลบถั่วพรางที่อายุ 50 วัน ทิ้งไว้ 10 วัน แล้วใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวโพดหวานอินทรีย์ที่ปลูกในดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.0 ดินเป็นกรดปานกลาง (จันจิรา และ วรยา, 2558)

(2.2.5) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หวานให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูกพืชปลูกเคล้ากับดิน หรือใส่เป็นแถวตามแนวร่อง หรือใส่จุลินทรีย์ซูเปอร์ พด. 9 เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส โดยใช้อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาของกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกข้าวโพดใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซารองกันหลุมประมาณ 10 กรัม หรือ 1 ช้อนชา พร้อมหยอดเมล็ด ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค) และจากรายงานสำหรับการปลูกข้าวโพดจากการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซารองกันหลุมประมาณ 10 กรัม หรือ 1 ช้อนชา พร้อมหยอดเมล็ด ลดการใช้ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (จันจิรา และคณะ, 2560ก)

(2.2.6) ใส่ปุ๋ยหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้ปุ๋ยหมักฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 500 ใช้อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ สำหรับข้าวโพด ฉีดพ่นช่วงการเจริญเติบโต 30 วัน และ 40 วัน สำหรับอ้อยและมันสำปะหลัง ฉีดพ่นช่วงการเจริญเติบโต 30 วัน และ 90 วัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.2.7) ปลุกพืชปุ๋ยสดคลุมดิน เช่น ถั่วพุ่ม ถั่วพราง ปอเทือง โสนอัฟริกัน หรือพืชคลุมดินตระกูลถั่ว วิธีการใช้จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด. 11 ของกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วยไรโซเบียมที่มีความเฉพาะเจาะจงกับโสนอัฟริกัน ปอเทือง หรือถั่วพราง และจุลินทรีย์ละลายสารประกอบฟอสเฟต วิธีการใช้ทำการขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม ผสมกับรำข้าว 1 กิโลกรัม ปรับความชื้นด้วยน้ำ 70 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งไว้ 4 วัน นำไปหว่านปุ๋ยให้ทั่วพื้นที่ปลูก หรือโรยในแถวร่องปลูก 100 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วปลูกโสนอัฟริกัน หรือปอเทือง โดยให้หว่านเมล็ดโสนอัฟริกันที่แช่น้ำแล้ว 1 คืบ อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ไถกลบเมื่อพืชปุ๋ยสดอยู่ในระยะออกดอก แล้วปล่อยให้ย่อยสลายประมาณ 2 สัปดาห์ แล้วจึงปลูกพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.3) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกพืชผัก

พืชผักแต่ละชนิดจะมีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมแตกต่างกัน เช่น คื่นช่าย มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5.5 - 7.0 ผักกาดเขียวปลี และพริก มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.0 - 7.0 กะหล่ำปลี มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.5 - 7.0 และหน่อไม้ฝรั่ง มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.0 - 7.5 ดังตารางที่ 91 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543) ดังนั้นพื้นที่ปลูกหากดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าช่วงดังกล่าว จึงควรมีการจัดการดินเพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน

(2.3.1) ยกระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้เหมาะสมด้วยการใส่ปูนทางการเกษตร เช่น ปูนมาร์ล โดโลไมท์ และปูนขาว เป็นต้น เพื่อยกระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน หรือใช้ถ้ำลอยโรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน หรือใส่ถ่านชีวภาพ เช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าว

(2.3.2) เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินด้วยการใส่ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอก อัตรา 2 - 4 ตันต่อไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค) จากรายงานการใส่ปุ๋ยหมักจากทะเลสาบปาล์ม อัตรา 2 ตันต่อไร่ ในดินกรดปานกลาง หรือการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าว อัตรา 2 และ 4 ตันต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตคื่นช่ายสูงกว่าการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (จันจิรา และ พิมพิธิตา, 2551) และการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยหมักซีไคแอลบ อัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถเพิ่มจำนวนขนาดหน่อ และผลผลิตหน่อไม้ฝรั่ง เพิ่มอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดิน (จันจิรา และ พิมพิธิตา, 2552)

(2.3.3) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.3.4) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ จุลินทรีย์ซูเปอร์ พด. 9 เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรดโดยใช้อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมี วิธีการเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าว

(2.3.5) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใส่น้ำหมักชีวภาพฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 1000 ใช้ 100 ลิตรต่อไร่ สำหรับต้นกล้าฉีดพ่น ช่วงกล้า 7 วัน และหลังย้ายกล้า 30 วัน สำหรับการหวานเมล็ด ช่วงแตกใบจริงแล้ว 3 - 4 ใบ และห่างจากครั้งแรก 15 วัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.3.6) คลุมดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด แกลบ เป็นต้น จากรายงานการใส่แกลบดิบอัตรา 2 ตันต่อไร่ คลุมหน้าดิน ปลูกหน่อไม้ฝรั่ง สามารถรักษาความชื้นดินและยกระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจากระดับต่ำ (0.5 - 1.0 เปอร์เซ็นต์) เพิ่มเป็นระดับปานกลาง (1.5 - 2.5 เปอร์เซ็นต์) (จันจิรา และคณะ, 2554)

(2.3.7) ปลูกพืชปุ๋ยสดคลุมดิน เช่น ถั่วพุ่ม ถั่วพริ้ว ปอเทือง โสนอัฟริกัน หรือพืชคลุมดินตระกูลถั่ว แล้วไถกลบ วิธีการเช่นเดียวกับพืชไร่

(2.4) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกไม้ผล และไม้ยืนต้น

การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกไม้ผล และไม้ยืนต้น เช่น ส้มโอ กระท้อน น้อยหน่า มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5.5 - 7.0 มะม่วง มังคุด มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5.5 - 6.5 ปาล์มน้ำมัน มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.5 - 7.0 และยางพารา มีช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.0 - 7.0 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543) ดังตารางที่ 91 ดังนั้นพื้นที่ปลูกหากดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าช่วงดังกล่าว จึงควรมีการจัดการดินเพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน

(2.4.1) ยกระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้เหมาะสมด้วยการใส่ปูนทางการเกษตร เช่น ปูนมาร์ล โดโลไมท์ และปูนขาว เป็นต้น เพื่อยกระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน หรือใช้ถ้ำลอยโรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน หรือใส่ถ่านชีวภาพ ในช่วงเตรียมแปลงหรือหลุมปลูก

(2.4.2) เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินด้วยการใส่ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอก อัตรา 10 กิโลกรัมต่อหลุม ร่วมกับปุ๋ยเคมี ที่อายุ 3 ปีแรก ใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก อัตรา 25 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.4.3) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 2 - 3 กิโลกรัมต่อต้น ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.4.4) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 หรือจุลินทรีย์ซูเปอร์ พด. 9 เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด ใช้เชื้อที่ขยายแล้ว ใส่อัตรา 3 - 5 กิโลกรัมต่อต้น ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค) หรือใส่ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้คลุกผสมปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ 2 - 3 กรัม หรือครึ่งช้อนชาต่อต้น กับดินที่ใช้เพาะชำกล้าไม้ยืนต้น ไม้ผล หรือโรยให้สัมผัสกับรากฝอยของพืช ใส่อัตรา 10 กรัม หรือ 1 ช้อนแกงต่อต้น รองกันหลุมก่อนปลูก สำหรับพืชที่ปลูกแล้วให้ขุดเป็นร่องบริเวณทรงพุ่ม หรือเกลี่ยผิวหน้าดินออกจนพบรากฝอย จากนั้นโรยปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 20 - 50 กรัมต่อต้น ให้สัมผัสกับรากแล้วจึงกลบดินทันที (กรมวิชาการเกษตร, 2548ข)

(2.4.5) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพ 1 ลิตร เจือจางน้ำ 500 ลิตร ใช้พื้นที่ 2 ไร่ ฉีดพ่นใบ หรือราดลงดินทุก 1 เดือน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.4.6) คลุมดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด แกลบ ทางใบปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์มเปล่า ใบมะพร้าว เป็นต้น

(2.4.7) ปลูกพืชปุ๋ยสดคลุมดิน เช่น ถั่วพุ่ม ถั่วพราง ปอเทือง โสนอัฟริกัน หรือพืชคลุมดินตระกูลถั่ว ตัดต้นคลุมดิน หรือสับกลบเป็นปุ๋ยพืชสดปรับปรุงบำรุงดิน ระหว่างแถวปลูก

ตารางที่ 91 ช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิด

ชนิดพืช	ความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสม	ชนิดพืช	ความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสม
ข้าว	4.8 - 7.0	สับปะรด	4.5 - 5.5
ข้าวโพด	5.5 - 7.0	ส้มโอ	5.5 - 7.0
อ้อย	6.0 - 7.0	ส้มเขียวหวาน	4.5 - 6.0

ตารางที่ 91 (ต่อ)

ชนิดพืช	ความเป็นกรดเป็นด่าง ที่เหมาะสม	ชนิดพืช	ความเป็นกรดเป็นด่าง ที่เหมาะสม
ถั่วเหลือง	5.5 - 7.0	ชมพู่	6.5 - 7.0
กะหล่ำปลี	6.5 - 7.0	ฝรั่ง	4.5 - 7.5
ผักกาดเขียวปลี	6.0 - 7.0	น้อยหน่า	5.5 - 7.0
คะน้า	5.5 - 7.0	มะม่วง	5.5 - 6.5
ผักบุ้ง	5.5 - 7.0	มังคุด	5.5 - 6.5
หน่อไม้ฝรั่ง	6.0 - 7.5	มะพร้าว	6.4 - 7.0
กระเจี๊ยบเขียว	6.0 - 7.0	ละมุด	5.5 - 6.5
พริก	5.5 - 7.0	กล้วย	6.5 - 7.0
มะเขือเทศ	6.0 - 6.8	กระเทียม	5.5 - 7.0
แตงโม	5.5 - 6.5	ปาล์มน้ำมัน	4.5 - 7.0
เผือก	5.5 - 6.5	ยางพารา	4.0 - 7.0

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร (2543)

3) การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟู
คุณภาพดินเค็ม

(1) การจัดการฟื้นฟูคุณภาพดินเค็ม

สภาพปัญหาของดินเค็มในประเทศไทยเกิดจากการสะสมของเกลือ
ที่มาจากการละลายของเกลือ หรือจากน้ำใต้ดินที่มีเกลือละลายน้ำอยู่มาก หรือพื้นที่ที่เคยมีน้ำทะเล
ท่วมถึงมาก่อน และเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำทะเล และตะกอนน้ำกร่อยอยู่ใต้ตะกอนน้ำจืด
หรือเกิดจากอิทธิพลของน้ำทะเลท่วมถึง หรือเคยท่วมมาก่อน โดยประเภทดินเค็มในประเทศไทย
ประกอบด้วยดินเค็มบก และดินเค็มชายทะเล สำหรับดินเค็มบก ได้แก่ ดินเค็มบกในภาค
ตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นดินที่มีการสะสมเกลือจากการละลายเกลือของหินเกลือ หรือจากน้ำใต้ดินที่
มีเกลือละลายอยู่มากทำให้พบชั้นสะสมเกลือมาก มีเนื้อที่รวม 2,207,544 ไร่ ดินเค็มบกภาคกลาง
เป็นพื้นที่ที่เคยมีน้ำทะเลท่วมถึงมาก่อน และเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำทะเล และตะกอน
น้ำกร่อยอยู่ใต้ตะกอนน้ำจืด มีพื้นที่ประมาณ 54,644 ไร่ สำหรับดินเค็มชายทะเลได้รับอิทธิพลจาก
การขึ้นลงของน้ำทะเลโดยตรง พบกระจายกระจายทั่วไปในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้

รวมเนื้อที่ 1,955,131 ไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก) ผลกระทบของดินเค็มต่อการปลูกพืช ดินเค็มถือว่าเป็นดินที่มีศักยภาพในการผลิตต่ำ เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ส่งผลทำให้พืชขาดน้ำ ความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช และมีไอออนที่เป็นพิษสะสมในพืชมากเกินไป เช่น โซเดียม และคลอไรด์ ทำให้พืชที่ปลูกไม่เจริญเติบโต ให้ผลผลิตต่ำ โดยในประเทศไทยพบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ข) ซึ่งในพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินที่มีการสะสมเกลือจากการละลายของหินเกลือ หรือจากระดับน้ำใต้ดินที่มีเกลือละลายน้ำอยู่มาก ทำให้พบชั้นสะสมเกลือมาก หรือพบคราบเกลือที่ผิวดินมาก และอนุภาคดินฟุ้งกระจายง่าย ดินเนื้อหยาบ ธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุในดินถูกชะล้างออกไปได้ง่าย ดินแน่นทึบ เกิดชั้นดานรากพืชขนไชได้ยาก (สมศรี, 2539)

ดังนั้นสภาพของพื้นที่ดินเค็มน้อยและเค็มปานกลาง ซึ่งเกษตรกรสามารถแก้ไขปัญหาด้วยตัวเองได้ โดยการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรในพื้นที่ เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในการฟื้นฟูคุณภาพดินเค็ม และเพิ่มผลผลิตพืชอย่างเหมาะสม เช่น การคลุมดินด้วยวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ทางการเกษตร กรณีพื้นที่ทิ้งไว้ว่างเปล่าหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชในแปลงควรทิ้งเศษพืชคลุมดินไว้ เพื่อรักษาความชื้นดิน ลดการแพร่กระจายของเกลือ หากเศษพืชในแปลงมีน้อยควรเพิ่มวัสดุอินทรีย์คลุมดิน เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย เศษอ้อย ชี้อยู่ยง ทะลายปาล์มเปล่า กากมันสำปะหลัง และมูลสัตว์แห้ง เป็นต้น การปลูกพืชคลุมดิน เช่น ปอเทือง และโสนอัฟริกัน ควรใส่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมเพิ่มไนโตรเจน และควรเพิ่มอินทรีย์วัตถุ ให้กับดิน เช่น การใส่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ชี้แกลบ แกลบ และถ่านชีวภาพ และแหล่งวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล ได้แก่ กากอ้อย กากตะกอนหม้อกรอง และกากตะกอนน้ำเสีย แหล่งวัสดุเหลือใช้โรงงานแปรงมันสำปะหลัง ได้แก่ เปลือกมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลัง และแหล่งวัสดุเหลือใช้โรงงานเครื่องตีแอลกอฮอล์ ได้แก่ กากธัญพืช กากตะกอนยีสต์ และตะกอนน้ำเสีย และการใช้ปุ๋ยชีวภาพเพิ่มความเป็นประโยชน์ธาตุอาหารพืช เช่น ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น

(2) การจัดการฟื้นฟูคุณภาพดินสำหรับพืชประเภทต่าง ๆ

(2.1) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกข้าว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ค)

(2.1.1) ปรับรูปแบบนาด้วยระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ เมื่อฝนตก ชั่งน้ำในนาให้น้ำชะล้างเกลือที่ผิวดินซึมลงไปในดินชั้นล่าง และระบายออก

(2.1.2) ปลูกโสนอัฟริกัน และสับกลบเป็นปุ๋ยพืชสดปรับปรุงบำรุงดิน โสนอัฟริกันเป็นพืชตระกูลถั่วที่ทนเค็มขึ้นได้ทั้งสภาพน้ำขังและไม่มีน้ำขัง มีปมทั้งที่รากและลำต้น ทำให้สามารถตรึงไนโตรเจนได้จากดินและอากาศ เจริญเติบโตเร็วให้มวลชีวภาพสูงให้ไนโตรเจนปริมาณสูงต่อการสับกลบ ช่วยปรับปรุงบำรุงดิน และส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น

ประมาณ 30 - 35 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนช่วยลดความเค็มของดินโดยทางอ้อม คือ ปรับปรุงสมบัติของดินให้ร่วนซุยโปร่งขึ้น ทำให้การชะล้างเกลือจากหน้าดินลงด้านล่างง่ายขึ้นความเค็มของดินลดลง วิธีการใช้จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด. 11 (โสนอัฟริกัน) ผลิตภัณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วยไรโซเบียมที่มีความเฉพาะเจาะจงกับโสนอัฟริกัน และจุลินทรีย์ละลายสารประกอบฟอสเฟต วิธีการใช้ทำการขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม ผสมกับรำข้าว 1 กิโลกรัม ปรับความชื้นด้วยน้ำ 70 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งไว้ 4 วัน นำไปหว่านให้ทั่วพื้นที่ปลูก หรือโรยในแถวร่องปลูก 100 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วปลูกให้หวานเมล็ดโสนอัฟริกันที่แช่น้ำแล้ว 1 คืบ อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ทำการไถกลบเมื่อโสนอัฟริกันช่วงระยะออกดอก แล้วปล่อยให้ย่อยสลายประมาณ 2 สัปดาห์ แล้วจึงปลูกข้าว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.1.3) เพิ่มอินทรีย์วัตถุปรับปรุงบำรุงดิน เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก แกลบ หรือเพิ่มแหล่งอินทรีย์วัตถุจากภายนอก เช่น กากมันสำปะหลัง กากตะกอนยีสต์ และถ่านชีวภาพ และจากรายงานการใส่ถ่านชีวภาพแกลบ อัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี สำหรับการปลูกข้าวในพื้นที่ดินเค็มสามารถเพิ่มผลผลิตข้าว เพิ่มฟอสฟอรัสในดิน ลดค่าการนำไฟฟ้าของดิน และลดความหนาแน่นรวมของดิน (วุฒิชัย และคณะ, 2567)

(2.1.4) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.1.5) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ต้องนำปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 จำนวน 1 ชอง ผสมกับรำข้าวในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที แล้วรดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองนำปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมัก และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูกพืช เพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.1.6) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้น้ำหมักมี 2 วิธี คือ ราดลงดินและฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 500 ใช้ 100 ลิตรต่อไร่ ช่วงปักดำหรืออายุ 30 วัน และระยะเกิดช่อดอก ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของรากพืช ช่วยการขยายตัวของใบ รวมถึงการยืดตัวของลำต้น เพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด ส่งเสริมการออกดอกและติดผลดีขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.1.7) พื้นที่ว่างเปล่าหลังการเกี่ยวข้าว ควรคลุมหน้าดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ต้นและใบของข้าวโพด แกลบ ทะลายปาล์มเปล่า ชานอ้อย มูลสัตว์แห้ง เป็นต้น

(2.2) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกพืชไร่

(2.2.1) โกลบเศษพืชภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยวิธีการให้ดู
ในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ 2) เทคโนโลยีการหมักด้วยการโกลบ

(2.2.2) ปลูกโสนอัฟริกัน หรือปอเทือง และสับกลบเป็น
ปุ๋ยพืชสดปรับปรุงบำรุงดินก่อนการปลูกพืช วิธีการเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าว

(2.2.3) เพิ่มอินทรีย์วัตถุปรับปรุงบำรุงดินด้วยปุ๋ยหมัก หรือ
ปุ๋ยคอก อัตรา 2 - 4 ตันต่อไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค) หรือวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น
การใส่กากมันสำปะหลัง หรือกากตะกอนยีสต์ อัตรา 1 - 2 ตันต่อไร่

(2.2.4) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา
300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7)
การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.2.5) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ เช่น ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 อัตรา 300
กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาของกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
เพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมี สำหรับการปลูกข้าวโพดใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซารองกันหลุมประมาณ 10 กรัม
หรือ 1 ช้อนชา พร้อมหยอดเมล็ด ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน และจากรายงานวิจัยการใช้
ปุ๋ยชีวภาพในการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ดินเค็มจากการใช้จุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโซโพลิแซ็กคาไรด์
(exopolysaccharide) ในการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ดินเค็ม พบว่า การใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ผลิต
สารเอ็กโซโพลิแซ็กคาไรด์ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมักแล้ว อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยคอก
และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ให้ผลผลิตข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นมากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี
เพียงอย่างเดียว 17 เปอร์เซ็นต์ (นวลจันทร์ และคณะ, 2562)

(2.2.6) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน
ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้น้ำหมักฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมี
การเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 500 ใช้อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ สำหรับข้าวโพด ฉีดพ่น
ช่วงการเจริญเติบโต 30 วัน และ 40 วัน สำหรับอ้อย และมันสำปะหลัง ฉีดพ่นช่วงการเจริญเติบโต
30 วัน และ 90 วัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.2.7) ควบคุมหน้าดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและ
วัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด แกลบ เป็นต้น

(2.3) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกพืชผัก

(2.3.1) ปลูกโสนอัฟริกัน หรือปอเทือง และสับกลบเป็นปุ๋ยพืชสด
ปรับปรุงบำรุงดินก่อนการปลูกพืช วิธีการเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าว

(2.3.2) โถกกลบเศษพืชภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยวิธีการให้ดู
ในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ 2) เทคโนโลยีการหมักด้วยการโถกกลบ

(2.3.3) เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินด้วยการใส่ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอก
อัตรา 2 - 4 ตันต่อไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.3.4) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา
300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7)
การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.3.5) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่
ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน (2562ค) วิธีการเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าว

(2.3.6) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน
ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้น้ำหมักฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมี
การเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 1000 ใช้ 100 ลิตรต่อไร่ สำหรับต้นกล้าฉีดพ่น
ช่วงกล้า 7 วัน และหลังย้ายกล้า 30 วัน สำหรับการใช้เมล็ดหวาน ช่วงแตกใบจริงแล้ว 3 - 4 ใบ และ
ห่างจากครั้งแรก 15 วัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.3.7) คลุมดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว
ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด แกลบ เป็นต้น คลุมดินแปลงปลูกพืชเพื่อรักษาความชื้นหน้าดิน

(2.4) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกพืชไม่ผล ไม้ยืนต้น

(2.4.1) เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินด้วยการใส่ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอก
อัตรา 10 กิโลกรัมต่อหลุม ร่วมกับปุ๋ยเคมี ที่อายุ 3 ปีแรก ใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก อัตรา 25 กิโลกรัม
ต่อต้นต่อปี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.4.2) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา
2 - 3 กิโลกรัมต่อต้น ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.4
ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.4.3) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ขยายเชื้อแล้วอัตรา 3 - 5
กิโลกรัมต่อต้น รองก้นหลุมหรือหว่านรอบทรงพุ่ม หรือใส่ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาของ
กรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้คลุกผสมปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ 2 - 3 กรัม หรือครึ่งช้อนชาต่อต้น
กับดินที่ใช้เพาะชำกล้าไม้ยืนต้น ไม้ผล หรือโรยให้สัมผัสกับรากฝอยของพืช ใส่อัตรา 10 กรัม หรือ
1 ช้อนแกงต่อต้น รองก้นหลุมก่อนปลูก สำหรับพืชที่ปลูกแล้วให้ขุดเป็นร่องบริเวณทรงพุ่ม หรือเกลี่ยดิน
ออกจนพบรากฝอยจากนั้นโรยปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 20 - 50 กรัมต่อต้น ให้สัมผัสกับ
รากแล้วจึงกลบดินทันที (กรมวิชาการเกษตร, 2548ข)

(2.4.4) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี โดยต้องเจือจางก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ใช้น้ำหมักชีวภาพ 1 ลิตร เจือจางน้ำ 500 ลิตร ใช้พื้นที่ 2 ไร่ ฉีดพ่นหรือราดลงดินทุก 1 เดือน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.4.5) คลุมดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด แกลบ ทางใบปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์มเปล่า ใบมะพร้าว เป็นต้น

(2.4.6) ปลูกพืชปุ๋ยสดคลุมดิน เช่น ถั่วพุ่ม ถั่วพรี และปอเทือง โสนอัฟริกัน หรือพืชคลุมดินตระกูลถั่ว ตัดต้นคลุมดิน หรือสับกลบเป็นปุ๋ยพืชสดปรับปรุงบำรุงดิน ระหว่างแถวปลูก

4) การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินทราย

(1) การจัดการฟื้นฟูคุณภาพดินทราย

สภาพปัญหาของดินทราย คือ การชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งจะเริ่มเกิดขึ้นรุนแรงในพื้นที่ที่มีความลาดชันตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปที่ใช้ปลูกพืชโดยไม่มีการการด้านอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสม ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าดิน สมบัติทางเคมีและกายภาพของดินเสื่อมโทรมลงกลายเป็นพื้นที่เสื่อมโทรมที่ไม่สามารถเพาะปลูกพืชได้ และความอุดมสมบูรณ์ของดินทรายต่ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณโพแทสเซียม และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงต่ำมาก ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารต่ำมาก เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีลงไปทำให้เกิดการสูญเสียไปจากดินได้ง่าย ทำให้การตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเคมีของพืชโดยรวมทั้งการปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานานโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง นอกจากนี้ดินทรายยังมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำและเก็บน้ำไม่อยู่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ค) ดังนั้นการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรในพื้นที่ดินทราย เพื่อการปรับปรุงบำรุงดินเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ฟื้นฟูคุณภาพดินทราย เพื่อเพิ่มผลผลิตพืชอย่างเหมาะสม ควรมีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุมากเพียงพอและต่อเนื่อง เช่น การคลุมดินด้วยวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ทางการเกษตร กรณีพื้นที่ทิ้งไว้ว่างเปล่าหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชในแปลงควรทิ้งเศษพืชคลุมดินไว้ เพื่อรักษาความชื้นดิน ลดการระเหยของน้ำในดิน หากเศษพืชในแปลงมีน้อยควรเพิ่มวัสดุอินทรีย์คลุมดิน เช่น แกลบ ฟาง ชานอ้อย เศษอ้อย ชี้เลื่อย ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า กากมันสำปะหลัง และมูลสัตว์แห้ง เป็นต้น การปลูกพืชคลุมดิน เช่น ปอเทือง และโสนอัฟริกัน ควรใส่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมเพิ่มไนโตรเจนและอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ควรเพิ่มอินทรีย์วัตถุ เช่น การใส่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ชี้เถาแกลบ แกลบ และถ่านชีวภาพ อีกทั้งแหล่งวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล ได้แก่ กากอ้อย กากตะกอนหม้อกรอง และกากตะกอนน้ำเสีย แหล่งวัสดุเหลือใช้จาก

โรงงานแปรงมันสำปะหลัง ได้แก่ เปลือกมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลัง และแหล่งวัสดุเหลือใช้ โรงงานเครื่องตีแกลกฮอลล์ ได้แก่ กากธัญพืช กากตะกอนยีสต์ และตะกอนน้ำเสีย และการใช้ ปุ๋ยชีวภาพเพิ่มความเป็นประโยชน์ธาตุอาหารพืช เช่น ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ปุ๋ยชีวภาพละลาย ฟอสเฟต ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น และ ช่วยเพิ่มธาตุอาหารในรูปปุ๋ยเคมีใช้สูตรและอัตราที่เหมาะสมกับพืช หรือการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ ดินให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช อีกทั้งการไถพรวนแบบอนุรักษ์ที่คงเศษซากพืชไว้บนผิวดิน ปกคลุมดินไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ ครอบคลุมดินน้อยลง ซึ่งเป็นมาตรการที่ช่วยลดการกร่อนดิน

(2) การจัดการฟื้นฟูคุณภาพดินสำหรับพืชประเภทต่าง ๆ

(2.1) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกข้าว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ค)

(2.1.1) ปลูกพืชปุ๋ยสดในนาดินทราย ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วพราง ปอเทือง และโสนอัฟริกัน และใช้ร่วมจุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด. 11 ของกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วยไรโซเบียมที่มีความเฉพาะเจาะจงกับโสนอัฟริกัน ปอเทือง หรือถั่วพราง และจุลินทรีย์ ละลายสารประกอบฟอสเฟต วิธีการใช้ทำการขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม ผสมกับรำข้าว 1 กิโลกรัม ปรับความชื้นด้วยน้ำ 70 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งไว้ 4 วัน นำไปหว่านปุ๋ยให้ทั่วพื้นที่ปลูก หรือโรย ในแถวร่องปลูก 100 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วหว่านหรือหยอดเมล็ดพันธุ์ลงในแปลงนาที่แปลง อัตราเมล็ด พันธุ์ที่แนะนำ คือ ถั่วพราง 10 กิโลกรัมต่อไร่ ปอเทือง และโสนอัฟริกัน 5 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับถั่วพุ่ม ใช้เมล็ดพันธุ์อัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่ ไถกลบในระยะพืชกำลังออกดอก ทิ้งไว้ให้ย่อยสลายประมาณ 15 วัน แล้วปลูกพืชตาม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.1.2) การไถกลบตอซังเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน โดยวิธีการ ให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ 2) เทคโนโลยีการหมักด้วยการไถกลบ

(2.1.3) การใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก โดยปุ๋ยหมัก ใช้อัตรา 4 - 6 ตันต่อไร่ ใส่แบบหว่านทั่วแปลงแล้วไถกลบช่วงเตรียมดิน สำหรับปุ๋ยคอก ใช้อัตรา 1.5 - 3.3 ตันต่อไร่ ใส่แบบหว่านทั่วแปลงเช่นเดียวกับปุ๋ยหมัก ในดินที่มีลักษณะเป็นทรายจัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์แล้ว จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

(2.1.4) เพิ่มแหล่งอินทรีย์วัตถุจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น กากชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และกากตะกอนยีสต์ หรือเพิ่มแหล่งคาร์บอน เช่น ถ่านชีวภาพ และจากรายงานการใส่ถ่านชีวภาพ อัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่าง ต่อเนื่อง 2 ปี ในพื้นที่ดินทรายสำหรับปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 เพิ่มผลผลิตได้ 11.45 - 28.72 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (จันจิรา และคณะ, 2558)

(2.1.5) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.1.6) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ ต้องนำปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 จำนวน 1 ชอง ผสมกับรำข้าวในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองนำปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมัก และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูกพืช เพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.1.7) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้น้ำหมักมี 2 วิธี คือ ราดลงดิน และ ฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 500 ใช้ 100 ลิตรต่อไร่ ช่วงปักดำ หรือช่วงอายุ 30 วัน และระยะเกิดช่อดอก ช่วยเร่งการเจริญเติบโต การแตกของรากพืช การขยายตัวของใบ รวมถึงการยืดตัวของลำต้น เพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด ส่งเสริมการออกดอก และติดผลดีขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.1.8) พื้นที่ว่างเปล่าหลังเกี่ยวข้าว ควรคลุมหน้าดินด้วย วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ต้นและใบของ ข้าวโพด แกลบ ทะลายปาล์มเปล่า ชานอ้อย มูลสัตว์แห้ง เป็นต้น

(2.2) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกพืชไร่

(2.2.1) ปลูกพืชปุ๋ยสด ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วพราง ปอเทือง และ โสนอัฟริกัน สับกลบเป็นปุ๋ยพืชสดปรับปรุงบำรุงดินก่อนการปลูกพืช วิธีการเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าว

(2.2.2) เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินด้วยการใส่ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอก อัตรา 2 - 4 ตันต่อไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.2.3) เพิ่มแหล่งอินทรีย์วัตถุจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น กากชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และกากตะกอนยีสต์ อัตรา 1 - 2 ตันต่อไร่ หรือเพิ่มแหล่ง คาร์บอนในดิน เช่น ถ่านชีวภาพ จากรายงานการใส่ถ่านชีวภาพแกลบในดินทราย อัตรา 1.60 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตถั่วเหลืองสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี เพียงอย่างเดียว (Oka *et al.*, 1993)

(2.2.4) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.2.5) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ เช่น ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสำหรับปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซารองกันหลุมประมาณ 10 กรัม หรือ 1 ซ่อนชา พร้อมหยอดเมล็ด ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน และจากรายงานการปลูกอ้อยด้วยการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา 6 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัส 75 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้น้ำหนักสดอ้อยเพิ่มขึ้น และลดการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสได้ 25 เปอร์เซ็นต์ (จันจิรา และ นวลจันทร์, 2563)

(2.2.6) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้น้ำหมักฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 500 ใช้อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ สำหรับข้าวโพด ฉีดพ่นช่วงการเจริญเติบโต 30 วัน และ 40 วัน สำหรับอ้อย และมันสำปะหลัง ฉีดพ่นช่วงการเจริญเติบโต 30 วัน และ 90 วัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.2.7) ควรคลุมหน้าดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด แกลบ เป็นต้น

(2.3) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกพืชผัก

(2.3.1) ปลูกพืชปุ๋ยสด ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วพราง ปอเทือง และ โสนอัฟริกัน สับกลบเป็นปุ๋ยพืชสดปรับปรุงบำรุงดินก่อนการปลูกพืช วิธีการเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าว

(2.3.2) เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินด้วยการใส่ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอก อัตรา 2 - 4 ตันต่อไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.3.3) เพิ่มแหล่งอินทรีย์วัตถุจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น กากชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และกากตะกอนยีสต์ อัตรา 1 - 2 ตันต่อไร่ หรือเพิ่มแหล่งคาร์บอนในดินด้วยถ่านชีวภาพ และจากรายงานการใส่ถ่านชีวภาพ อัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตค่าน้ำที่ปลูกในดินทราย (เกศศิริรินทร์ และคณะ, 2557) และการใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถให้การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของต้นผัก และผลผลิตของผักสลัดกรีนคอสไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยคอก อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ (เกศศิริรินทร์ และคณะ, 2558)

(2.3.4) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.3.5) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ต้องนำปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 จำนวน 1 ของ ผสมกับรำข้าวในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที แล้วรดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองนำปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม ปรับความชื้นให้ได้

70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมัก และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.3.6) ใส่ น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้น้ำหมักฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 1000 ใช้ 100 ลิตรต่อไร่ สำหรับต้นกล้าฉีดพ่นช่วงกล้า 7 วัน และหลังย้ายกล้า 30 วัน สำหรับการใส่เมล็ดหว่าน ช่วงแตกใบจริงแล้ว 3 - 4 ใบ และห่างจากครั้งแรก 15 วัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.3.7) ควบคุมหน้าดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด เป็นต้น

(2.4) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกพืชไม่ผล ไม้ยืนต้น

(2.4.1) เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินด้วยการใส่ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอก อัตรา 10 กิโลกรัมต่อหลุม ร่วมกับปุ๋ยเคมี ที่อายุ 3 ปีแรก ใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก อัตรา 25 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.4.2) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 2 - 3 กิโลกรัมต่อต้น ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.4.3) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ขยายเชื้อแล้วอัตรา 3 - 5 กิโลกรัมต่อต้น รองกันหลุมหรือหว่านรอบทรงพุ่ม ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน (2562ค) หรือ ใส่ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้คลุมผสมปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ 2 - 3 กรัม หรือครึ่งซองชาต่อต้นกับดินที่ใช้เพาะชำกล้าไม้ยืนต้น ไม้ผล หรือโรยให้สัมผัสกับรากฝอยของพืช ใส่อัตรา 10 กรัม หรือ 1 ซองแ่งต่อต้น รองกันหลุมก่อนปลูก สำหรับพืชที่ปลูกแล้วให้ขุดเป็นร่องบริเวณทรงพุ่ม หรือเกลี่ยดินออกจนพบรากฝอยจากนั้นโรยปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 20 - 50 กรัมต่อต้น ให้สัมผัสกับรากแล้วจึงกลบดินทันที (กรมวิชาการเกษตร, 2548ข)

(2.4.4) ใส่ น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ ใช้น้ำหมักชีวภาพ 1 ลิตร เจือจางน้ำ 500 ลิตร ใช้พื้นที่ 2 ไร่ ฉีดพ่น หรือราดลงดิน ทุก 1 เดือน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.4.5) คลุมดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด ทางใบปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์มเปล่า ใบมะพร้าว เป็นต้น

(2.4.6) ปลุกพืชปุ๋ยสดคลุมดิน เช่น ถั่วพุ่ม ถั่วพริ้ว ปอเทือง โสนอัฟริกัน หรือพืชคลุมดินตระกูลถั่ว ตัดต้นคลุมดิน หรือสับกลบเป็นปุ๋ยพืชสดปรับปรุงบำรุงดิน ระหว่างแถวปลูก

5) การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินต้น

(1) การจัดการฟื้นฟูคุณภาพดินต้น

สภาพปัญหาดินต้น คือ มีชั้นลูกรัง ก้อนกรวด หรือเศษหินปะปน ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการงอกของรากพืช การไถพรวน และการเกษตรกรรมอื่น ๆ สมบัติดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำและธาตุอาหารต่ำ เนื้อดินเหนียวมีน้อยทำให้การเกาะยึดตัวของเม็ดดินไม่ดี เกิดการชะล้างพังทลายได้ง่าย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ค) ดังนั้น การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรในพื้นที่ดินต้น เพื่อการปรับปรุงบำรุงดินเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ฟื้นฟูคุณภาพดินต้นในการเพิ่มผลผลิตพืชอย่างเหมาะสม ควรมีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุมากเพียงพอและต่อเนื่อง เช่น การคลุมดินด้วยวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ทางการเกษตร กรณีพื้นที่ทิ้งไว้ว่างเปล่าหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชในแปลงควรทิ้งเศษพืชคลุมดินไว้ เพื่อรักษาความชื้นดิน ลดการระเหยของน้ำในดิน หากเศษพืชในแปลงมีน้อยควรเพิ่มวัสดุอินทรีย์คลุมดิน เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย เศษอ้อย ชี้อย่อย ทะลายปาล์มเปล่า กากมันสำปะหลัง และมูลสัตว์แห้ง เป็นต้น การปลูกพืชคลุมดิน เช่น ปอเทือง และโสนอัฟริกัน ควรใส่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมเพิ่มไนโตรเจนและอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ควรเพิ่มอินทรีย์วัตถุ เช่น การใส่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด และการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น แห้งวัสดุเหลือใช้โรงงานน้ำตาล ได้แก่ กากอ้อย กากตะกอนหมักอกรอง และกากตะกอนน้ำเสีย และแห้งวัสดุเหลือใช้โรงงานแปรงมันสำปะหลัง ได้แก่ เปลือกมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลัง และแห้งวัสดุเหลือใช้โรงงานเครื่องตีแอลกอฮอล์ ได้แก่ กากตะกอนยีสต์ กากธัญพืช และตะกอนน้ำเสีย และการใช้ปุ๋ยชีวภาพเพิ่มความเป็นประโยชน์ธาตุอาหารพืช เช่น ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น และเพิ่มธาตุอาหารในรูปปุ๋ยเคมีใช้สูตรและอัตราที่เหมาะสมกับพืช หรือใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช อีกทั้งการไถพรวนแบบอนุรักษ์ที่คงเศษซากพืชไว้บนผิวดิน และปกคลุมดินไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ ครอบคลุมดินน้อยลง เป็นมาตรการที่ช่วยลดการกร่อนดิน

(2) การจัดการฟื้นฟูคุณภาพดินสำหรับพืชประเภทต่าง ๆ

(2.1) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกข้าว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ค)

ในพื้นที่ราบลุ่มที่มีหน้าดินประมาณ 15 เซนติเมตร สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการปลูกข้าวได้ โดยมีการปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสมกับพืช หรือใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน

(2.1.1) ปลูกพืชปุ๋ยสด ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วพราง ปอเทือง และ โสนอัฟริกัน และใช้ร่วมกับจุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด. 11 ของกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วยไรโซเบียมที่มีความเฉพาะเจาะจงกับโสนอัฟริกัน ปอเทือง หรือถั่วพราง และจุลินทรีย์ ละลายฟอสเฟต วิธีการใช้ทำการขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม ผสมกับรำข้าว 1 กิโลกรัม ปรับความชื้นด้วยน้ำ 70 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งไว้ 4 วัน นำไปหว่านปุ๋ยให้ทั่วพื้นที่ปลูก หรือโรยในแถวร่อง ปลูก 100 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วหว่าน หรือหยอดเมล็ดพันธุ์ลงในแปลงนาทั่วแปลง ใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ ที่แนะนำ คือ ถั่วพราง 10 กิโลกรัมต่อไร่ ปอเทือง และโสนอัฟริกัน 5 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับถั่วพุ่ม ใช้เมล็ดพันธุ์อัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่ ไกลกลบในระยะพืชกำลังออกดอก ทิ้งไว้ให้ย่อยสลายประมาณ 15 วัน แล้วปลูกพืชตาม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.1.2) การไถกลบตอซังเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน โดยวิธีการ ให้อุณหภูมิในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ 2) เทคโนโลยีการหมักด้วยการไถกลบ

(2.1.3) การใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก ใช้อัตรา 1.5 - 2.0 ตันต่อไร่ ใส่แบบหว่านทั่วแปลงแล้วไถกลบช่วงเตรียมดิน

(2.1.4) เพิ่มแหล่งอินทรีย์วัตถุจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น กากชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และกากตะกอนยีสต์ อัตรา 1 - 2 ตันต่อไร่

(2.1.5) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้อุณหภูมิในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.1.6) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ของกรมพัฒนาที่ดิน วิธีการใช้ ต้องนำปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 จำนวน 1 ชอง ผสมกับรำข้าวในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสาร ละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองนำปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมัก และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้นเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึง นำไปใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หว่านให้ทั่วพื้นที่ช่วงเตรียมดินปลูกพืช เพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.1.7) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้น้ำหมักมี 2 วิธี คือ ราดลงดินและ

ฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 500 ใช้ 100 ลิตรต่อไร่ ช่วงปักดำ หรืออายุ 30 วัน และระยะเกิดช่อดอก ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของรากพืช และช่วงการขยายตัวของใบ รวมถึงการยืดตัวของลำต้น เพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด ส่งเสริมการออกดอก การติดผลดีขึ้น และเพิ่มผลผลิตพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.1.8) พื้นที่ว่างเปล่าหลังเกี่ยวข้าว ควรคลุมหน้าดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด ทะลายปาล์มเปล่า ชานอ้อย และมูลสัตว์แห้ง เป็นต้น

(2.2) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกพืชไร่

สำหรับพื้นที่ดอนที่มีหน้าดินหนามากกว่า 25 เซนติเมตร สามารถปลูกพืชไร่ได้หลายชนิด โดยเน้นการรักษาความชุ่มชื้นในดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และไถพรวนแบบอนุรักษ์ ที่คงเศษซากพืชไว้บนผิวดิน เพื่อช่วยลดการกร่อนดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556ค)

(2.2.1) ปลูกพืชปุ๋ยสด ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วพรี้า ปอเทือง และ โสนอัฟริกัน สับกลบเป็นปุ๋ยพืชสดปรับปรุงบำรุงดินก่อนการปลูกพืช วิธีการเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าว

(2.2.2) เพิ่มอินทรีย์วัตถุปรับปรุงบำรุงดิน ด้วยปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก อัตรา 2 - 4 ตันต่อไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค) หรือเพิ่มแหล่งวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น กากมันสำปะหลัง หรือกากตะกอนยีสต์ อัตรา 1 - 2 ตันต่อไร่

(2.2.3) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.2.4) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ เช่น ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาของกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซารองกันหลุมประมาณ 10 กรัม หรือ 1 ช้อนชา พร้อมหยอดเมล็ด ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับการปลูกข้าวโพดใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซากันหลุมพร้อมหยอดเมล็ด ลดการใช้ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มผลผลิตน้ำหนักเมล็ดที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (จันจิรา และคณะ, 2560ก)

(2.2.5) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใส่น้ำหมักฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 500 ใช้อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ สำหรับข้าวโพด ฉีดพ่นช่วงการเจริญเติบโต 30 วัน และ 40 วัน สำหรับอ้อย และมันสำปะหลัง ฉีดพ่นช่วงการเจริญเติบโต 30 วัน และ 90 วัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.2.6) ควรคลุมหน้าดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด เป็นต้น

(2.3) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกพืชผัก

พื้นที่ตอนที่มีหน้าดินมากกว่า 15 เซนติเมตร ขึ้นไปสามารถปลูกพืชผักได้หลายชนิด โดยเลือกพืชที่มีระบบรากตื้น อายุเก็บเกี่ยวสั้น เช่น พื้นที่ที่สามารถปลูกทุ้งหญาเลี้ยงสัตว์ผสมถั่ว โดยเน้นการรักษาความชุ่มชื้นในดิน และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

(2.3.1) ปลูกพืชปุ๋ยสด ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วพราง ปอเทือง และ โสนอัฟริกัน สับกลบเป็นปุ๋ยพืชสดปรับปรุงบำรุงดินก่อนการปลูกพืช วิธีการเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าว

(2.3.2) ใส่อินทรีย์วัตถุปรับปรุงบำรุงดินด้วยการใส่ปุ๋ยหมัก หรือ ปุ๋ยคอก อัตรา 2 - 4 ตันต่อไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค) หรือวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น กากมันสำปะหลัง กากตะกอนยีสต์ อัตรา 1 - 2 ตันต่อไร่

(2.3.3) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.3.4) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน (2562ค) วิธีการเช่นเดียวกับพื้นที่ปลูกข้าว

(2.3.5) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี การใส่น้ำหมักชีวภาพฉีดพ่นกับพืช โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ อัตราเจือจางต่อน้ำ 1 : 1000 ใช้ 100 ลิตรต่อไร่ สำหรับต้นกล้าฉีดพ่นช่วงกล้า 7 วัน และหลังย้ายกล้า 30 วัน สำหรับการใช้เมล็ดหวาน ช่วงแตกใบจริงแล้ว 3 - 4 ใบ และห่างจากครั้งแรก 15 วัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.3.6) ควรคลุมหน้าดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด เป็นต้น

(2.4) การฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกพืชไม้ผล ไม้ยืนต้น

ในดินต้นสามารถปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้นได้ ควรมีการจัดการเฉพาะหลุม ขุดหลุมปลูกให้กว้างและลึก นำหน้าดิน หรือดินจากที่อื่นผสมกับปุ๋ยคอก หรือใส่ปุ๋ยหมัก รองกันหลุม

(2.4.1) เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินด้วยการใส่ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยคอก อัตรา 10 กิโลกรัมต่อหลุม ร่วมกับปุ๋ยเคมี ที่อายุ 3 ปีแรก ใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก อัตรา 25 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี

(2.4.2) เพิ่มธาตุอาหารด้วยปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง อัตรา 2 - 3 กิโลกรัมต่อต้น ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน โดยวิธีการให้ดูในรายละเอียดข้อ 4.3.5 ข้อ (7) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารสูง

(2.4.3) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ขยายเชื้อแล้ว อัตรา 3 - 5 กิโลกรัมต่อต้น รองกันหลุมหรือหว่านรอบทรงพุ่ม หรือใส่ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาของกรมวิชาการเกษตร วิธีการใช้คลุมผสมปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ 2 - 3 กรัม หรือครึ่งช้อนชาต่อต้น กับดินที่ใช้เพาะชำกล้าไม้ยืนต้น ไม้ผล หรือโรยให้สัมผัสกับรากฝอยของพืช ใส่อัตรา 10 กรัม หรือ 1 ช้อนแกงต่อต้น รองกันหลุมก่อนปลูก สำหรับพืชที่ปลูกแล้วให้ชุดเป็นร่องบริเวณทรงพุ่ม หรือเกลี่ยดินออกจนพบรากฝอยจากนั้นโรยปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 20 - 50 กรัมต่อต้น ให้สัมผัสกับรากแล้วจึงกลบดินทันที (กรมวิชาการเกษตร, 2548ข)

(2.4.4) ใส่น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้ปุ๋ยเคมี โดยต้องมีการเจือจางก่อนนำไปใช้ ใช้น้ำหมักชีวภาพ 1 ลิตร เจือจางน้ำ 500 ลิตร ใช้พื้นที่ 2 ไร่ ฉีดพ่นหรือราดลงดินทุก 1 เดือน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562ค)

(2.4.5) คลุมดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ ใบอ้อย ต้นและใบข้าวโพด ทางใบปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์มเปล่า และใบมะพร้าว เป็นต้น

(2.4.6) ปลูกพืชปุ๋ยสดคลุมดิน เช่น ถั่วพุ่ม ถั่วพราง ปอเทือง และ โสนอัฟริกัน หรือพืชคลุมดินตระกูลถั่ว ตัดต้นคลุมดิน หรือสับกลบเป็นปุ๋ยพืชสดปรับปรุงบำรุงดิน ระหว่างแถวปลูก

การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินด้วยการเพิ่มอินทรีย์วัตถุ และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพื่อให้ดินมีความเหมาะสมต่อการผลิตพืช โดยการกำหนดเป้าหมายในการอนุรักษ์และฟื้นฟูคุณภาพดิน นอกจากการจัดการดังกล่าวข้างต้นแล้ว การปลูกพืชหมุนเวียนที่ให้มีผลชีวภาพส่วนใต้ดิน และส่วนเหนือดิน ในปริมาณมาก สามารถช่วยเพิ่มแหล่งอินทรีย์คาร์บอนในดิน ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินได้อีกทางหนึ่ง อีกทั้งการไถพรวนแบบอนุรักษ์ที่คงเศษซากพืชไว้บนผิวดินและปกคลุมดิน และรบกวนดินน้อยลง เป็นมาตรการที่ช่วยลดการกร่อนดิน อีกทั้งการฟื้นฟูคุณภาพดินในพื้นที่เกษตรกรรมจะต้องติดตามประเมินคุณภาพดิน ด้านสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน เพื่อนำข้อมูลมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงวิธีการจัดการเพิ่มคุณภาพดินที่เหมาะสมกับพื้นที่ต่อไป

4.3.7 การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินได้อย่างยั่งยืนในระบบการเกษตร

การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน โดยนำแนวทาง BCG Model เป็นโมเดลการพัฒนาเศรษฐกิจ เพื่อความยั่งยืนในระบบการเกษตร

1) หลักการโมเดลเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว (Bio - Circular - Green Economy : BCG Model) ประกอบด้วย 3 เศรษฐกิจหลัก (กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, 2563) คือ

(1) ระบบเศรษฐกิจชีวภาพ (bio economy) มุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรชีวภาพอย่างคุ้มค่า เพื่อผลิต สร้างมูลค่าเพิ่ม หรือเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง รวมถึงความหลากหลายทางชีวภาพ

(2) ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) มุ่งเน้นการใช้ผลิตภัณฑ์เป็นวงจรชีวิต ส่งเสริมการนำวัสดุต่าง ๆ นำกลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด และการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

(3) ระบบเศรษฐกิจสีเขียว (green economy) มุ่งเน้นการพัฒนาเศรษฐกิจควบคู่ไปกับการพัฒนาสังคมและรักษาสีเขียวสิ่งแวดล้อม สร้างความยั่งยืน ลดก๊าซเรือนกระจก และลดของเสียให้เหลือน้อยที่สุด คำนึงถึงความยั่งยืนของทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม

ซึ่งเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจที่ไม่ได้มุ่งเน้นเพียงการพัฒนาเศรษฐกิจเท่านั้น แต่ต้องพัฒนาควบคู่ไปกับการพัฒนาสังคมและการรักษาสีเขียวสิ่งแวดล้อมได้อย่างสมดุลให้เกิดความมั่นคงและยั่งยืนไปพร้อมกัน โดยเปลี่ยนข้อได้เปรียบที่ประเทศไทย มีจากความหลากหลายทางชีวภาพและวัฒนธรรม ให้เป็นความสามารถในการแข่งขันด้วยนวัตกรรม เพื่อให้เกิดเศรษฐกิจ BCG ที่เติบโตแข่งขันได้ในระดับโลก เกิดการกระจายรายได้ลงสู่ชุมชน ลดความเหลื่อมล้ำ และชุมชนเข้มแข็ง มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่ยั่งยืน

2) การนำหลักการเศรษฐกิจ BCG กับเกษตรกรรม

(1) แนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพ เชื่อมโยงกับเกษตรกรรมได้โดยการนำความรู้ เทคโนโลยี นวัตกรรมมาทำเกษตรสมัยใหม่ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และพยายามที่จะยกระดับของคุณภาพ การทำให้มีมาตรฐานในการผลิตสินค้าทางการเกษตร รวมถึงการใช้ประโยชน์จากฐานความหลากหลายทางชีวภาพในการผลิตสินค้าเกษตรและการบริการที่มีมูลค่าสูง

(2) เศรษฐกิจหมุนเวียน เน้นการใช้ทรัพยากรทางการเกษตรอย่างเต็มที่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม และลด

ปัญหามลพิษ การลดขยะ หรือของเสียที่อยู่ในฟาร์ม หรือพื้นที่ทำการเกษตรให้เป็นศูนย์ หรือที่เรียกว่า zero waste

(3) เศรษฐกิจสีเขียว ซึ่งเป็นการมองภาพรวมที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม ดังนั้นการทำการเกษตรเราควรที่จะทำการเกษตรที่ยั่งยืน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การใช้ทรัพยากรทางการเกษตรอย่างเหมาะสมและคุ้มค่า รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากฐานทรัพยากรชีวภาพเพื่อสร้างรายได้สู่ชุมชน และยกระดับความเป็นอยู่ของเกษตรกรในชุมชน

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ในแต่ละปีมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตรเกิดขึ้นจำนวนมาก มีการนำไปใช้ประโยชน์บ้าง แต่ยังมีส่วนที่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์เหลือทิ้งในพื้นที่และแหล่งผลิตจำนวนมาก มีการเผาทิ้งทำลาย หรือปล่อยทิ้งไว้ จะเกิดผลกระทบต่อสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นแนวทางการฟื้นฟูคุณภาพดินอย่างยั่งยืน คุ้มค่า และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จากการนำแนวคิดหลักการเศรษฐกิจ BCG หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน เน้นการใช้ทรัพยากรทางการเกษตรอย่างเต็มที่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม ลดปัญหามลพิษ ลดขยะ หรือของเสียที่อยู่ในฟาร์ม หรือพื้นที่ทำการเกษตรให้เป็นศูนย์ โดยการส่งเสริมการผลิตทางการเกษตรของเสียเหลือศูนย์ (zero waste)

3) แนวทางการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้ อุตสาหกรรมเกษตรแบบ zero waste เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินที่ยั่งยืนในระบบการเกษตร ได้รวบรวมและสรุปเป็นแนวทางแสดงดังภาพที่ 23 ดังนี้

(1) การเลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตให้สามารถใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ได้มากที่สุด และคุ้มค่า ได้แก่

(1.1) การใช้เทคโนโลยีการหมักในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เศษพืชหลังการเก็บเกี่ยว ของเสียจากคอกสัตว์ และวัสดุเหลือใช้ อุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต น้ำเสีย และกากตะกอนของบ่อบำบัด เป็นต้น นำมาใช้ประโยชน์เพิ่มประสิทธิภาพ เพิ่มคุณค่า หรือพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ด้วยกระบวนการย่อยสลายแปรสภาพจากกิจกรรมของจุลินทรีย์เพื่อการบำรุงดิน เช่น การผลิตปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และน้ำหมักชีวภาพ เป็นต้น ในการช่วยฟื้นฟูคุณภาพดินทั้งทางด้านสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติทางชีวภาพของดิน

(1.2) การใช้เทคโนโลยีกระบวนการแปรสภาพวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ด้วยพลังงานความร้อน เพื่อเพิ่มมูลค่าและคุณภาพ ได้แก่ ถ่านชีวภาพ หรือถ่านทอร์รีไฟด์ ซึ่งถ่านชีวภาพ และถ่านทอร์รีไฟด์เป็นแหล่งคาร์บอนรูปที่เสถียรในดินทนทานต่อการย่อยสลายด้วยกระบวนการ

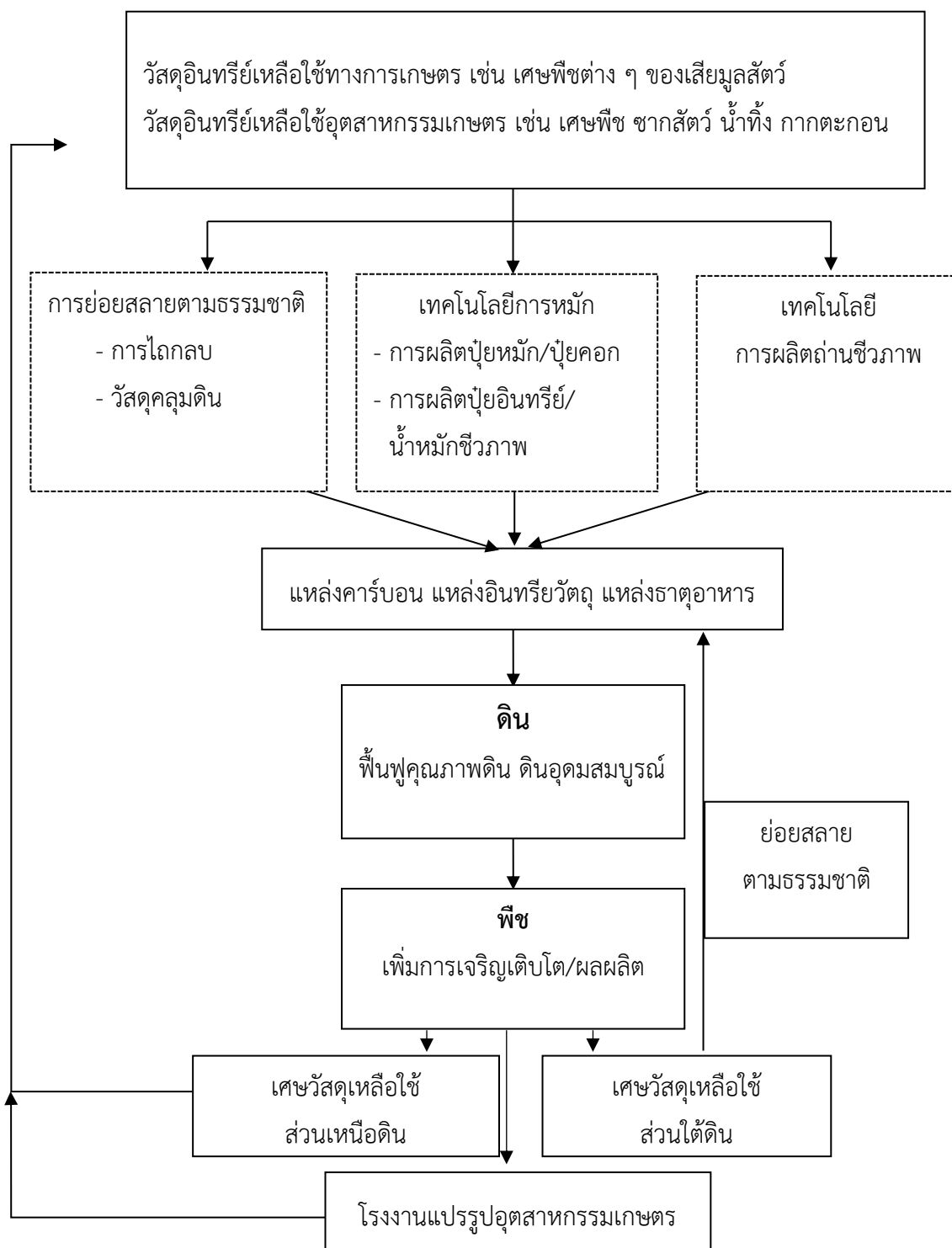
ทางชีวภาพ และเป็นสารปรับปรุงดินที่คงอยู่อย่างยาวนาน ช่วยฟื้นฟูคุณภาพดินทางด้านสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติทางชีวภาพของดิน

(1.3) การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ด้วยวิธีการไถกลบ และเป็นวัสดุคลุมดิน เพื่อคืนเศษซากพืชหลังการเก็บเกี่ยวคืนพื้นที่เกษตร ด้วยการหมุนเวียนธาตุอาหารจากเศษพืชที่ดูดใช้ธาตุอาหารจากดินสะสมในพืช และคืนกลับสู่ดินด้วยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ เพื่อเพิ่มแหล่งอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดิน

(2) การจัดการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรอย่างเหมาะสม เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินอย่างยั่งยืน ต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญของหลัก 4 M ได้แก่ Man (คน) Money (เงิน) Material (วัสดุ รวมถึงเครื่องมืออุปกรณ์) และ Management (การจัดการ) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุดในการจัดการรวมถึงการวางแผนการดำเนินงานอย่างเหมาะสม เช่น แผนการพัฒนาประสิทธิภาพบุคลากรด้านความรู้ รวมถึงการดำเนินงานด้านการควบคุมคุณภาพการผลิต

(3) การให้ความรู้ข่าวสารและทัศนคติที่ถูกต้องเหมาะสมแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องและประชาชน โดยจัดตั้งระบบศูนย์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้ หรือระบบการแลกเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ ซึ่งอาจแบ่งย่อยเป็น 2 รูปแบบ คือ การแลกเปลี่ยนข่าวสาร และการแลกเปลี่ยนสิ่งของ

(4) ประเทศไทย จัดทำแผนระดับชาติการจัดการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรอย่างเหมาะสม เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินอย่างยั่งยืนในระบบการเกษตร ตั้งเป้าหมายการฟื้นฟูคุณภาพดินอย่างยั่งยืน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ส่งเสริมให้ดินมีผลิตภาพสูงในการผลิตพืช เพื่อลดกระหนาบด้านต้นทุนการผลิตพืช โดยจัดตั้งศูนย์ประสานงานการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์ในท้องถิ่น เช่น เครือข่ายเอกชนโรงงานแหล่งวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรในท้องถิ่น เครือข่ายกลุ่มเกษตรกรแลกเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในการเกื้อกูลวัตถุดิบแลกเปลี่ยน หรือซื้อขาย เป็นการลดต้นทุนค่าเคลื่อนย้ายวัสดุเหลือใช้จากภายนอก เพื่อป้องกัน และลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงในระบบการเกษตรในอนาคต และเกิดการเกื้อกูลวัสดุเหลือใช้ระบบเกษตรที่ยั่งยืน



ภาพที่ 23 แนวทางการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
แบบ zero waste เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน

5. ผลสำเร็จของงาน (เชิงปริมาณ/คุณภาพ)

5.1 ผลสำเร็จของงานเชิงปริมาณ

ผลสำเร็จของงานเชิงปริมาณ ได้แก่ เอกสารวิชาการการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน ในลักษณะสิ่งพิมพ์และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 1 ชุด สำหรับผู้บริหารกรมพัฒนาที่ดิน นักวิชาการ และเกษตรกร นำไปใช้ประโยชน์เป็นฐานข้อมูล และเอกสารค้นคว้า สำหรับการวางแผนเชิงนโยบาย การค้นคว้าวิจัย และศึกษาต่อยอดเพิ่มเติมขยายผลในวงกว้าง เนื้อหาประกอบด้วย

5.1.1 สถานการณ์คุณภาพดินของประเทศไทย ได้แก่ หลักการของคุณภาพดิน และตัวชี้วัดบอกคุณภาพดิน ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน ปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสภาพการใช้ที่ดินพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทย

5.1.2 อินทรีย์วัตถุต่อการปรับปรุงคุณภาพดิน ได้แก่ กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน ความสำคัญของอินทรีย์วัตถุ สถานการณ์ของอินทรีย์วัตถุในดินของประเทศไทย และการจัดการอินทรีย์วัตถุต่อการเพิ่มคุณภาพดิน

5.1.3 การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อการปรับปรุงคุณภาพดิน ได้แก่ ประเภทและแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากเศษพืชและมูลสัตว์ และวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร 5 ประเภท ได้แก่ 1) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล 2) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 3) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง 4) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และ 5) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล รวมทั้งสมบัติของวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิด และแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ปรับปรุงคุณภาพดินทางการเกษตร

5.1.4 เทคโนโลยีการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร 5 รูปแบบ ได้แก่ 1) เทคนิคการคลุมดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร 2) เทคโนโลยีการหมักด้วยการไถกลบ 3) เทคโนโลยีการหมักผลิตปุ๋ยอินทรีย์ 4) เทคโนโลยีชีวภาพผลิตภัณฑ์กรดอะมิโนจากโปรตีนเซลล์เดียว และ 5) เทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพและถ่านทอร์รีไฟด์

5.1.5 การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน ได้แก่ ดินเปรี้ยวจัด ดินกรด ดินอินทรีย์ ดินเค็ม ดินทราย และดินตื้น สำหรับการผลิตพืชชนิดต่าง ๆ

5.1.6 การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินได้อย่างยั่งยืนในระบบการเกษตร ได้แก่ หลักการเศรษฐกิจ BCG กับเกษตรกรรม และแนวทางการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร แบบ zero waste เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินที่ยั่งยืนในระบบการเกษตร

5.2 ผลสำเร็จของงานเชิงคุณภาพ

5.2.1 ผู้บริหารกรมพัฒนาที่ดิน นักวิชาการ และเกษตรกร นำองค์ความรู้จากเอกสารวิชาการวางแผนการจัดการด้านการบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ รักษาระดับอินทรีย์วัตถุในดินอย่างยั่งยืน และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการวัสดุเหลือใช้ในการนำมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่เกษตรกรรมได้อย่างคุ้มค่า ส่งผลต่อการฟื้นฟูคุณภาพดินทางการเกษตรได้อย่างยั่งยืน

5.2.2 นักวิชาการ เกษตรกร และเอกชน นำความรู้การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินได้ถูกต้อง เหมาะสม และคุ้มค่ามากขึ้น

5.2.3 นักวิชาการ เกษตรกร และเอกชน นำองค์ความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการวิจัยต่อยอด และประยุกต์ใช้ด้านการบำรุงดินด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และคุณภาพดินที่ดีได้อย่างยั่งยืน

6. การนำไปใช้ประโยชน์/ผลกระทบ

6.1 สามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการค้นคว้าของนักวิชาการ และเกษตรกร ใช้เป็นคู่มือในการส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ตามท้องถิ่น หมุนเวียนมวลชีวภาพเพื่อการปรับปรุงดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน เพื่อการพัฒนาที่ดินอย่างยั่งยืน

6.2 สามารถพัฒนาเป็นฐานข้อมูลเชิงนโยบายและเชิงพื้นที่ รองรับแผนแม่บทหลักพัฒนาประเทศในระยะยาว เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ในการวางแผนพัฒนางานด้านบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทันสมัย

6.3 สามารถพัฒนาเป็นระบบฐานข้อมูลการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อการปรับปรุงดินและเพิ่มอินทรีย์วัตถุ ในรูปแบบการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูล ได้แก่ ด้านข้อมูลดิน ชุดดิน สมบัติทางเคมีดิน และเทคโนโลยีชีวภาพ ผลิตภัณฑ์อินทรีย์สาร และผลิตภัณฑ์ชีวภาพ สำหรับการบำรุงดิน การเข้าถึงข้อมูลที่ง่าย และข้อมูลที่เป็ปัจจุบันได้อย่างเร็วขึ้น เพื่อตอบสนองต่อผู้รับบริการ ผู้บริหาร นักวิชาการ และเกษตรกร

6.4 การใช้ประโยชน์องค์ความรู้ในการรักษาฟื้นฟูทรัพยากรดินของประเทศไทย เพื่อสร้างภูมิคุ้มกัน สร้างความมั่นคงของชีวิตเกษตรกรและประเทศ ในการบำรุงดินฟื้นฟูคุณภาพดิน และรักษาระดับอินทรีย์วัตถุในดินอย่างยั่งยืน และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน สามารถยกระดับผลผลิตรายได้เกษตรกร และเกิดการเกื้อกูลระบบนิเวศเกษตรที่ยั่งยืน ส่งผลกระทบท่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม อย่างสมดุล มั่นคง และยั่งยืนของครอบครัว สังคม และประเทศไทย

7. ความยุ่งยากและซับซ้อนในการดำเนินการ

7.1 การรวบรวมและการสังเคราะห์ข้อมูลวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จากข้อมูลที่มีความหลากหลายทั้งชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ความยุ่งยากของการวิเคราะห์ข้อมูลให้ถูกต้อง และเป็นข้อมูลระดับรายจังหวัดและรายภาคที่เป็นปัจจุบันมากที่สุด เพื่อให้ผู้ใช้งานนำข้อมูลในเอกสารวิชาการฉบับนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์กับพื้นที่ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

7.2 การรวบรวมและการสังเคราะห์ข้อมูลวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร มีความยุ่งยากและซับซ้อนของข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร 5 ประเภท ได้แก่ วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำมันปาล์ม วัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องตีแอลกอฮอล์ และวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล ที่มีข้อมูลทั้งชนิดและปริมาณวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรแตกต่างกันมีความยุ่งยากและซับซ้อน อีกทั้งแหล่งข้อมูลเผยแพร่ในการสืบค้นมีไม่มากนัก ต้องรวบรวมและสังเคราะห์ข้อมูลจากหลายแหล่งทั้งในประเทศและต่างประเทศ ในการประมวลผลข้อมูลที่ครอบคลุมและเป็นปัจจุบัน

7.3 การรวบรวมและสังเคราะห์ข้อมูลชนิด แหล่งที่มา สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร และแนวทางการนำวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร 5 ประเภทมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมีความยุ่งยากและซับซ้อน ซึ่งในประเทศไทยมีการศึกษาเทคโนโลยีและการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรยังไม่ครอบคลุม ต้องสืบค้นและสังเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยและการใช้ประโยชน์ในต่างประเทศ เพื่อให้ได้ข้อมูลสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดได้ถูกต้อง อีกทั้งต้องคำนึงถึงข้อกำหนดมาตรฐาน ข้อควรระวัง และผลกระทบของการนำวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

7.4 การประมวลผลและการแปรผลข้อมูลต้องอาศัยองค์ความรู้ ประสบการณ์ ทักษะพิเศษและความเชี่ยวชาญ ด้านปฐพีวิทยา ปัจจัยสำคัญด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน คุณภาพดินทั้งสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และสมบัติทางชีวภาพ รวมทั้งการเชื่อมโยงข้อมูล เทคนิค และเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมาใช้ประโยชน์ เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน

8. ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ

8.1 ปัญหาและอุปสรรคในการเข้าถึงข้อมูลวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมเกษตร 5 ประเภท ได้แก่ วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล วัสดุเหลือใช้จากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำมันปาล์ม วัสดุเหลือใช้จากโรงงานเครื่องตีแอลกอฮอล์ และวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล ข้อมูลชนิด ปริมาณ และองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดมีข้อมูลไม่ครอบคลุม ต้องนำข้อมูลมาวิเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูลทั้งในประเทศและต่างประเทศ

8.2 ปัญหาด้านความปลอดภัย และข้อจำกัดของวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรในการเลือกใช้เทคโนโลยี และวิธีจัดการคุณภาพที่เหมาะสมก่อนนำมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่เกษตร มีข้อจำกัดในกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นต้องแบ่งเป็นชนิดตามแหล่งที่มาของวัสดุเหลือใช้

8.3 ปัญหาทางเทคนิค อุปสรรคทางเทคนิค เช่น ขาดการบูรณาการร่วมของฐานข้อมูล การเชื่อมโยงของหน่วยงานภาครัฐ แหล่งข้อมูลของภาคเอกชน แหล่งข้อมูลเกษตรกร แหล่งข้อมูลวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรในพื้นที่ และไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้

8.4 ปัญหาด้านการวิเคราะห์ข้อมูลแนวทางการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร จากฐานข้อมูลแหล่งต่าง ๆ และสภาพปัญหาดินในพื้นที่เกษตรที่แตกต่างกัน ในการต้องเชื่อมโยงข้อมูล เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในด้านการพัฒนาที่ดิน เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินอย่างถูกต้อง และเหมาะสมกับสภาพพื้นที่

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ควรมีการจัดทำฐานข้อมูลวัสดุ ชนิด องค์ประกอบทางเคมี แหล่งวัตถุดิบ เทคโนโลยีการผลิต และจัดทำแอปพลิเคชันในการรวบรวมข้อมูลวัสดุเหลือใช้ของท้องถิ่น เพื่อให้ นักวิชาการ เกษตรกร และกลุ่มผู้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ นำมาใช้ประโยชน์ในการวางแผนการพัฒนาด้านการปรับปรุงดิน ด้วยอินทรีย์วัตถุจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

9.2 ส่งเสริม สร้างการรับรู้ ความเข้าใจให้นักวิชาการและเกษตรกร ให้เข้าถึงข้อมูล เทคโนโลยีและนวัตกรรมการผลิตด้านการบำรุงดิน ที่สอดคล้องและเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ของ เกษตรกรแบบผสมผสาน เพื่อพิจารณาวิธีการที่เหมาะสม และความเป็นไปได้ในการเลือกชนิดและ แหล่งวัตถุดิบที่อยู่ใกล้เคียงบริเวณพื้นที่ของเกษตรกร

9.3 ส่งเสริมองค์ความรู้ใหม่ และข้อมูลการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพและธาตุอาหารสูง เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ชีวภาพ วัสดุปรับปรุงดินชนิดใหม่ และเทคโนโลยีการปรับปรุงดินรูปแบบใหม่ จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ระบบเกษตรแบบผสมผสานที่เหมาะสม พัฒนาศักยภาพของดิน บนพื้นฐานต้นทุนต่ำ เข้าใจง่าย และปฏิบัติได้จริง

9.4 ส่งเสริมการจัดตั้งกลุ่มเกษตรกรรูปแบบเกษตรกรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีระบบ การจัดการด้านการผลิตทางการเกษตรให้ปลอดภัยวัสดุเหลือใช้ จากการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรม การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้หมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อการปรับปรุงดิน ตามศักยภาพของดิน เพิ่มผลผลิต และลดต้นทุนการผลิต เห็นถึงผลที่แท้จริงสู่การขยายผลนำไป ปฏิบัติได้ และประยุกต์ใช้พัฒนาขยายผลสู่การผลิตได้เป็นวงกว้าง พร้อมสนับสนุนกลุ่มเกษตรกร ที่มีศักยภาพ เพื่อถ่ายทอดขยายองค์ความรู้และเทคโนโลยีการจัดการอินทรีย์วัตถุจากวัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตรให้แก่เกษตรกรในพื้นที่ได้มากขึ้น

9.5 กรมพัฒนาที่ดินพิจารณาเพิ่มแผนนโยบายความตกลงร่วมมือระหว่างภาครัฐและภาคเอกชนที่เกี่ยวข้อง ดำเนินการจัดการระบบการผลิตวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทุกประเภท เพื่อหมุนเวียนกลับคืนสู่พื้นที่เพาะปลูก ซึ่งจะทำให้การปฏิบัติงานเปิดกว้าง สามารถติดตามความก้าวหน้าได้ และแก้ไขได้ดียิ่งขึ้น

10. การเผยแพร่ผลงาน

การจัดทำเอกสารเผยแพร่หน้าเว็บไซต์หน่วยงาน ได้แก่

เว็บไซต์หน่วยงานกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน

แหล่งเผยแพร่: <http://180.180.244.229/osb/Index.htm?mode=document>

(แสดงเอกสารเผยแพร่ที่ภาคผนวก ก ข้อ 1.)

11. ผู้มีส่วนร่วมในผลงาน (ถ้ามี)

11.1 - ไม่มี - สืบค้นผลงาน

ขอรับรองว่าผลงานดังกล่าวข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

(ลงชื่อ) จรัล ๗๗

(นางจันจิรา แสงสีเหลือง)

ตำแหน่ง นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ

ผู้ขอประเมิน

วันที่ 24 / กรกฎาคม / 2568

ขอรับรองว่าสัดส่วนการดำเนินการข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ (ถ้ามี)

รายชื่อผู้มีส่วนร่วมในผลงาน	ลายมือชื่อ
-	-

ได้ตรวจสอบแล้วขอรับรองว่าผลงานดังกล่าวข้างต้นถูกต้องตรงกับความเป็นจริงทุกประการ

(ลงชื่อ) ธวัช

(นายธวัช สิริธัญญาพัฒน์)

ตำแหน่ง ผู้อำนวยการกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน

ผู้บังคับบัญชาที่กำกับดูแล

วันที่ 24 / กรกฎาคม / 2568

(ลงชื่อ) ทวิศักดิ์

(นายทวิศักดิ์ ธนเดโชพล)

ตำแหน่ง อธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน

ผู้บังคับบัญชาที่เหนือขึ้นไป

วันที่ 8 / สิงหาคม / 2568

หมายเหตุ - คำรับรองจากผู้บังคับบัญชาอย่างน้อยสองระดับ คือ ผู้บังคับบัญชาที่กำกับดูแล และผู้บังคับบัญชาที่เหนือขึ้นไปอีกหนึ่งระดับ เว้นแต่ในกรณีที่ผู้บังคับบัญชาดังกล่าวเป็นบุคคลคนเดียวกัน ก็ให้มีคำรับรองหนึ่งระดับได้

- ผู้บังคับบัญชาที่กำกับดูแล ผู้ลงนามในแบบการประเมินบุคคล มีการโยกย้ายไปดำรงตำแหน่ง ผู้อำนวยการสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 10

เอกสารอ้างอิง

- กนกภรณ์ ดอนเจดีย์, คณิดา ตั้งคณานุรักษ์ และ นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์. 2562. การใช้ประโยชน์น้ำเสียและกากตะกอนหม้อกรองจากโรงงานน้ำตาลในการปลูกข้าวโพดหวาน. **เกษตรพระจอมเกล้า 37 (2): 284 - 292.**
- กนกวรรณ วัฒนากร และ พรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง. 2559. ผลของไคโตซานต่อผลผลิตข้าวเจ้าหอมนิล 2 ฤดูกาล. **แก่นเกษตร 44 (พิเศษ): 290 - 294.**
- กรมปศุสัตว์. 2564. **การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในการเกษตรและปศุสัตว์.** เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร “เวที 3/5 ประสานแบบมีส่วนร่วม” โครงการส่งเสริมเกษตรทฤษฎีใหม่. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2565. **ข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ในประเทศไทย 2565.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมประมง. 2566. **รายชื่อสถานแปรรูปสัตว์น้ำเบื้องต้นที่ได้รับการรับรองจากกรมประมง.** แหล่งที่มา: https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20231012165544_new.pdf, 20 มิถุนายน 2566.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **คู่มือจดเผดต่อซึ่งสร้างดินยั่งยืนพื้นที่สิ่งแวดล้อม.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2551. **การจัดการอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2553. **คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2556ก. **การจัดการดินเปรี้ยวจัด ดินกรด และดินอินทรีย์.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2556ข. **การจัดการดินเค็ม และต่าง.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2556ค. **การจัดการดินทราย ดินตื้น ดินลูกรัง ดินดาน และดินปนเปื้อน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2556ง. **ระเบียบกรมพัฒนาที่ดินว่าด้วยการใช้เครื่องหมายรับรองมาตรฐานปัจจัยการผลิตทางการเกษตร พ.ศ. 2556.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2558ก. **สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

- _____. 2558ข. คู่มือการพัฒนาที่ดินสำหรับหมอดินอาสาและเกษตรกร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2562ก. การใช้ที่ดินประเทศไทย พ.ศ. 2560 - 2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2562ข. แผนการใช้ที่ดินของประเทศไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2562ค. การใช้ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพทางดินกรมนพัฒนาที่ดินเพื่อส่งเสริมการใช้สารอินทรีย์ลดใช้สารเคมี. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556. คู่มือไบโอแก๊ส เชฟตี้. กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.
- _____. 2561. การวิเคราะห์ทบทวนปรับปรุงค่าคงที่ของอัตราส่วนชีวมวลและค่าสัมประสิทธิ์ชีวมวลเหลือใช้. แหล่งที่มา: www.dede.go.th, 10 มิถุนายน 2566.
- กรมวิชาการเกษตร. 2548ก. ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินและค่าสูงสุดของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์และกากตะกอนน้ำเสีย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2548ข. ปุ๋ยชีวภาพและผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2550. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องกำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2557. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องกำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมสรรพสามิต. 2557. รายชื่อผู้ได้รับอนุญาตทำสุรา. แหล่งที่มา: <https://www.excise.go.th/cs/groups/public/documents/document/mjaw/mdc1/~edisp/webportal16200075520.pdf>, 20 มิถุนายน 2566.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2543. คู่มือพืชสวนเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2554. เกษตรอินทรีย์ สู่วิถีเศรษฐกิจพอเพียง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2566. การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2566. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. 2563. โมเดลเศรษฐกิจ Bio - Circular - Green Economy (BCG Model). แหล่งที่มา: <https://www.mhesi.go.th/index.php/all-media/infographic/8914-660424general1.html>, 2 กันยายน 2567.

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน. 2558ก. **การใช้ปุ๋ยพืชสดเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทย.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2558ข. **คู่มือการจัดการอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กัญฐิกา ยังมณี, ภัทรรัตน์ เทียมเก่า และ อรพิน หนูทอง. 2562. การใช้เถ้าบอยเลอร์และกากตะกอนปาล์มร่วมกับมูลสัตว์ในการผลิตปุ๋ยหมัก. **เกษตรพระจอมเกล้า** 37 (4): 604 - 611.

กันยารัตน์ บัวราษฎร์, ศุภชัย อำคา, ชัยสิทธิ์ ทองจุ และ นวรัตน์ อุดมประเสริฐ. 2555. ผลของระบบการไถพรวนร่วมกับการใส่อินทรีย์วัตถุในดินต่อการเจริญเติบโตผลผลิต และการกักเก็บคาร์บอนในดินของการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80, น. 168 - 177. ใน **เอกสารวิจัยการประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

กาญจนดิษฐ์น้ำมันปาล์ม. 2558. **ประเภทของเสียโรงงานบริษัทกาญจนดิษฐ์น้ำมันปาล์ม.** แหล่งที่มา: <https://www.บริษัทกาญจนดิษฐ์น้ำมันปาล์มจำกัด-203575600161787>, 10 มีนาคม 2566.

กลุ่มชีวมวล สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน. 2554. **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานจากชีวมวล.** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

เกศศิรินทร์ แสงมณี, ชัยนาม ดิสภาพร และ สุรัชย์ สุวรรณชาติ. 2557. การจัดการดินด้วยเทคโนโลยีชีวภาพและถ่านชีวภาพในการผลิตผักคะน้าในดินทราย, น. 70. ใน **การประชุมวิชาการและนำเสนองานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อนครั้งที่ 8 วันที่ 20 - 21 กรกฎาคม 2557.** มหาวิทยาลัยหอการค้า, กรุงเทพฯ.

_____, อีระรัตน์ ชินแสน และ ญัฐพงษ์ พันธภา. 2558. การศึกษาอัตราส่วนของถ่านชีวภาพต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินปลูก การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักสลัดกรีนคอส, น. 746 - 752. ใน **การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 53: (สาขาพืช).** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์. 2562. **พจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา.** สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการถ่านน้ำโขง. 2556. **อธิธานศัพท์และคำนิยามเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปรับตัว.** 28 หน้า.

- คณะกรรมการพลังงานหอยการค้าไทย. 2567. รู้จัก ไบโอชาร์ ถ่านชีวภาพที่ช่วยปรับปรุงดินและลดโลกร้อน. แหล่งที่มา: <https://energy-thaichamber.org/biochar/>, 31 มีนาคม 2568.
- จันจิรา แสงสีเหลือง, ณวิวรรณ เหลืองวุฒิวโรจน์ และ พิมพ์ธิดา เรืองไพศาล. 2554. ศึกษาชนิดปุ๋ยหมักร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำต่อการเพิ่มผลผลิต และคุณภาพหน่อไม้ฝรั่งอินทรีย์. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ____ และ นวลจันทร์ ชะบา. 2562. การวิจัยการใช้ประโยชน์น้ำกากส่าเพื่อผลิตปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ละลายฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสร้างฮอร์โมนพืช. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ____ และ นวลจันทร์ ชะบา. 2563. การคัดเลือกและศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ____, นวลจันทร์ ชะบา, พนิดา ปรีเปรมโมทย์ และ วุฒิชัย จันทรมบัติ. 2563. ศึกษาการใช้จุลินทรีย์ผลิตกรด 5 - อะมิโนลิควอลีน ร่วมกับการจัดการดินกรด เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าว. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ____, พนิดา ปรีเปรมโมทย์ และ พิมพ์ธิดา เรืองไพศาล. 2559. การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพตรึงไนโตรเจน ละลายฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสร้างฮอร์โมนพืช ชนิดเม็ดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ____, พนิดา ปรีเปรมโมทย์ และ สิริณภา ชินอ่อน. 2560ก. ผลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชไร่. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ____, นวลจันทร์ ชะบา และ วุฒิชัย จันทรมบัติ. 2560ข. ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพพด. 12 ด้วยไบโอชาร์ต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ____, พิกุล เกตุชาญวิทย์ และ พนิดา ปรีเปรมโมทย์. 2552. ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง และอัตราที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในโรงเรือนทดลอง. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ____, พิกุล เกตุชาญวิทย์ และ วุฒิชัย จันทรมบัติ. 2558. การใช้ถ่านแกลบและถ่านชีวภาพ เพื่อรักษาความชื้นและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่นาดินทรายนอกเขตชลประทาน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

- _____ และ พิมพ์ธิดา เรืองไพศาล. 2551. ศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากสารเร่ง
ซูเปอร์ พด. 1 ต่อการปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มผลผลิตค่น้ำในโรงเรือนกระจก.
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____ และ พิมพ์ธิดา เรืองไพศาล. 2552. ศึกษาชนิดและอัตราปุ๋ยอินทรีย์ต่อการปรับปรุงสมบัติดิน
เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพหน่อไม้ฝรั่ง. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
กรุงเทพฯ.
- _____ และ วรธรรมา สุธรรมชัย. 2558. การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและสังคมจุลินทรีย์บริเวณรากพืช
ต่อการหมุนเวียนธาตุอาหารภายใต้การจัดการดินในระบบการปลูกข้าวโพดหวานอินทรีย์.
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- จิตรทิวา เหลืองวิเศษ. 2564. การใช้ปุ๋ยหมักจากกากมันสำปะหลังร่วมกับปุ๋ยหมักจากสารเร่ง
ซูเปอร์ พด. 1 เป็นวัสดุปลูกเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพมะเขือเทศเชอร์รี่ พันธุ์ชาลาริโนใน
สภาพโรงเรือน ตำบลเมืองศรีโค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี. กรมพัฒนาที่ดิน,
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- จิตินภา ศรีวัธนทรัพย์. 2558. นักวิจัยแนะเกษตรกรใส่ “ถ่านชีวภาพ” ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพิ่มผลผลิต
ข้าวไร่. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- จุไรรัตน์ คุรุโคตร. 2554. การทำปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อใช้ในการเกษตรปลอดสารพิษ. วิจัยและพัฒนา
ระบบสุขภาพ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 10 (1): 561 - 568.
- จุฑามาศ แก้วมโน. 2564. ผลของรูปแบบการปลูกยางพาราต่อตัวชี้บอกคุณภาพดินด้านการเก็บ
กักน้ำของดินร่วนเหนียว. วิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 39 (2): 68 - 80.
- เจษฎา กาญจนเกษร, ธงชัย ขาติเผือก, อิศร ตั้งสุวรรณ และ เกศศิริรินทร์ แสงมณี. 2561. ผลของ
ถ่านชีวภาพจากแกลบและปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ปลูก
ในพื้นที่ดินกรด. วิทยาศาสตร์เกษตร 49 (1) (พิเศษ): 194 - 198.
- ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, พิมพ์ธิดา เรืองไพศาล และ จันจิรา แสงสีเหลือง. 2552. การแยกและ
คัดเลือกจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมให้เป็นประโยชน์ต่อพืช. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวง
เกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ชฎาภา ใจหมั่น. 2564. ผลของการใช้ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดิน และลดการปลดปล่อย
ก๊าซเรือนกระจกภายใต้ระบบการปลูกข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ชนากานต์ แยมภูิก, ผานิตย์ นาขยัน, สาวิกา กอนแสง, ภาวิณี อารีศรีสม และ วิภา นิลงค์. 2565.
อิทธิพลของน้ำหมักชีวภาพต่อการย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของฟางข้าว.
แก่นเกษตร 50 (6): 1797 - 1807.

- ชัยวัฒน์ วงษ์ไกร. 2559. ผลของกากตะกอนยีสต์จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัยวัช โสวเจริญสุข. 2562. แนวโน้มธุรกิจอุตสาหกรรม ปี 2562 - 2564: อุตสาหกรรมอาหารทะเลแปรรูป. งานวิจัยธนาคารกรุงศรีอยุธยา. แหล่งที่มา: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/food-beverage/processed-seafood/io/io-froccessed-seafood-20>, 15 เมษายน 2566.
- ชัยสิทธิ์ ทองจู. 2538. การใช้อินทรีย์วัตถุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับกวางตุ้งและข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในดินชุดกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- _____. 2563. การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเพื่อประโยชน์ทางการเกษตร. เกษตรกรรม 6 (30) : 44 - 45.
- ชาญ ธีรพร และ โชติ สิทธิบุศย์. 2537. ดินและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพกับมันสำปะหลัง. ในเอกสารวิชาการมันสำปะหลัง. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ชาลินี คงสุด, ชัยสิทธิ์ ทองจู, จุฑามาศ ร่มแก้ว และ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2561. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากผลพลอยได้โรงงานน้ำตาลต่อผลผลิตองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยและสมบัติบางประการของดิน. แก่นเกษตร 46 (4): 623 - 632.
- ชุตินุช สุจริต. 2542. การเลี้ยงยีสต์ในน้ำนิ่งปลาหลังการแยกโปรตีนและไขมัน, น. 19. ในรายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 16. ณ โรงแรมโซฟิเทล ราชอาศิต จังหวัดขอนแก่น.
- _____, อุไรวรรณ วัฒนกุล, วัฒนา วัฒนกุล และ สมรักษ์ รอดเจริญ. 2557. การลดปริมาณสารอินทรีย์โดยใช้ตัวกระทำทางชีวภาพในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพื่อผลิตโปรตีนเซลล์เดียว. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- ณัฐาทัศน์ เจ้ยเปี้ยว. 2558. การจัดการของเสียในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน กรณีศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน และกากตะกอนดีแคนเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ณัฐภูมิ ปลื้มใจ. 2561. การใช้ประโยชน์กากตะกอนหม้อกรองจากโรงงานน้ำตาล เพื่อเป็นทางเลือกและลดการเสื่อมโทรมของดินหลังการปลูกอ้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ณิชาภัทร สิทธิวรนนท์. 2562. ผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อความอุดมสมบูรณ์ของการกักเก็บน้ำในดิน และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทวีทรัพย์ ไชยรักษ์, กัญชลิกา รัตนเชิดฉาย, เหล็กไหล จันทะบุตร และ วิทยา ตริโลเกศ. 2561. ผลของการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และโคโคซานทางใบต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของ มันสำปะหลัง. การเกษตรราชภัฏ 17 (1): 51 - 60.
- ทัศนีย์ บุญประจำ. 2553. การศึกษาอัตราการใช้น้ำอากาศสำหรับอ้อยปลูก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ทัศนีย์ ดิฐกมล. 2553. การใช้ประโยชน์ของน้ำอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมันสำปะหลังทดแทนพลังงาน. มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- _____ และ สมบูรณ์ แก้วปั้นทอง. 2547. ประโยชน์ของน้ำอากาศสำหรับการผลิตข้าว จังหวัดขอนแก่น. มหาวิทยาลัยรามคำแหง 7 (พิเศษ): 132 - 151.
- ทิพวรรณ แก้วหนู. 2558. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากกากตะกอนยีสต์และน้ำวินัสต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธีระพงศ์ สว่างปัญญากุล. 2549. คู่มือการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกลับกอง ระบบเติมอากาศ. ศูนย์สาธิตการผลิตปุ๋ยหมักระบบกองเติมอากาศ แม่โจ้ 70 ปี คณะวิศวกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ธีรวุฒิ ชูตินันท์กุล. 2568. บทบาท แนวทางและการสนับสนุนส่งเสริมของภาครัฐต่อการใช้ประโยชน์ไบโอชาร์ เพื่อการจัดการก๊าซเรือนกระจกสำหรับภาคเกษตร. ใน ประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ 20 NAC2025. ศูนย์ประชุมอุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย, จังหวัดปทุมธานี.
- นาฏสุดา ภูมิงานง. 2547. แหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้และกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินภายใต้พิธีสารเกียวโต. ใน เอกสารประกอบการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ "ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ" ณ โรงแรมมารวยการ์เด็น กรุงเทพฯ วันที่ 16 - 17 มิถุนายน 2547 กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

- นทีทิพย์ โรจน์สวัสดิ์สุข, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, ศุภิมา ธนะจิตต์ และ เอิบ เขียวรีนรมย์. 2561. ผลของกากแป้งมันสำปะหลังต่อผลผลิตและการดูแลใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลังพันธุ์ ห้วยบง 80 ที่ปลูกในชุดดินโคราช. **แก่นเกษตร** 46 (2): 203 - 212.
- นฤพนธ์ รักขยัน. 2557. การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นฤมล สุมาลี. 2541. การหาค่าย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และค่าพลังงานการใช้ประโยชน์ได้ในอาหารโคนมโดยการใช้เทคนิคการวัดแก๊สแบบไฮเซนไฮม์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นวลใจ โคตรแสง และ พงษกร ชมภูแสน. 2556. ผลของโคโตซานต่อการเจริญเติบโตของคะน้า. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับพิเศษ**: 478 - 484.
- นวลจันทร์ ชะบา. 2557. ศึกษาการใช้น้ำหมักชีวภาพ และจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายต่อซังข้าว การปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ และการปลูกข้าวสุพรรณบุรี 1 ในชุดดินเดิมบาง. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____, จันจิรา แสงสีเหลือง, พนิดา ปรีเปรมโมทย์ และ วุฒิชัย จันทรมบัติ. 2562. วิจัยคัดเลือก จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์เพื่อใช้ประโยชน์ในพื้นที่ ดินเค็ม ดินกรด, น. 13 - 27. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ กรมพัฒนาที่ดิน ปี 2562. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- นันทปรีชา สิงห์ทอง. 2562. การไฟโรไลซิสเชิงเร่งปฏิกิริยาของถ่านทอร์รีไฟต์ในเครื่องปฏิกรณ์ ฟลูอิดไธด์แบบบดฟอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- บรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์ และ รติกร ณ ลำปาง. 2560. การประเมินคุณภาพดินและการใช้ ถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดินและเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในพื้นที่ ดินกรด. กรมพัฒนาที่ดินกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. และ นวลจันทร์ ภาสตา. 2560. การศึกษาสมบัติของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดิน และ ผลผลิต พืชสมุนไพรขึ้นในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- บัญชา รัตน์ทุ. 2564. ผลของการใช้วัสดุอินทรีย์ผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นวัสดุใน การปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า. **แก่นเกษตร** 49 (พิเศษ 1): 888 - 893.
- _____. และ ศิราณี วงศ์กระจ่าง. 2561. ผลของการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อ การปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวหอมกระดังงา (สายพันธุ์พื้นเมือง). **แก่นเกษตร** 46 (พิเศษ 1): 463 - 467.

- บริษัท เบสตัน กรุ๊ป จำกัด. 2024. **อุปกรณ์การผลิตไบโอชาร์**. แหล่งที่มา: <https://bestoncompany.com/th/biochar-production-equipment>, 15 สิงหาคม 2024.
- บุญนะ อานันชนะ. 2532. **ปริมาณและการกระจายอินทรีย์วัตถุของดินในประเทศไทย**. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 168 กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ปณิดา กันถาด, ประสาทพร กอวยชัย และ จิระศักดิ์ วิชาสวัสดิ์. 2556. **การศึกษาการใช้ทะเลาะเปลาปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนำไปทำเห็ดฟางแล้วมาเป็นปุ๋ยในสวนมังคุด ปีที่ 2**. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- ประกาศิต อินทรสำอางค์, พรเพ็ญ โพธิ์ทอง และ ขวลิศ ธงประยูร. 2552. การแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ชี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ. **ดินและปุ๋ย** 31 (3): 189 - 200.
- ประภาส ช่างเหล็ก, วิจารย์ วิชชกิจ, เอ็จ สโรบล, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์ และ จำลอง เจียมจำนรรจา. 2549. ผลของเปลือกมันสำปะหลังและปุ๋ยเคมีที่มีต่อผลผลิตหัวสดของ มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60, น. 282 - 288. ใน **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประวิทย์ สูงสุด, นิวัต เหลืองชัยศรี, จักรกฤษณ์ หอมจันทร์, และ ชุติมาศ บุญไทย อิวาย. 2550. การใช้ น้ำกากส่าจากโรงงานเอทานอลเพื่อประโยชน์ทางการเกษตร. **วิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)** 7 (4): 13 - 19.
- ปัทมา วิทยากร. 2547. **ความอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นสูง**. ภาควิชาทรัพยากรดินที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปิยะวดี ศรีวิชัย และ เสกสรรค์ ทองดีบ. 2564. **การใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุผสมในอิฐมอญ**. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ปิยะ ดวงพัตรา. 2553. **สารปรับปรุงดิน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เปรมปรี ญ สงขลา. 2530. แนวทางการใช้ประโยชน์จากน้ำส่าเหล้า. **การเกษตร** 11 (127): 6 - 11.
- พนิดา ปรีเปรมโมทย์, พิกุล เกตุชาญวิทย์ และ จันจิรา แสงสีเหลือง. 2551. **ศึกษาประสิทธิภาพและอัตราที่เหมาะสมของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อการเจริญเติบโตของข้าว (ไม่ไวแสง)**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- พัชรนันท์ กิจสกุลไพศาล. 2542. แนวโน้มการพัฒนาและการผลิตไคติน - ไคโตซาน ในประเทศไทย. **อินดัสเทรียล เทคโนโลยี รีวิว** 6 (60): 50 - 52.

- พิทยากร ล้มทอง, วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, เสียงแจ้ว พิริยพจน์, ประโสด ธรรมเขต, ชุศรี ยสินธร และ ปรัชญา ัญญาดี. 2534. ผลของวิธีการระบายอากาศต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว, น. 35 - 44. ใน รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ____ และ ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2541. การวิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำระบบการจัดเก็บข้อมูลด้านวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมทางการเกษตรของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- พิทักษ์พงศ์ ป้อมปราณี. 2560. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาปฐพีวิทยา. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม.
- พินิจภณ ปิตุยะ. 2558. ผลของการผสมถ่านชีวภาพในดินทรายบริเวณพื้นที่เงาฝนเพื่อเพิ่มผลผลิตงาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิบูลย์ กังแฮ. 2554. คุณภาพดิน. เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พิริยธร สุวรรณมาลา. ม.ป.ป. ไมโครโคโตซาน. สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). แหล่งที่มา: https://www.thailandtechshow.com/upload_technology/attachment/1352.pdf, 20 มิถุนายน 2566.
- พูนสุข ประเสริฐสรรพ. 2558. การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ____, อรัญ หันพงศ์กิตติกุล และ โสภา จันทภาโส. 2544. เปรียบเทียบการกำจัดสีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพ. *สงขลานครินทร์* 4 (2): 133 - 137.
- ____, เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และ อรัญ หันพงศ์กิตติกุล. 2553. กระบวนการผลิตการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้ง และคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม. *สงขลานครินทร์* 12 (2): 169 - 176.
- พงศ์เทพ อันตะริกานนท์, ประไพศรี สมใจ, สุริยา สาสนรักกิจ, วชิรินทร์ รัตนพันธ์ และ พชร วีระนนท์. 2540. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปลากระป๋อง. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- พงษ์นรินทร์ นิ่มนวล. 2557. การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, ศุภิมา ธนะจิตต์, ดาวจรัส เกตุโรจน์ และ ปรีชา เพชรประไพ.

2560. ผลของกากแป้งมันสำปะหลัง หินปูนบด และโดโลไมต์ ต่อสมบัติดินและมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินสติก. **แก่นเกษตร** 45 (1): 25 - 34.

พรทิพย์ ศรีมงคล, กฤษฎา พันธะสา, รณชัย ไชคำ, ณัฐวุฒ เนียมแดง, อภิวัฒน์ ภูมิภักดิ์, และ ศุภวารรณ ประพันธ์. 2020. อิทธิพลของวัสดุคลุมดินต่อการควบคุมวัชพืชผลผลิตข้าวโพดหวาน และการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดิน. **แก่นเกษตร** 48 (1): 453 - 458.

พรพิมล เกียรติภาพันธ์ และ วัฒนาลัย ปานบ้านเกร็ด. 2554. **การใช้สารสกัดกรด 5 - อะมิโนลิวูลินิก จากจุลินทรีย์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

พรรณทิพย์ กาหยี. 2560. การติดตามตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโดยด้วยวิธีทางชีวภาพ. **สิ่งแวดล้อม** 21 (3): 53 - 60.

ภรณ์กิตา พงษ์ประสิทธิ์. 2555. **การกำจัดไขมันและน้ำมันจากน้ำทิ้งโรงอาหารด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัทรา ประเสริฐสมบัติ, ศุภิมา ธนะจิต, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และ เอิบ เขียวรีนรมณ์. 2554. ผลของการไถพรวนต่อสมบัติของดินและผลิตข้าวโพดที่ปลูกบนดินชุดดินวาริน. **แก่นเกษตร** 39 (1): 13 - 24.

ภาณุพงศ์ บางรักษ์. 2548. **การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผสมน้ำหมักของ *Rhodobacter capsulatus* SS3 และการใช้ในการปลูกผักบุ้งและต้นหอม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภารุจิร ภูมิไกล. 2556. **สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ *Azotobacter vinelandii* ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนสำหรับปลูกอ้อย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาวดี เมธะคานนท์, อศิรา เพื่องฟูชาติ และ ก้องเกียรติ คงสุวรรณ. 2543. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไคติน - ไคโตซาน. **เอ็มเทค** 19: 69 - 75.

มงคล ต๊ะอูน, ชลิตมาศ บุญไทย อิวาย, และ สุทธิพงศ์ เป็รื่องคำ. 2560. ผลกระทบทรัพยากรดินจากการใช้น้ำกากส่าของการปลูกอ้อยในเชิงพื้นที่. **แก่นเกษตร** 45: 419 - 423.

มิตรผลโมเดิร์นฟาร์ม. 2564. **ประโยชน์ของฟิลเตอร์เค้ก (Filter Cake) วัสดุปรับปรุงดินจากมิตรผล**. แหล่งที่มา: <https://www.mitrpholmodernfarm.com/news/2021/07/5>, 10 มีนาคม 2566.

ยงยุทธ โอสมสภา. 2547. **การใช้ปุ๋ยในระบบชลประทาน**. ใน **เพียงเพื่อปฐพี ที่ระลึกเนื่องในวาระเกษียณอายุราชการ**. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2557ก. **คุณภาพดินเพื่อการเกษตร**. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

- _____. 2557ข. การใช้สารเร่งชีวภาพเพื่อส่งเสริมการเจริญของพืช. **ดินและปุ๋ย** 36: 1 - 4.
- _____. 2560. คุณภาพดินเพื่อการผลิตพืชอย่างยั่งยืน. **เกษตรกรรม** 3 (17): 23 - 25.
- _____, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ขวลิท ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 519 หน้า.
- ยุทธนา พลศรี และ ศิริวรรณ แดงฉำ. 2565. ผลของการเพิ่มประสิทธิภาพน้ำสัดจากมูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนโอ๊คในระบบไฮโดรโปนิคส์. **วิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ** 5 (1): 27 - 33.
- รุจิกร ศรีแมนม่วง. 2563. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วัฒนา พัฒนถาวร. 2563. การศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- วิดา คະนะแนม. 2552. ผลของมูลไก่ กากตะกอนดีแคเตอร์ และดินแดงในการผลิตปุ๋ยหมักจากทะลายปล่าปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วรกาย อุสำห. 2541. ปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในพืชที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกผสมระหว่างตะกอนน้ำเสียและดินในท้องที่จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, พัทยากร ลิมทอง, เสียงแจ้ว พิริยพจน์ และ ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2534. ผลของมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ ต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว, น. 27 - 34. ใน รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- วิทยา ธนานุสนธิ์. 2541. ประสิทธิภาพของเชื้อไรโซเบียมที่ใช้ filter cake จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล เป็นสารอาหารในการผลิตถั่วเหลืองสภาพไร่นาเกษตรกร, น. 38 - 54. ใน งานวิจัย **ปุ๋ยชีวภาพ (เล่ม2)**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- วิชุดา กัลป์ยาศิริ. 2556. ผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อผลผลิตข้าวและคุณภาพดินเหนียวปนทรายกรณีศึกษาตำบลป่าเต็ง อำเภอกำแพงกระเจาน จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิสุทธิ เลิศไกร. 2559. การหมุนเวียนธาตุอาหารและเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินจากเศษซากพืชในแปลงเกษตรกรรมด้วยวิธีการไถกลบตอซัง. กลุ่มวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตร, สำนักพัฒนาพื้นที่การปฏิรูปที่ดิน.
- วิฑูรย์ เลี่ยนจำรูญ. 2539. เกษตรกรรมทางเลือก ความหมาย ความเป็นมาและเทคนิควิธี. แหล่งที่มา: <http://www.aecth.org/Article/Detail/149390>, 10 กันยายน 2567.

- วิวัฒน์ อิงคะประดิษฐ์, วัฒน์ จัตรงค์, พิพัฒน์ พิริยานนท์ และ วิญญู วงศ์อุบล. 2550. การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินนาในการผลิตข้าวโดยใช้ปุ๋ยเคมี และวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทราย. *Thai Rice Research* 2 (1).
- วิชญู จินยัว. 2557. การใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อเพิ่มผลผลิตของอ้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีณารัตน์ มุลรัตน์. 2553. ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาที่ใช้กากสาหร่ายทอดแทนกากน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตของผักโขม (*Amaranthus tricolor*) ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ (*Brassica campestris* var. *chinensis*) และผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica* var. *reptans*). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วีระชัย อัจฉาญ, สมรัฐ เกิดสุวรรณ และ วีรัช อยู่ชา. 2555. โครงการศึกษาแนวทางการบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและลดการเกิดหมอกควัน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วีระศักดิ์ โควสุรัตน์. 2568. ไบโอดี เฝ้าไม่ส่งฝุ่น ได้ลุ้นคาร์บอนเครดิต. แหล่งที่มา: <https://www.weerasak.org/articles/vdo-weerasak/20250205>, 31 มีนาคม 2568.
- วุฒิชัย จันทรมบัติ, นวลจันทร์ ชะบา และ จันจิรา แสงสีเหลือง. 2560. ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบเป็นวัสดุรองรับจุลินทรีย์ เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____, บวร บัวขาว, ภัทรานิษฐ์ ช่วยสระน้อย และ นิภาพร ศรีบัณฑิต. 2567. ผลของถ่านชีวภาพจากวัสดุท้องถิ่นที่แตกต่างกัน ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินเค็มภายใต้การอนุรักษ์ดินและน้ำแบบที่ 1 ในพื้นที่แอ่งโคราช, น. 18 - 19. ใน เอกสารประชุมวิชาการกรมพัฒนาที่ดิน 2567. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ศรีสุตา ทิพย์รักษ์, กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ และ เจิม จาบประโคน. 2555. ผลของอัตราปุ๋ยเคมีและน้ำกากส่าต่อผลผลิตอ้อยและความอุดมสมบูรณ์ของดินร่วนทราย ชุดยโสธร. *แก่นเกษตร* 40: 115 - 129.
- ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. 2533. *ปุ๋ยหมัก*. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์ และ อรสา สุกสว่าง. 2556. การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร. *สังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์* 39 (2): 212 - 225.

- ศิริณี วงศ์กระจ่าง. 2558. ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากทะลายเป่าปาล์มน้ำมัน เพื่อการเจริญเติบโตของกล้าปาล์มน้ำมัน. แหล่งที่มา: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pnujr/article/view/53901/44737>, 15 มีนาคม 2566.
- _____ และ บัญชา รัตน์ทุ. 2561. ผลของการใช้ดินผสมจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น จ. นราธิวาส ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค. **แก่นเกษตร** 46 (พิเศษ 1): 156 - 1161.
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และ มานิจ ทองประเสริฐ. 2552. การเก็บและกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. **Engineer Today** 7: 50 - 52.
- ศุภชัย อ่ำคา, กนกกร สีนมา และ กษิ์เดช ธีรนิธยาธาร. 2560. ผลของไคโตซานเพื่อเพิ่มผลผลิตและปริมาณสารทุติยภูมิในข้าว. แหล่งที่มา: <https://tarr.arda.or.th/preview/item/YfEjoOF1vOPbshYJqY4Mz?isAI=true>, 15 มีนาคม 2566.
- ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศุภรัตน์ รักขพันธ์. 2544. ปัจจัยที่มีผลต่อมวลชีวภาพและองค์ประกอบของเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานอาหารทะเล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศูนย์ข้อมูลปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มทั้งระบบ. 2566. สรุปจำนวนลานเท โรงงานสกัด โรงกลั่น โรงไบโอดีเซลของประเทศไทย. สถาบันวิจัยและนวัตกรรมปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม. แหล่งที่มา: <https://dmhost1.psu.ac.th/~oppori/index.php/statistics/factory>, 10 มีนาคม 2566.
- สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2549. การนำของจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า. รายงานบทสรุปผู้บริหาร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน.
- สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 2560. สิ่งประดิษฐ์ชีวภัณฑ์ 5 - อะมิโนลิวูลินิก. แหล่งที่มา: http://www.rdi.rmutsv.ac.th/_info/sites/default/files/newsletter5-01-2560.pdf, 10 มีนาคม 2566.
- สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2565. การผลิตแป้งมันสำปะหลัง. แหล่งที่มา: https://www.thaitapiocastarch.org/th/information/statistics/weekly_tapioca_starch_market/885/25%20October%202022, 11 มีนาคม 2566.
- สมยศ เดชภีรัตน์มงคล. 2018. ผลของการใช้วัสดุคลุมแปลงปลูกที่แตกต่างกัน ที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของฟ้าทะลายโจร. **แก่นเกษตร** 46 (1): 494 - 500.

- สมศรี อรุณินท์. 2539. **ดินเค็มในประเทศไทย**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สมบุรณ์ กิริติประยูร. ม.ป.ป. การประมาณปริมาณคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้. ใน **เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การประมาณการเก็บกักคาร์บอนของต้นไม้ในสวนป่า**. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักงานวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สมลักษณ์ จูฑะคะ. ม.ป.ป. **วิจัยและพัฒนาการจัดการดินเพื่อผลิตมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบเอทานอล**. แหล่งที่มา: <http://libdoa.go.th/multim/BB01136.pdf>, 10 มีนาคม 2566.
- สันติภาพ ทองอ่อน. 2557. **ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากกากตะกอนยีสต์และน้ำวีเนสต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยต่อ ปีที่ 1**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุนทร บุญบำเรอ. 2552. **การใช้ประโยชน์น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังเพื่อการปลูกข้าว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
- สุรพันธ์ อัคระนัด และ ครรชิต ฐรมะโรหิต. 2526. **ปลูกพืชไร่บนดินกรดจะอย่างไร. ดินและปุ๋ย** 91 - 94.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2565. **โครงการช่วยเหลือเกษตรกรชาวไร่อ้อยตัดอ้อยสดคุณภาพดี เพื่อลดฝุ่น PM2.5 ฤดูกาลผลิตปี 2564/2565**. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. **ร้อยละและปริมาณการขายผลผลิตรายเดือนรวมทั้งประเทศรายภาค และรายจังหวัด ปี 2564**. แหล่งที่มา: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/percent%20oilpalm%2064.pdf>, 10 มีนาคม 2566.
- _____. 2565. **ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร**. แหล่งที่มา: <https://www.oae.go.th/view/1/TH-TH>, 15 มีนาคม 2566.
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2565. **ปริมาณการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์**. แหล่งที่มา: <https://www.lhbank.co.th/getattachment/cb2c8d6e-6358-4d86-b1af-67a516679116/economic-analysis-Industry-Outlook-2023-Alcoholic-Drinking>, 20 มีนาคม 2566.
- สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน. 2559. **การศึกษาการใช้ชีวมวลฟางข้าว ใบและยอดอ้อย และลำต้นข้าวโพด เพื่อผลิตพลังงานทดแทน**. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน.

- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. ม.ป.ป. ปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยสำหรับพืชที่มีในมูลสัตว์แห้งชนิดต่าง ๆ. แหล่งที่มา: https://www.opsmoac.go.th/chachoengsao-local_wisdom-preview-431591791845, 10 มีนาคม 2566.
- สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2554. น้ำกักตมมูลสุกร การใช้มูลสัตว์เป็นปุ๋ยสำหรับพืชอย่างมีประสิทธิภาพ. ฝ่ายส่งเสริมและเผยแพร่ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุกัญญา จัตตพรพงษ์ และ วราพันธ์ จินตณวิทย์. 2552. การใช้ประโยชน์เศษเหลือจากมันสำปะหลัง. มุลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, กรุงเทพฯ.
- สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2542. น้ำกากส่าเพื่อการเกษตร. มติชนบท เทคโนโลยีชาวบ้าน 11 (220): 12 - 13.
- สุปราณี มั่นหมาย, ภาวนา ลิกขนานนท์ศิริลักษณ์, แก้ว สุรลิขิต, อธิปัตย์ คลังบุญครอง, ประไพ ทองระอา, นิศารัตน์ ทวีนุต และ พิรพงษ์ เชาวนพงษ์. 2557. การย่อยสลายตอซังและฟางข้าวในแปลงนาเพื่อให้สามารถปลูกข้าวได้. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สุมาลัย ศรีกำไลทอง. 2541. เทคโนโลยีการจัดการของเหลือใช้จากกุ้ง, น. 6. ใน เอกสารประกอบการอภิปรายในหัวข้อ “ทิศทางการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำของเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรมาใช้ประโยชน์”. ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 11 หาดใหญ่, สงขลา.
- สุรกิตติ ศรีกุล, สุพร ช่างคมณี และ วชิร ศรีรักษา. 2548. การผลิตพันธุ์ปาล์มน้ำมันในเอกสารวิชาการปาล์มน้ำมัน. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- โสฬส แซ่ลิ้ม. 2559. ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- เสียงแจ้ว พิริยพณต์, พินยากร ลิ้มทอง, ปรีดี ดีรักษา, วรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, ปรัชญา ธัญญาดี และ Shinichi Yoshioka. 2534. ผลของการใช้วัสดุชนิดต่าง ๆ ในการทำปุ๋ยหมักต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์, น. 45 - 52. ใน รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- เสาวคนธ์ เหมวงษ์. 2557. ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่ และเกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดใช้ในโตรเจนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 1 (16): 69 - 75.

- เสาวรส เหลือขุนขาบ. 2560. การผลิตก๊าซชีวภาพน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนโดยใช้
กลยุทธการหมักรวม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- เสาวลักษณ์ วนิชสุวรรณ. 2543. การสกัดและสมบัติบางประการของแคโรทีโนโปรตีนจากวัสดุเหลือใช้
จากกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อนนท์ สุขสวัสดิ์. 2547. การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินนา. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์,
กรุงเทพฯ.
- อรสา สุกสว่าง. 2558. ไบโอบาร์ ถ่านชีวภาพ. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
แหล่งที่มา: <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=20127>, 20 มีนาคม 2566.
- อทิพันธ์ เสียมไหม, ไฮดี มาซอ และ พูนสุข ประเสริฐสรรพ. 2549. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน
ปาล์มดิบผสมและน้ำมันกรดที่สกัดได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.
รายงานโครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (IRPUS) สำนักงานกองทุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- อชิป เมฆพิรุณ. 2562. การศึกษาคุณลักษณะของเสียอินทรีย์จากกระบวนการผลิตซูริมิเพื่อใช้เป็น
ปุ๋ยหมักชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อภิรักษ์ จงเหลือสะอาด, วิทยา จินดาหลวง และ ทิมทอง ตรุณสนธยา. 2560. ปัจจัยทางดินที่ส่งผล
ต่อปริมาณและการแจกกระจายของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ตะกอนน้ำพา บริเวณที่ราบลุ่ม
ภาคกลางของประเทศไทย, น. 1 - 8. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55 (สาขาพืช). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อภิเชษฐ์ เหมือนอร่าม, วิเชียร ลีลาวัชรมาศ และ ประมุข ภาระกุลสุขสถิต. ม.ป.ป. ผลของกากน้ำตาล
และกากเซลล์ยีสต์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการผลิตแบคทีเรียกรดแลกติก. แหล่งที่มา:
https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/BKN_AGRO/search_detail/download_digital_file/12626/101967, 5 มีนาคม 2566.
- อรรถพล เป็ล้องไธสง, ธรรมเรศ เชื้อสาวถี และ วิทยา ตรีโลเกศ. 2566. การศึกษาอัตราส่วนของ
แกลบที่ผสมกับปุ๋ยหมักเปลือกมันสำปะหลังต่อสมบัติดิน ในพื้นที่ดินเค็ม จังหวัดบุรีรัมย์.
แก่นเกษตร 51 (1): 162 - 171.
- อรรณพ พุทธโส. 2559. การกักเก็บคาร์บอนในดินตัวแทนหลักภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- อานัฐ ตันโช. 2549. เกษตรธรรมชาติประยุกต์. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.

- อานนท์ หาญพิชิตวิทยา, วิภาวรรณ ท้ายเมือง, กนกกร สีนมา และ สิริินภา ช่วงโสภาส. 2564. การศึกษาความหลากหลายของแบคทีเรียในดินของพื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานในชุดดิน กำแพงแสน, น. 930. ใน **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 59**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อาทิตย์ หลอกกลาง. 2559. การใช้ประโยชน์น้ำเสียจากโรงงานแปรงไม้สำหรับปลูกหญ้าเนเปียร์ในพื้นที่ดินเค็ม. **วิจัยราชภัฏธนบุรีรับใช้สังคม** 2: 2.
- อารีรัตน์ ชณะรัตน์ และ คณิตา ตั้งคนานุรักษ์. 2562. ผลของน้ำหมักชีวภาพจากของเหลือทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมปลาแป้นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมห่อและดาวเรือง. **Thai J. of Science and Technology** 8 (1): 43 - 53.
- อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์. 2562. การปรับปรุงดินกรดด้วยเถ้าถ่านจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลเพื่อปลูกข้าวโพดฝักอ่อน. **มหาวิทยาลัยทักษิณ** 22 (2): 37 - 43.
- อุกฤษ อุณหเลขกะ. 2563. การส่งเสริมเกษตรกรเก็บซากวัสดุทางการเกษตรผ่านแอปพลิเคชัน **รีคัลท์**. สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์. 2545. การใช้ประโยชน์กากตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลสำหรับเป็นปุ๋ยหมัก และสารปรับปรุงดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Abdelhafez, A.A., M.H. Abbas and J. Li. 2017. **Biochar: the black diamond for soil sustainability, contamination control and agricultural production**. Available Source: <http://10.57772/intechopen.68803>, July 10, 2023.
- Abdullah, H. and H. Wu. 2009. Biochar as a fuel: 1. properties and grindability of biochar produced from the pyrolysis of mallee wood under slow - heating conditions. **Energ. Fuel**. 23 (8): 4174 - 4181.
- Ahmad, M., A.U. Rajapaksha, J.E. Lim, M. Zhang, N. Bolan, D. Mohan, M. Vithanage, S.S. Lee and Y.S. Ok. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water. **Chemosphere** 99: 19 - 33.
- Akram, N.A. and M. Ashraf. 2013. Regulation in plant stress tolerance by a potential plant growth regulator, 5 - aminolevulinic acid. **J. Plant Growth Regul.** 32: 663 - 679.
- Alexander, M. 1977. **Introduction to soil microbiology**. 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc., New York London.

- Alexander, R. 2001. Compost utilization in landscapes. *In* **compost utilization in agricultural cropping systems**. P.J. Stoffella and B.A. Kahn, eds. Lewis Publisher, New York.
- Allison, S.D. and P.M. Vitousek. 2005. Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrient inputs. **Soil Biol. Biochem.** 37: 937 - 944.
- Al-Wabel, M.I., A. Al-Omran, A.H. El-Naggar, M. Nadeem and A.R. Usman. 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. **Bioresource Technol.** 131: 374 - 379.
- Asia Pacific Biochar Market. 2023. **Asia pacific biochar market report**. Available Source: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/asia-pacific-biochar-market-report#>, August 14, 2024.
- Asdullah, M., M.A. Rahman, M.M. Ali, M.S. Rahman, M.A. Motin, M.B. Sultan and M.R. Alam. 2007. Production of bio - oil from fixed bed pyrolysis of bagasse. **Fuel.** 86: 2514 - 2520.
- Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald and N.A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils. **Plant Soil** 337: 1 - 18.
- Bach, Q.V. and Q. Skreiberg. 2016. Upgrading biomass fuels via wet torrefaction: A review and comparison with dry torrefaction. **Renew. Sustain. Energy Rev.** 54: 665 - 677.
- Baharuddin, A.S., N. Kazunori, S. Abd-Aziz, M. Tabatabaei, N.A.A. Rahman and M.A. Hassan. 2009. Characteristics and microbial succession in co - composting of oil palm empty fruit bunches and partially treated palm oil mill effluent. **Biotechnol. J.** 3: 92 - 100.
- Baldi, H.D., T.L. Foster, X. Shen, S.E. Feagley, F.E. Smeins, D.B. Hays and R.W. Jessup. 2020. Characterization of novel torrefied biomass and biochar amendments. **J. Agr. Sci.** 11: 157 - 177.
- Bandick, A.K. and R.P. Dick. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biol. Biochem.** 31: 1471 - 1479.

- Bardgett, R.D. 2005. **The biology of soils: a community and ecosystem approach**. Oxford University Press, Oxford.
- Bek-Nielson, D.B. 1987. Palm oil processing technology: past, present and future. *In* **International oil palm/palm oil conference progress & prospects: conference II: 29 June - 1 July, 1987**. Kuala Lumpur, Malaysia.
- BioCycle. 2013. **Design considerations in covered aerated static pile composting**. Available Source: <https://www.biocycle.net/design-considerations-in-covered-aerated-static-pile-composting/>, April 20, 2023.
- Bisaria, V.S. and T.K. Ghose. 1981. Biodegradation of cellulosic materials: substrates, microorganisms, enzymes and products. **Enzyme Microb. Tech.** 3: 90 - 104.
- Burdick, E.M. 1965. Commercial humates for agriculture and the fertilizer “Commercial humates for agriculture and the fertilizer industry”. **Econ. Bot.** 19 (2): 152 - 156.
- Burnette, R. 2013. **Charcoal production in 200 - liter horizontal drum kilns**. ECHO Technical Notes. Available Source: <https://www.echocommunity.org/en/resources/069529b4-0ce4-475c-99b8-326957e3afa7>, April 20, 2023.
- Cabacang, R.M., A.M. Lozano, J.O.G. Sanchez and M.B. Bigol. 2002. Design of a fast rate continuous composting bioreactor for the bioremediation of municipal solid waste, pp. 274 - 279. *In* **Proceedings of international conference on tropical bio - resources and green chemistry strategy**. Osaka International Convention Center, Osaka, Japan.
- Castellanos, J.Z. and P.F. Pratt. 1981. Mineralization of manure nitrogen correlation with laboratory indexes. **Soil Sci. Am. J.** 45: 354 - 357.
- Cardenas-Aguiar, E., G. Gasco, J. Paz-Ferreiro and A. Mendez. 2017. The effect of biochar and compost from urban organic waste on plant biomass and properties of an artificially copper polluted soil. **Int. Biodeter. Biodegr.** 124: 223 - 232.
- Carrier, M., A.G. Hardie, U. Uras, J. Gorgens and J.H. Knoetze. 2012. Production of char from vacuum pyrolysis of South - African sugar cane bagasse and its characterization as activated carbon and biochar. **J. Anal. Appl. Pyrol.** 96: 24 - 32.

- Carter, M.R., E.G. Gregorich, D.W. Anderson, J.W. Doran, H.H. Janzen and F.J. Pierce. 1997. Concepts of soil quality and their significance, pp. 1 - 19. *In* E.G. Gregorich and M.R. Cater, eds. **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Elsevier.
- Caterina, G., M. Mazzon, L. Cavani, L. Triberti, G. Baldoni, C. Ciavatta and C. Marzadori. 2021. Rotation and fertilization effects on soil quality and yields in a long term field experiment. **Agron. J.** 11 (4): 1 - 13.
- Cely, P., G. Gasco, J. Paz-Ferreiro and A. Mendez. 2015. Agronomic properties of biochars from different manure wastes. **J. Anal. Appl. Pyrol.** 111: 173 - 182.
- Chang, E.H., E.H. Chung and Y.H. Tsai. 2007. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. **Soil Sci. Plant Nutr.** 53 (2): 132 - 140.
- Cheng, H., D.L. Jones, P. Hill, M.S. Bastami and C.L. Tu. 2018. Influence of biochar produced from different pyrolysis temperature on nutrient retention and leaching. **Arch. Agron. Soil Sci.** 64 (6): 850 - 859.
- Chen, Y., H. Wu, P. Sun, J. Liu, S. Qiao, D. Zhang and Z. Zhang. 2021. Remediation of chromium - contaminated soil based on *Bacillus cereus* WHX - 1 immobilized on biochar: Cr (VI) transformation and functional microbial enrichment. **Front. Microbiol.** 12: 641 - 913.
- Chun, Y., G. Sheng, C.T. Chiou and B. Xing. 2004. Compositions and sorptive properties of crop residue - derived chars. **Environ. Sci. Technol.** 38 (17): 4649 - 4655.
- Cole, L. and R.D. Bardgett. 2002. Soil animals, microbial activity, and nutrient cycling. pp. 72 - 75. *In* R Lal, eds. **Encyclopedia of soil science**. Marcel Dekker Inc, New York.
- Cosico, W.C. 1985. **Organic fertilizer: Their nature, properties and use**. A publication of the farming systems and soil resources institute, University of the Philippines at Los Banos, Laguna Philippines.
- Cowie, A.L., A.E. Downie, B.H. George, B.P. Singh, L.V. Zwieten and D. O'Connell. 2012. Is sustainability certification for biochar the answer to environmental risks. **Pesqui. Agropecu. Bras.** 47 (5): 637 - 648.

- Davy, C.A.E. 1981. Recovery of fruit and vegetable waste, pp. 219 - 230. *In Proceeding of symposium, food industry wastes: disposal and recovery*, 11 - 13 November 1981. Norwich, London.
- Ding, W., X. Dong, M. Ime, B. IGao and L.Q. Ma. 2014. Pyrolytic temperatures impact lead sorption mechanisms by bagasse biochars. **Chemosphere**. 105: 68 - 74.
- Eneji, A. E., S. Yamamoto and T. Honna. 2001. Rice growth and nutrient uptake as affected by livestock manure in four Japanese soils. **Plant Nutr.** 24: 333 - 343.
- Ertani, A., L. Cavani, D. Pizzeghello, E. Brandellero, A. Altissimo, C. Ciavatta and S. Nardi. 2009. Biostimulant activity of two protein hydrolyzates in the growth and nitrogen metabolism of maize seedlings. **Plant Nutr. Soil Sci.** 172: 237 - 244.
- Eswaran, H., EV.D. Berg and P. Reich. 1993. Organic carbon in soils of the world. **Soil Sci. America J.** 57: 192 - 194.
- European Biochar Foundation. 2012. **The European biochar certificate guidelines**. Available Source: <http://www.european-biochar.org/en/download>, August 14, 2024.
- FAO. 1987. **Soil management: Compost production and use in tropical and subtropical environments**. FAO Soil Bulletin 56, Rome.
- Fries, D. 1990. **Study on waste in the palm oil industry (oil/water separation) environmental advisory assistance for agricultural industry**. Technical corporation commissioned by GTZ.
- Fullen, M.A. and J.A. Catt. 2004. **Soil management: problems and solution**. Arnold, a member of Hodder Headline Group. London.
- Garcla-Martlnez, A.M., A. Dlaz, M. Tejada, J. Bautista, B. Rodrlguez, C.S. Marla, E. Revilla and J. Parrado. 2010. Enzymatic production of an organic soil biostimulant from wheat - condensed distiller soluble: effects on soil biochemistry and biodiversity. **Process Biochem.** 45: 1127 - 1133.
- Gaskin, J.W., C. Steiner, K. Harris, K.C. Das and B. Bibens. 2008. Effect of low - temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. **T. ASABE.** 51 (6): 2061 - 2069.

- Ghani, W.A.W.A.K., A. Mohd, G. da Silva, R.T. Bachmann, Y.H. Taufiq-Yap, U. Rashid and H. Ala'a. 2013. Biochar production from waste rubber - wood - sawdust and its potential use in C sequestration: chemical and physical characterization. **Ind. Crop. Prod.** 44: 18 - 24.
- Glodowska, M., B. Husk, T. Schwinghamer and D. Smith. 2016. Biochar is a growth - promoting alternative to peat moss for the inoculation of corn with a pseudomonad. **Agron. Sust. Dev.** 36 (1): 1 - 10.
- Goh, K.M. 2004. Carbon sequestration and stabilization in soils: Implication for soil activity and climate change. **Plant Nutr. Soil Sci.** 50: 467 - 476.
- Govers, G., R. Merckx, K.V. Oost and B.V. Wesemael. 2013. Soil organic carbon management for global benefits: A discussion paper. *In* **Presented at the workshop on "Soil organic carbon benefits: A scoping study"**, 10 - 12 September 2012, Nairobi, Kenya.
- Gregorich, E.G. and M.R. Carter. 1997. Soil quality for crop production and ecosystem health. **J. Environ. Qual.** 27 (6): 1552 - 1553.
- Graves, R.E., G.M. Hattemer and D. Stettler. 2010. **Composting**. Available Source: <https://directives.sc.egov.usda.gov/28910.wba>, April 10, 2023.
- Hartemink, A.E. 2003. **Soil fertility decline in the tropics**. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Harry, O.B. and N. Brady. 1974. **The nature and properties of soils**. Macmillan Publishing, Co. Inc.
- He, Z., X. Yang, B.A. Kahn, P.J. Stoffella and D.V. Calvert. 2001. Plant nutrition benefits of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and micronutrients from compost utilization. *In* **Compost utilization in agricultural cropping systems**. P.J. Stoffella and B.A. Kahn, eds. Lewis Publishers, New York.
- Henry, D.P. and R.H. Thomson. 1979. Growth of *Candida* from anaerobically fermented pig wastes. **Appl. Environ. Microbiol.** 37 (4): 1132 - 1136.
- Huang, Y., L. Chen., B. Fu., Z. Huang and J. Gong. 2005. The wheat yields and water - use efficiency in The Loess Plateau: straw mulch and irrigation effects. **Agric. Water Manage.** 72: 209 - 222.

- Hudu, A.I., K.N. Futuless and N.A. Gworgwor. 2002. Effects of mulching intensity on the growth and yield of irrigated tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and weed infestation in semi - arid zone of Nigeria. **J. Sust. Agri.** 21: 37 - 45.
- Husna, N., D. Budianta, M. Munandar and A. Napoleon. 2019. Evaluation of several biochar types as inoculant carrier for indigenous phosphate solubilizing microorganism from acid sulphate soil. **J. Ecol. Eng.** 20 (6): 1 - 8.
- Hornick, S.B., L.J. Sikora, S.B. Sterrett, J.J. Murray, P.D. Millner, W.D. Burge, D. Colacicco, J.F. Parr, R.L. Chaney and G.B. Willson. 1984. **Utilization of sewage sludge compost as a soil conditioner and fertilizer for plant growth.** Available Source: <http://ageconsearch.umn.edu/>, April 10, 2023.
- Hwang, T.K., S.M. Ong, C.C. Scow and H.K. Tan. 1978. Chemical composition of palm oil mill effluent. **Planter** 54: 155 - 166.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2000. **Forests and climate change carbon and the greenhouse effect.** Available Source: <https://www.fao.org/4/ac836e/AC836E03.htm>, September 4, 2024.
- International Biochar Initiative. 2012. **Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil.** Available Source: <http://www.biochar-international.org/characterizationstandard>, August 1, 2024.
- Jha, P., A.K. Biswas, B.L. Lakaria and A.S. Rao. 2010. Biochar in agriculture - prospects and related implications. **Curr. Sci.** 1218 - 1225.
- Jie, M., W. Raza, Y.C. Xu and Q.R. Shen. 2008. Preparation and optimization of amino acid chelated micronutrient fertilizer by hydrolyzation of chicken waste feathers and the effects on growth of rice. **J. Plant Nutr.** 31: 571 - 582.
- Jindo, K., H. Mizumoto, Y. Sawada, M.A. Sanchez-Monedero and T. Sonoki. 2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. **Biogeosciences.** 11: 6613 - 6621.
- Jones, C.G., J.H. Lawton and M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. **Oikos.** 69: 373 - 386.

- Kabbashi, N.A., M.Z Alam and M. Aminuddin. 2006. **Bio composting process development by SSF for utilization, agro - industrial wastes**, pp. 464 - 468. *In* F. Ibrahim, N.A. Abu Osman, J. Usman and N.A. Kadri, eds. Biomed 06, IFMBE Proceedings 15.
- Karel, S.F., S.B. Libicki and C.R. Robertson. 1985. The immobilization of whole cells: engineering principles. **Chem. Eng. Sci.** 40 (8): 1321 - 1354.
- Katterer, T., D. Roobroeck, O. Andrén, G. Kimutai, E. Karlton, H. Kirchmann, G. Nyberg, B. Vanlauwe and K.R. de Nowina. 2019. Biochar addition persistently increased soil fertility and yields in maize - soybean rotations over 10 years in sub - humid regions of Kenya. **Field Crop. Res.** 235: 18 - 26.
- Kavitha, B., P.V.L. Reddy, B. Kim, S. Lee, S.S.K. Pandey and K.H. Kim. 2018. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. **J. Environ. Manage.** 227: 146 - 154.
- Kelley, S. 2004. Building a knowledge base for compost tea. **Biocycle.** 45 (6): 30 - 34.
- Khalil, H.P.S.A., S. Hanida, C.W. Kang and N.A. Fuaad. 2007. Agro - hybrid composite: the effects on mechanical and physical properties of oil palm fiber (EFB)/glass hybrid reinforced polyester composites. **J. Reinf. Plast. Comp.** 26 (2): 18 - 203.
- Kimetu, J.M., J. Lehmann, S. Ngoze, D.N. Mugendi, J.M. Kinyangi, S. Riha, L. Verchot, J.W. Recha and A. Pell. 2008. Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. **Ecosyst.** 11: 726 - 739.
- Kirk, G. 2004. **The biogeochemistry of submerged soils**. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Kosar, F., N.A. Akram and M. Ashraf. 2015. Exogenously - applied 5 - aminolevulinic acid modulates some key physiological characteristics and antioxidative defense system in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings under water stress. **S. Afr. J. Bot.** 96: 71 - 77.
- Kucey, R.M.N. 1983. Phosphate - solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. **Can. J. Soil Sci.** 63: 671 - 678.
- Lal, R. 2008. Carbon sequestration, philosophical transactions of the royal society. **Biol. Sci.** 363: S33 - S39.

- Lauren, H. and D. Crowley. 2014. **Evaluation of varying biochars as carrier materials for bacterial soil inoculants**. Available Source: <https://www.egu2014.eu/>, April 14, 2023.
- Leaungvutiviroj, C., P. Ruangphisarn, P. Hansanimitkul, H. Shinkava and K. Sasaki. 2010. Development of a new biofertilizer with a high capacity for N₂ fixation, phosphate and potassium solubilization and auxin production. **Biosci. Biotechnol. Biochem.** 74 (5): 1098 - 1101.
- Lee, X.J., L.Y. Lee, S. Gan, S. Thangalazhy-Gopakumar and H.K. Ng. 2017. Biochar potential evaluation of palm oil wastes through stow pyrolysis: thermochemical characterization and pyrolytic kinetic studies. **Bioresource Technol.** 236: 155 - 163.
- Lehmann, J. 2007. Bio - energy in the black. **Front Ecol. Environ.** 5 (7): 381 - 387.
- _____, M.C. Rillig, J. Thies, C.A. Masiello, W.C. Hockaday and D. Crowley. 2011. Biochar effects on soil biota a review. **Soil Biol. Biochem.** 43 (9): 1812 - 1836.
- _____ and S. Joseph. 2009. An Introduction, pp. 1 - 9. *In* J. Lehmann and S. Joseph, eds. **Biochar for environmental management**. London. Routledge.
- Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Grossman, B. O'Neill, J.O. Skjemstad, J. Thies, F.J. Luizao, J. Petersen and E.G. Neves. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Sci. Am. J.** 70: 1719 - 1730.
- Liu, X., P. Xue, F. Jia, D. Qiu, K. Shi and W. Zhang. 2020. Tailoring polymeric composite gel beads - encapsulated microorganism for efficient degradation of phenolic compounds. **Chain. J. Chem. Eng.** 32: 301 - 306.
- Lorestani, A.A.Z. 2006. Biological treatment of palm oil effluent (POME) using an up - flow anaerobic sludge fixed film (UASFF) bioreactor. **J. Clean. Prod.** 148: 127 - 136.
- Ma, A.N., S.C. Cheah and A.S.H. Ong. 1987. Towards zero discharge from the palm oil mill. *In* **Proceeding of international oil palm/palm oil conference progress & prospects: conference II**. 29 June - 1 July, 1987, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Maini, P. 2006. The experience of the first biostimulant, based on amino acids and peptides: a short retrospective review on the laboratory researches and the practical results. **Fertil. Agrorum.** 1: 29 - 43.

- Major, J., M. Rondon, D. Molina, S.J. Riha and J. Lehmann. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna Oxisol. **Plant Soil**. 333: 117 - 128.
- Matsuzaki, T. 1977. A continuous composting system for disposal and utilization of animal wastes in suburban areas. *In* **Proceedings of the international seminar on soil environment in intensive agriculture**. The society of the science of soil and manure, Japan.
- Masulili, A., W.H. Utomoand and M.S. Syechfani. 2010. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. **J. Agr. Sci.** 2 (1): 39 - 47.
- Mia, S., F.A. Dijkstra and B. Singh. 2017. Long - term aging of biochar: a molecular understanding with agricultural and environmental implications. **Adv. Agron.** 14: 38.
- Middlebrooks, E.J. 1979. **Industrial pollution control**. Volume 1: Agro - Industries. John Wiley & Sons. New York.
- Mohammed, S., A. Yuzir, M.R. Salmiati, S. Azman and N. Abdullah. 2014. Biological pre - treated oil palm mesocarp fibre with cattle manure for biogas production by anaerobic digestion during acclimatization phase. **Int. Biodeter. Biodegr.** 95: 189 - 194.
- Muller, Z.O. 1980. **Feed from animal wastes: state of knowledge**. Food agriculture organization of the United Nations, Rome.
- Myers, R.J.K., C.A. Palm, E. Cuevas, L.U.N. Gunatilleke and M. Brossard. 1994. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand, pp. 81 - 116. *In* P.L. Woomer and M.J. Swift, eds. **The biological management of tropical soil fertility**. Wiley - Sayce Publication, Chichester, UK.
- Nehls, T. 2002. **Fertility improvement of a Terra Firme Oxisol in central amazonia by charcoal application**. University of Bayreuth, Germany.

- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Chapter 34 total carbon, organic carbon and organic matter, pp. 961 - 1010. *In* D.L. Sparks, J.M. Bartels and J.M. Bigham, eds. **Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods**. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Newell, K. 1984. Interactions between two decomposer basidiomycetes and a collembolan under sitka spruce: distribution, abundance and selective grazing. **Soil Biol. Biochem.** 227 - 233.
- Nguyen, H., H.S. Kim and S. Jung. 2016. Altered tetrapyrrole metabolism and transcriptome during growth - promoting actions in rice plants treated with 5 - aminolevulinic acid. **Plant Growth Regul.** 78: 133 - 144.
- Nilnoree, T., S. Anusontpornperm, S. Thanachit, I. Kheoruenromne and P. Petprapai. 2016. Effect of chicken manure and organic wastes from cassava starch manufacturing plant on cassava grown on Dan Khun Thot soil. **Khon Kaen Agr.** 44 (1): 167 - 178.
- Nishio, M. and S. Kusano. 1980. Fluctuation patterns of microbial numbers in soil applied with compost. **Soil Sci. Plant Nutr.** 26 (4): 581 - 593.
- Noparatnaraporn, N. 1987. Photosynthetic bacteria from cassava wastes: A multipurpose feed supplement. *In* **Paper presented at UNEP/TISTR/Bangkok MIR regional workshop, upgrading of cassava/ cassava wastes by appropriate bio - technologies**. November 24 - 26, 1987, Bangkok, Thailand.
- Oguntunde, P. G., B. J. Abiodun, A.E. Ajayi and N. Giesen. 2008. Effect of charcoal production on soil physical properties in Ghana. **Plant Nutr. Soil Sci.** 171: 591 - 596.
- Oka, H., S. Palm, C.N. Gachengo, R.J. Idthipong and W. Rungrattanakasin. 1993. Improvement of the sandy soil in Northeast Thailand by using carbonized rice husk. *In* **Workshop on technology development for sustainable agriculture and environment in the northeast Khon Kaen**. 13 - 15 Jan 1993, Thailand.
- Olguin, E.J. 2000. **Cleaner bioprocesses and sustainable development**. In environmental biotechnology and cleaner bioprocess. Taylor and Francis Limited.

- Palm, C.A., C.N. Gachengo, R.J. Delve, G. Cadisch and K.E. Giller. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. **Agric. Ecosyst. Environ.** 83: 27 - 42.
- Paturaul, J.M. 1989. **By - products of the cane sugar industry: an introduction to their industrial utilization.** Available Source: <https://www.econbiz.de/Record/by-products-of-the-cane-sugar-industry-an-introduction-to-their-industrial-utilization-paturau-joseph-maurice/10004621893>, April 14, 2023.
- Paul, EA and F.E. Clark. 1989. **Soil microbiology and biochemistry.** Academic Press. New York.
- _____. 1996. **Soil microbiology and biochemistry**, 2nd ed. Academic Press, New York.
- Paustian, K, H.P. Collins and E.A. Paul. 1997. Management controls on soil carbon, pp. 15 - 49. *In* E.A. Paul, K Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole., eds. **Soil organic matter in temperate agroecosystems long - term experiments in North America.** CRC Press, New York NY.
- Pimchuai, A., A. Dutta and P. Basu. 2010. Torrefaction of agriculture residue to enhance combustible properties. **Energ. Fuel.** 24: 4638 - 4645.
- Polthanee, A., V. Tre-loges and K. Promsena. 2008. Effect of rice straw, management and organic fertilizer application on growth and yield of dry direct - seeded rice. **Paddy Water Environ.** 6: 237 - 241.
- Prasertsan, P., A. H-Kittikul and B. Chitmanee. 1992. Isolation and selection of cellulolytic fungi from palm oil mill effluent. **World J. Microbiol. Biotechnol.** 8 (6): 614 - 617.
- _____, P. Wuttijumnong, P. Sophanodara and W. Choorit. 1988. Seafood processing industries within Songkhla - Hat Yai region: the survey of basic data emphasis on wastes. **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 10 (4): 447 - 152.
- _____, W. Choorit, and S. Suwanno. 1993. Optimization for growth of *Rhodocyclus gelatinosus* in seafood processing effluents. **World J. Microbiol. Biotechnol.** 9 (5): 593 - 596.

- Puttaso, A, P. Vityakon, P. Saenjan, V. Trelo-ges and G. Cadisch. 2011. Relationship between residue quality, decomposition patterns, and soil organic matter accumulation in a tropical sandy soil after 13 years. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** 89: 159 - 174.
- Qui, P. and M. Calcinai. 1978. Influence of long - term application of organic fertilizers on partition of exchangeable cations in soil. **Agrochemical.** 22: 486 - 491.
- Ramli, M.N., Y. Imura, K. Takayama. and Y. Nakanishi. 2005. Bioconversion of sugarcane bagasse with Japanese Koji by solid - state fermentation and its effects on nutritive value and preference in goats. Asian - Australasian. **J. Anim. Sci.** 18 (9): 1279 - 1284.
- Reeves, D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil Till. Res.** 43: 131 - 167.
- Rondon, M.A., J. Lehmann, J. Ramirez and M. Hurtado. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increase with bio - char additions. **Biol. Fert. Soils.** 43 (6): 699 - 708.
- Rouquerol, F., I. Rouquerol and K. Sing. 1999. **Adsorption by powders and porous solids.** Academic Press, London, UK.
- Ruggieri, L., T. Gea, A. Artola and A. Sanches. 2008. **Influence of different co - substrates biochemical composting on raw sludge co - composting.** Available Source: <https://www.researchgate.net/publication/6165498>, April 14, 2023.
- Rusell, R.S. 1982. **Plant root systems: their function and interaction with the soil.** McGraw-Hill Book Company limited.
- Samahadthai, P., P. Vityakon and P. Saenjan. 2010. Effects of different quality plant residues on soil carbon accumulation and aggregate formation in a tropical sandy soil in Northeast Thailand as revealed by a 10 - year field experiment. **Land Degrad. Dev.** 21 (5): 463 - 473.
- Sanchez, P.A., C.A. Palm and S.W. Buol. 2003. Fertility capability soil classification: A tool to help assess soil quality in the tropics. **Geoderma.** 114: 157 - 185.
- Schutter, M.E. and R.P Dick. 2002. Microbial community profiles and activities among aggregates of winter fallow and cover-cropped soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 66 (1): 142 - 153.

- Sell, J.L., M. Ashraf and G.L. Bales. 1981. Yeast single - cell protein as a substitute for soybean meal in broiler diets. **Nut. Rep. Int.** 24 (2): 229 - 236.
- Sdall, J.M. and J.M. Oades. 1982. Organic matter and water - stable aggregates in soils. **Soil Sci.** 33: 141 - 163.
- Shenbagavalli, S. and S. Mahimairaja. 2012. Production and characterization of biochar from different biological wastes. **Int. J. Plant Sci.** 2 (1): 197 - 201.
- Shinogi, Y. and Y. Kanri. 2003. Pyrolysis of plant, animal and human waste; physical and chemical characterization of the pyrolytic products. **Bioresource Technol.** 90 (3): 241 - 247.
- Shi, R.Y., J.Y. Li, J. Jiang, M.A. Kamran, R.K. Xu and W. Qian. 2018. Incorporation of corn straw biochar inhibited the re - acidification of four acidic soils derived from different parent materials. **Environ. Sci. Pollut. R.** 25 (10): 9662 - 9672.
- Sikora, L. and R.A.K. Szmidt. 2001. **Nitrogen sources, mineralization rates and nitrogen nutrition benefits of plants from composts.** *In* Compost utilization in agricultural.
- Smith, C.B. 1981. **Energy management principle.** New York: Pergamon Press.
- Sohi, S.P., E. Krull, E. Lopez-Capel and R. Bol. 2010. Chapter 2 - a review of biochar and its use and function in soil. **Adv. Agro.** 105: 47 - 82.
- Stevenson, F.J. 1986. **Cycles in soil.** John Wiley and Sons, New York.
- Sun, Y.P., J. Liu, R.X. Cao, Y.J. Huang, A.M. Hall and C.B. Guo. 2017. Effects of 5 - aminolevulinic acid treatment on photosynthesis of strawberry. **Photosynthetica.** 55: 276 - 284.
- Swift, M.J., O.W. Heal and J.M. Anderson. 1979. **Studies in ecology.** Berkeley and Los Angeles.
- Tag, A.T., G. Duman, S. Ucar and J. Yanik. 2016. Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potential applications of biochar. **J. Anal. Appl. Pyrol.** 120: 200 - 206.
- Tanticharone, M., B. Bunnag and A. Vonshak. 1993. Cultivation of *Spirulina* using secondary treated starch wastewater. **Australas. Biotchnol.** 3: 223 - 226.
- Thonnissen, C., D.J. Midmore, J.K. Ladha, D.C. Olk and U. Schmichalter. 2000. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. **Agron. J.** 92: 253 - 260.

- Tchobanoglous, G., H. Theisen and S. Vital. 1993. **Integrated solid waste management engineering principles and management issues**. McGraw-Hill, Inc.
- Thambirajah, J.J. and A.J. Kuthubutheen. 1989. Composting of palm press fiber. **Bio. Wastes**. 27: 257 - 269.
- Thambirajah, M., D. ZulKali and M.A. Hashim. 1995. Microbiological and biochemical changes during the composting of oil palm empty fruit bunches; effect of nitrogen supplementation on the substrate. **Bioresource Technol.** 52: 133 - 144.
- Tiquia, S.M. and N.F.Y. Tam. 2000. Fate of nitrogen during composting of chicken litter. **Environ. Pollut.** 110 (3): 535 - 541.
- Tivy, J. 1991. **Agricultural Ecology**. Langman Singapore Publishers (Pts) Ltd.
- Tomczyk, A., Z. Sokołowska and P. Boguta. 2020. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. **Environ. Sci. Technol.** 19: 191 - 215.
- Tumuluru, J.S., S. Sokhansanj, J.R. Hess, C.T. Wright and R.D. Boardman. 2011. A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications. **Ind. Biotechnol.** 7 (5): 384 - 401.
- Ujvari, G., A.K. Borsodi, M. Megyes, M. Mucsi, T. Szili-Kovacs, A. Szabo and J.A. Marialigeti. 2020. Comparison of soil bacterial communities from juvenile maize plants of a long - term monoculture and a natural grassland. **Agron.** 10: 341.
- USDA. 2001a. **Guideline for soil quality assessment in conservation planning**. Natural resources conservation service, soil quality institute, Washington, DC.
- USDA. 2001b. **Soil quality test kit guide**. Natural resources conservation service, soil quality institute, Washington, DC.
- USDA. 2009. **Soil quality assessment**. Natural resources conservation service, soil quality institute, Washington, DC.
- Vasilieva, S., E. Lobakova, T. Grigoriev, I. Selyakh, L. Semenova, O. Chivkunova, P. Gotovtsev, C. Antipova, Y. Zagoskin, P. Scherbakov, A. Lukyanov, K. Lukanina and A. Solovchenko. 2021. Bio - inspired materials for nutrient biocapture from wastewater: Microalgal cells immobilized on chitosan - based carriers. **J. Water Process. Eng.** 40: 1017 - 1774.

- Vityakon, P. and N. Dangthaisong. 2005. Environmental influences on nitrogen transformation of different quality tree litter under submerged and aerobic conditions. **Agroforest. Syst.** 63 (3): 225 - 236.
- Vargas, R., R. Corona, Y. Yigini, Y. Tong, Z. Bazza and L. Wiese. 2019. Unlocking the potential of soil organic carbon: a feasible way forward, pp. 373 - 395. *In* H. Ginzky et.al., eds. **International yearbook of soil law and policy 2018**. International yearbook of soil law and policy. Cham, Switzerland.
- Vleeschauwer, D.D., R. Lal and R. Marafa. 1980. Effect of amounts of surface mulch on physical and chemical properties of an Alfisol from Nigeria. **J. Sci. Food Agri.** 31(7): 730 - 738.
- Von Wettstein, D., S. Gough and C.G. Kananagara. 1995. Chlorophyll biosynthesis. **Plant Cell.** 7: 1039 - 1105.
- Walch-Liu, P., L.H. Liu, T. Remans, M. Tester and B.G. Forde. 2006. Evidence that L - glutamate can act as an exogenous signal to modulate root growth and branching in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Cell Physiol.** 47: 1045 - 1057.
- Weber, K. and P. Quicker. 2018. Properties of biochar. **Fuel.** 217: 240 - 261.
- Willson, G.B., J.F. Parr, E. Epstein, P.B. Marsh, R.L. Chaney, D. Colacicco, W.D. Burge, L.J. Sikora, C.F. Tester and S.B. Hornick. 1980. **Manual for composting sewage sludge by the Beltsville Aerated Pile Method**. U.S.D.A./U.S Environmental protection agency. EPA - 600/8 - 80 - 022. U.S. Government printing office, Washington, D.C.
- Xu, R.K., A.Z. Zhao, J.H. Yuan and J. Jiang. 2012. pH buffering capacity of acid soils from tropical and subtropical regions of China as influenced by incorporation of crop straw biochars. **J. Soil Sediment.** 12 (4): 494 - 502.
- Xu, L., W. Zhang, B. Ali, F. Islam, J. Zhu and W. Zhou. 2015. Synergism of herbicide toxicity by 5 - aminolevulinic acid is related to physiological and ultra - structural disorders in crickweed (*Malachium aquaticum* L.). **Pestic. Biochem. Phys.** 125: 53 - 61.
- Xu, R., L. Ferrante, K. Hall, C. Briens and F. Berruti. 2011. Thermal self - sustainability of biochar production by pyrolysis. **J. Anal. Appl. Pyrol.** 91 (1): 55 - 66.

- Yahya, A., C. PuaySye, T. Abiodunlshola and H. Suryato. 2010. Department of biological and agricultural, faculty of engineering, University Putra Malasia. **Bioresource Technol.** 8736 - 8741.
- Yamato, M., Y. Okimori, I.F. Wibowo, S. Anshori and M. Ogawa. 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. **Soil Sci. Plant Nutr.** 52: 489 - 495.
- Yan, X., H. Zhou, Q.H. Zhu, X.F. Wang, T.Z. Zhang, X.C. Yu and X. Peng. 2013. Carbon sequestration efficiency in paddy soil and upland soil under long - term fertilization in southern China. **Soil Till. Res.** 130: 42 - 51.
- Yang, M., K. Yin, Y. Guo, E. Ma and J. Zhang. 2011. A photosensitivity insecticide, 5 - aminolevulinic acid, exerts effective toxicity to *Oxya chinensis* (*Orthoptera: Acridoidea*). **Agri. Sci. China** 10: 1056 - 1063.
- Yuan, J.H. and R.K. Xu. 2011. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisols. **Soil Use Manage.** 27 (1): 110 - 115.
- Zhao, S.X., N. Ta and X.D. Wang. 2017. Effect of temperature on the structural and physicochemical properties of biochar with apple tree branches as feedstock material. **Energies.** 10 (9): 1278 - 1293.
- Zheng, R.L., C. Cai, J.H. Liang, Q. Huang, Z. Chen, Y.Z., Huang, H.P.H. Arp and G.X. Sun. 2012. The effects of biochar from rice residue on the formation of iron plaque and the accumulation of Cd, Zn, Pb, As in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. **Chemosphere.** 89 (7): 856 - 862.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

1. การจัดทำเอกสารเผยแพร่หน้าเว็บไซต์หน่วยงาน ได้แก่ เว็บไซต์กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
กรมพัฒนาที่ดิน

แหล่งเผยแพร่ : <http://180.180.244.229/osb/Index.htm?mode=document>

x.htm?mode=document

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
Division of Soil Biotechnology

หน้าหลัก บริการของหน่วยงาน รู้จักหน่วยงาน ▾ สิ่งที่เกี่ยวข้อง เอกสารต่างๆ ▾ เกี่ยวกับเรา ▾

หน้าหลัก > เอกสารต่าง ๆ > เอกสารที่เผยแพร่

เอกสารที่เผยแพร่

เอกสารงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ปี 58-66
18 สิงหาคม 2566

เปิดลิงก์ 



การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน นางจันทรา แสงสีเหลือง นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ
29 มิถุนายน 2566

เอกสาร
การจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดิน
Management of agricultural and agro-industrial waste materials for soil quality restoration

โดย
นางจันทรา แสงสีเหลือง

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
กรมพัฒนาที่ดิน
ปี 2566



ดาวน์โหลด 

เอกสารที่เผยแพร่
รายงานประจำปี
คู่มือการปฏิบัติงาน
สรุปความรู้ของข้าราชการ กทพ.

4. คู่มือ การจัดการอินทรีย์วัตถุ เพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปี 2551



5. คู่มือ จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด. 11 ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ปี 2551



คณะผู้จัดทำ

คณะที่ปรึกษา		
นายบัณฑิต	ตันศิริ	อธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน
นายถาวร	เทพวิทักษกิจ	รองอธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน
นายเกษม	ทองปาน	รองอธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน
นายเกรียงศักดิ์	หงษ์ไต้	รองอธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน
นางเบญจรัตน์	อนันต์พงษ์สุข	ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน

คณะผู้จัดทำ

นางสาวสุภาพร	จันรุ่งเรือง	สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
นางสาวจวีวรรณ	เหลืองดุสิตโรจน์	สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
นางรวงคณา	สงวนพงษ์	สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
นางสาวพิมพ์ธิดา	เรืองไพศาล	สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
นางสาวจันจิรา	แสงสีเหลือง	สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
นางสาวสิริมา	ชินอ่อน	สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
นางสาวพิกุล	หรรษามันต์กุล	สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมที่ สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
กรมพัฒนาที่ดิน โทร. 0-2579-2875 E-mail : osb_8@ddd.go.th

6. คู่มือ ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพ กรมพัฒนาที่ดิน เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร



คณะผู้จัดทำ

ทีมรักษา

นายเกรียงศักดิ์ ทงโชติ
นางกุลรัศมี อนันต์พงษ์สุข
อธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน
รองอธิบดีกรมพัฒนาที่ดินด้านวิชาการ

คณะผู้ดำเนินการ

นางสาวอวิวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์
นางสาวสุภาพร จันรุ่งเรือง
นายโสฬส แซ่ลิม
นางเนลลจันทร์ ชะนา
นางพิญกุล เกตุชาญวิทย์
นางสาวพิมพ์เริดา เรืองไพศาล
นายวุฒิชัย จันทรสมบัติ
นางสาวนตระวี พิราวัชร
นางสาวปณิดา ประปรนโกทย์
นางจันจิรา แสงสีเหลือง
นางสาวสิริณภา ชินอ่อน
นางสาวกานุกา อยู่อุ่มพะเนา
นางสาวลักษณ์ เมอร์เรสส์
นางสาวดารารัตน์ ไรดำทำ

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
โทร.0-2579-0679 E-mail: osb_8_1dd@hotmail.com

7. คู่มือ การจัดการอินทรีย์วัตถุ เพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปี 2558



8. คู่มือ แนะนำการจัดการขยะ เพื่อส่งเสริมการใช้สารอินทรีย์ลดการใช้สารเคมี ปี 2561



คู่มือแนะนำการจัดการขยะ
เพื่อส่งเสริมการใช้สารอินทรีย์ลดการใช้สารเคมี

ที่ปรึกษา

นายสุรเดช เตียวตระกูล อธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน
 นายเข้มแข็ง ยุติธรรมดำรง รองอธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน ด้านวิชาการ
 นายปรวิทย์ ยะใจ รองอธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน ด้านปฏิบัติการ
 นางสาวเบญจพร ชาครานนท์ รองอธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน ด้านบริหาร

คณะผู้จัดทำ

นางสาวสุภาพร จันทรงเรือง ผู้อำนวยการกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
 นางนวลจันทร์ ชะบา นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ
 นายวุฒิชัย จันทรสัมบัติ นักวิชาการเกษตรชำนาญการ
 นางสาวนันทรีวี นีราวัชร นักวิชาการเกษตรชำนาญการ
 นางจันจิรา แสงสีเหลือง นักวิชาการเกษตรชำนาญการ
 นางสาวญาณภา อยู่อุ้นพะเนาะ นักวิชาการเกษตรชำนาญการ
 นางสาวดารารัตน์ โชดาก้า นักวิชาการเกษตรชำนาญการ

ออกแบบภาพการ์ตูน

นางสาวดารารัตน์ โชดาก้า นักวิชาการเกษตรชำนาญการ

ติดต่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม
 กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน
 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ถนนพหลโยธิน
 โทรศัพท์ 02-579-0679
 โทรสาร 02-579-2875
<http://www.idd.go.th>

9. คู่มือ การใช้ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพ กรมพัฒนาที่ดิน เพื่อส่งเสริมการใช้สารอินทรีย์ลดการใช้สารเคมี ปี 2562



10. คู่มือ การผลิตและการใช้สารบำบัดน้ำเสียจัดกลิ่นเหม็น ชูปเปอร์ พด. 6 ปี 2566



ที่ปรึกษา

อธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน
รองอธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน ด้านวิชาการ
รองอธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน ด้านปฏิบัติการ
รองอธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน ด้านบริหาร

คณะผู้ดำเนินการ

นายอาทิตย์ ศุภเกษม	นายอรรถพร พุทธรโส
นางมวลจันทร์ ชะนา	นางจันจิรา แสงสีเหลือง
นางพิทูล เกตุชาญวิทย์	นางสาวพินพรีดา เรืองไพศาล
นางสาวสุนาสี กลางสูง	นางมนต์ระวี นิไธม
นางสาวพนิดา ประบรมโมทย์	นางสาวสิริมาภา ชินอ่อน
นางสาวกัญญา อยู่อนุพระนา	นางสาวดารารัตน์ โอตาภา
นางสาวกนกวรรณ เชื้อพันธุ์	นายพิสิฏฐ์ กิมยงค์
นางสาวกานต์ณัน จันทรังว	

ข้อมูลเพิ่มเติม

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
โทร 0 2579 0679 FB: กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน

11. คู่มือ Soil Biotechnology for Increasing crop Production in Thailand

Soil Biotechnology for Increasing crop Production in Thailand

Office of Soil Biotechnology
Land Development Department
Ministry of Agriculture and Cooperatives
THAILAND
Tel.66(0)-2579-0679
E-mail:osb_2@dd.go.th

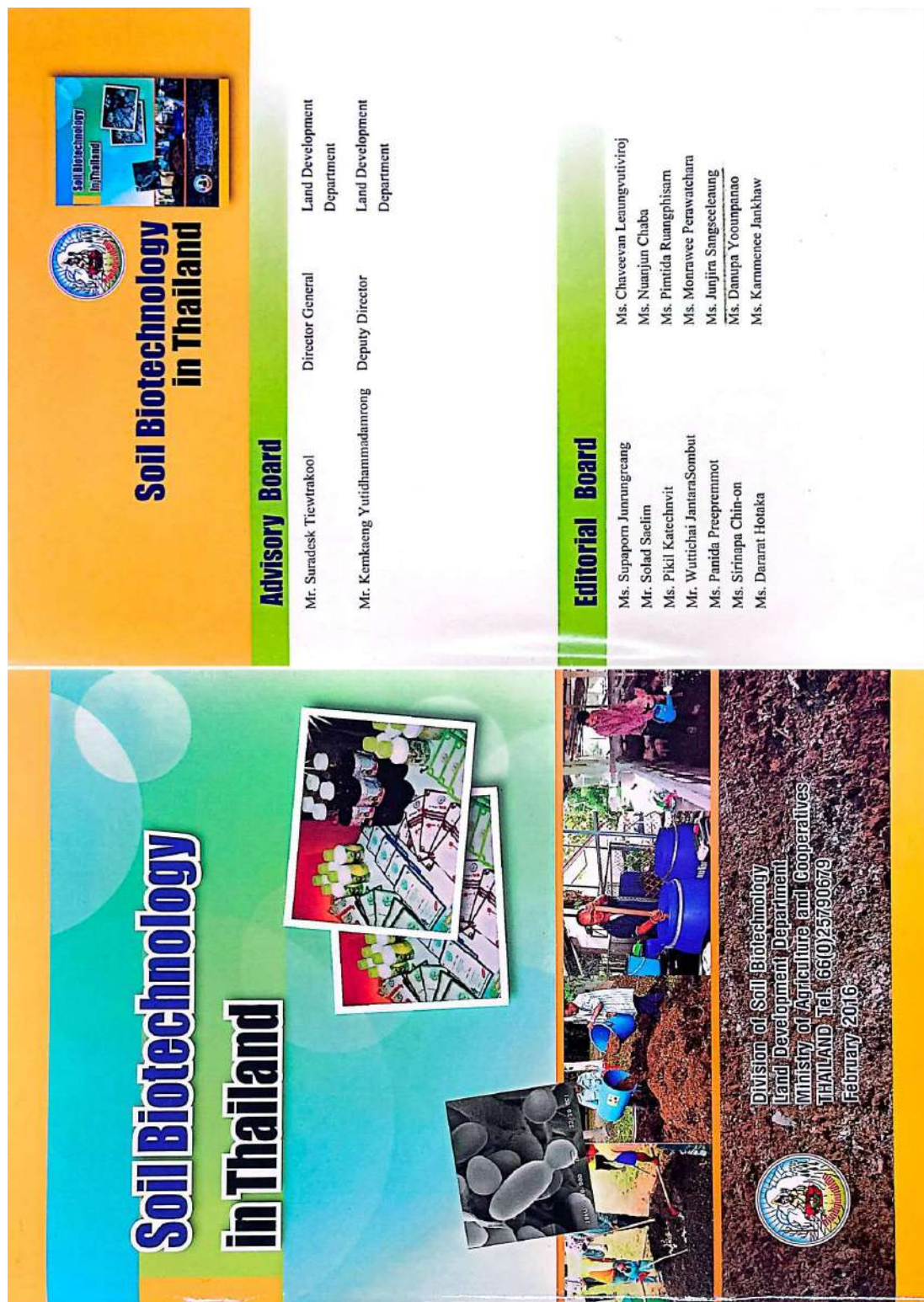


Editorial Board

Ms. Supaporn Junrungreang <i>Director Office of soil Biotechnology</i> Ms. Chaveevan Leungvutiviroj Ms. Nuanjun Pasda Ms. Pimtida Ruangphisam Ms. Monrwee Peerawatchara Mr. Wuttichai Juntarasombut Ms. Sirinapa Chin-on Mrs. Junjira Sagseeleuang	Land Development Department Mr. Solod Saelim Ms. Jutharat Khumnungkit Ms. Pikul Hunsanimitkul Ms. Panida Preepremmot Ms. Saowaluck Wongthianlai Ms. Danupa Yoonunpanao
--	---



12. คู่มือ Soil Biotechnology in Thailand ปี 2559



13. คู่มือ Organic Matter and Soil Biotechnology Management in Thailand ปี 2559

