

ผลงานฉบับเต็ม

เรื่อง

การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์
ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน เพื่อใช้ประโยชน์ในการฟื้นฟูดินทราย
(Isolation of effective exopolysaccharide producing microorganisms from Khao
Hin Sorn Royal Development Study Center for restore sandy soil)

โดย

นางสาวเกษร จำปา

นางสาวนิโลบล สุกสินธุ์

นางสาวปิยะพร เพ็ญผ่อง

ขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ ตำแหน่งเลขที่ 512

ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน

สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 2 กรมพัฒนาที่ดิน

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(ก)
สารบัญตาราง	(ข)
สารบัญภาพ	(ค)
สารบัญภาพภาคผนวก	(ง)
สารบัญตารางภาคผนวก	(จ)
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
บทนำ	3
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ	23
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	24
ผลการทดลองและวิจารณ์	34
สรุปผลการทดลอง	65
ข้อเสนอแนะ	67
ประโยชน์ที่ได้รับ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	77
ภาคผนวก ก	78
ภาคผนวก ข	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 พื้นที่ดินทรายรายภาคของประเทศไทย ปี 2561	7
2 กิจกรรมและระยะเวลาดำเนินการ	24
3 แหล่งที่มา จำนวนตัวอย่างดิน และจำนวนไอโซเลท	34
4 ตัวอย่างเชื้อที่คัดเลือกและส่วนที่เกี่ยวข้อง	36
5 ประสิทธิภาพของแบคทีเรียสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์	38
6 ประสิทธิภาพของแบคทีเรียสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ของผลผลิตต่อ น้ำหนักเซลล์แห้ง	39
7 เปอร์เซ็นต์เมื่อดินที่เสถียรเมื่อร่อนด้วยวิธี Wet sieving	40
8 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในการขยายเชื้อในรูปแบบต่าง ๆ	42
9 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูกของต้นกวาดต้งในสภาพโรงเรือน	44
10 เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเมื่อดินหลังการทดลองการปลูกต้นกวาดต้งในสภาพโรงเรือน	45
11 เปอร์เซ็นต์การเกิดเมื่อดิน หลังการทดลองการปลูกกวาดต้งในสภาพโรงเรือน	46
12 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในดินหลังการทดลองการ ปลูกต้นกวาดต้งในสภาพโรงเรือน	47
13 ความสูงของต้นกวาดต้งอายุ 30 และ 37 วัน ปลูกในสภาพโรงเรือน	48
14 จำนวนใบของต้นกวาดต้งที่อายุ 30 และ 37 วัน ปลูกในสภาพโรงเรือน	50
15 ขนาดของลำต้นของต้นกวาดต้งที่อายุ 30 และ 37 วัน ปลูกในสภาพโรงเรือน	51
16 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกวาดต้งอายุ 37 วัน ที่ปลูกในสภาพโรงเรือน	52
17 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวรากของต้นกวาดต้งอายุ 37 วัน ที่ปลูกในสภาพโรงเรือน	53
18 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูกของต้นกวาดต้ง ในสภาพแปลงทดลอง	55
19 เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเมื่อดิน หลังการทดลองการปลูกต้นกวาดต้ง ในสภาพแปลงทดลอง	56
20 เปอร์เซ็นต์การเกิดเมื่อดินหลังปลูกกวาดต้งในสภาพแปลงทดลอง	57
21 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในดินหลังทดลอง	57
22 ความสูงต้นของต้นกวาดต้งที่อายุ 31 และ 39 วัน ปลูกในสภาพแปลงทดลอง	59
23 จำนวนใบของต้นกวาดต้งที่อายุ 31 และ 39 วัน ปลูกในสภาพแปลงทดลอง	61
24 ขนาดของลำต้นของต้นกวาดต้งอายุ 31 และ 39 วัน ปลูกในสภาพแปลงทดลอง	62
25 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นกวาดต้งอายุ 31 และ 39 วัน ปลูกในสภาพแปลงทดลอง	64

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	ผังแปลงการทดลอง
2	ผังแสดงระยะปลูกในแปลงย่อย
3	แผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัย
4	แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดิน ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำโจน เพื่อคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสารแอ็กโซโพลีแซคคาไรด์
5	การแสดงออกของยีนเริ่มต้นในการสังเคราะห์แอ็กโซโพลีแซคคาไรด์เปรียบเทียบกับ การแสดงออกของยีน rpsL หรือ ribosomal S12 protein ที่ใช้เป็น housekeeping ยีนสำหรับเปรียบเทียบ

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่	หน้า
1 ข้อมูลผลการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-1/02	81
2 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-1/02 และบริเวณที่นำไปใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบ (บริเวณสีเหลือง)	81
3 ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-1/02 ด้วยโปรแกรม Basic Local Alignment Search Tool (BLAST)	82
4 ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-1/02 กับดีเอ็นเอในฐานข้อมูล	82
5 ข้อมูลผลการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-1/02	83
6 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อตัวอย่างหมายเลข 2 และบริเวณที่นำไปใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบ (บริเวณสีเหลือง)	83
7 ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-2/05 ด้วยโปรแกรม Basic Local Alignment Search Tool (BLAST)	84
8 ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-2/05 กับดีเอ็นเอในฐานข้อมูล	85

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่

หน้า

1	จุดเก็บตัวอย่างดินในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน
---	--

การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน เพื่อใช้ประโยชน์ในการฟื้นฟูดินทราย

เกษร จำปา, นิโบล สุจสินธุ์ และปิยะพร เผือกผ่อง
ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 2 กรมพัฒนาที่ดิน

บทคัดย่อ

ดินทราย พบกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย เนื้อดินมีปริมาณอนุภาคของทราย 85 เปอร์เซ็นต์ เนื้อดินยึดเกาะกันอย่างหลวม ๆ การระบายน้ำและอากาศดี แต่ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินต่ำ จึงไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชหลากหลายชนิด ปัจจุบันมีการศึกษาการนำเชื้อจุลินทรีย์ที่มีสมบัติในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มาช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินทราย คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษามีวัตถุประสงค์ 1. เพื่อคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน 2. ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ในการเพิ่มเสถียรภาพของเม็ดดินเพื่อฟื้นฟูดินทราย และ 3. ศึกษารูปแบบการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิตกวางตุ้ง โดยเก็บตัวอย่างดินภายในศูนย์ฯ เพื่อแยกจุลินทรีย์ที่มีสมบัติในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีลักษณะโคโลนีเป็นเมือกเยิ้ม ซึ่งคาดว่า เป็นเชื้อที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ตรวจสอบยืนยันด้วยเทคนิค RT-PCR แล้วทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินและคัดเลือกเชื้อในห้องปฏิบัติการ ผลิตเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบพร้อมใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกวางตุ้งทั้งในสภาพโรงเรือนและสภาพแปลงปลูก ผลการศึกษา ได้คัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน 10 ตัวอย่าง ตรวจสอบลักษณะ สัณฐานวิทยาและความสามารถในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ได้ 2 ตัวอย่าง คือ EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ- 2/05 ผลการจำแนกเชื้อด้วยลำดับนิวคลีโอไทด์ พบว่าเชื้อทั้ง 2 ชนิด เป็นเชื้อจุลินทรีย์ *Pseudomonas* sp. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการปรับปรุงสมบัติของดิน พบว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์สามารถทำให้เสถียรภาพของเม็ดดินเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดย เชื้อ EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ- 2/05 มีเสถียรภาพของเม็ดดินเพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.66 เปอร์เซ็นต์ และ 11.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกวางตุ้งในสภาพโรงเรือน พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ผิดพัน 1 ครั้ง ทำให้ต้นกวางตุ้งมีน้ำหนักมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองในตำรับอื่น ๆ คือ 34.73 กรัมต่อต้น ผลการทดลองในแปลงปลูก พบว่า การใช้ปุ๋ยหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ให้น้ำหนักของต้นมากที่สุด คือ 102.91 กรัมต่อต้น ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและช่วยปรับโครงสร้างกายภาพของดินในระยะยาวได้

คำสำคัญ สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ดินทราย ต้นกวางตุ้ง สมบัติทางกายภาพของดิน RT-PCR
ทะเบียนวิจัย 64-64-03-09-020000-025-01-21 ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 2 กรมพัฒนาที่ดิน

Isolation of effective exopolysaccharide producing microorganisms from Khao Hin Sorn Royal Development Study Center for restore sandy soil

Kaesorn Jumpa, Nilobon Sujasin, Piyapond Puekphong Saisuni saiwan
Khao Hin Sorn Royal Development study center, office of land development regional 2,
land development department

Abstract

Sand soil is wildy problem in Thailand. There are low nutrients and moisture. The study aimed to Select potential of bacteria to produce exopolysaccharide (EPS) and study effective of bacteria to improve aggregate stability of sandy soils and increasing growth and yield of Choy sum (*Brassica rapa* var *parachinensis*). The experiments were conducted at the Khao Hin Sorn Royal Development study center. A soil samples were collected and selected EPS producing bacteria from basin and reservoir within center. Then effect of EPS producing bacteria on soil aggregate were evaluated in laboratory. And Bacteria was identified by molecular method. Finally, the production of EPS producing bacteria were evaluated on choy sum in both greenhouse and field condition. The results showed that Two effective EPS producing bacteria isolate were EPS-NJ-1/02 and EPS-NJ- 2/05 They were *Pseudomonas* sp. 2 Isolates which increased soil aggregate stability from 8.86 % to 10.66 % and 11.58 %, respectively. The result in green house experiment showed that 100 lite per rai of microbial product incorporated with molasses solution had highest fresh weight when compare other treatment. There was 34.73 gram per plant. In field experiment found that 300 kg per rai of microbial product incorporated with left compost and 1 % rice husk and 2 ton per rai of left compost had highest fresh weight. There was 102.91 gram per plant. In previously work, we found that inoculation of EPS producing bacteria was improved soil aggregate stability of sandy soil and promoted growth plant.

Keywords : Exopolysaccharide sandy soil Choy sum Soil physic RT-PCR

Research registration number : 64-64-03-09-020000-025-01-21 Khao Hin Sorn Royal Development study center office of land development regional 2

บทนำ

เอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ (exopolysaccharide, EPS) เป็นสารโพลิเมอร์อินทรีย์ (organic polymer) ที่จุลินทรีย์หลายชนิดซึ่งอาศัยอยู่บริเวณรากพืชผลิตออกมานอกเซลล์สามารถผลิตได้ใน 2 รูปแบบ คือ แบบสารเมือก และแบบแคปซูล (Francois *et al.*, 2004) สารโพลิแซคคาไรด์มีลักษณะเป็นสารเหนียว มีความหนืด ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด เช่น น้ำตาลกาแลคโตส (galatose) กลูโคส (glucose) อาราบินอส (arabinose) ไซโลส (xylose) แรมโนส (rhamnose) และกรดยูโรนิค (uronic acid) เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์สามารถสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ได้หลากหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ (Schmid *et al.*, 2015) ซึ่งทำให้มีสมบัติที่หลากหลายและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน หนึ่งในนั้นคือ ด้านการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน การปรับปรุงดิน โดยเฉพาะการเพิ่มเสถียรภาพของเม็ดดิน สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่สร้างโดยจุลินทรีย์จะช่วยเพิ่มความพรุนของดิน ลดการพังทลายของดิน และเป็นตัวส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของรากพืช (Bronick and Lal, 2005; Diné *et al.*, 1992) จุลินทรีย์หลายชนิดผลิตสารโพลิเมอร์นอกเซลล์ เป็นโพลิเมอร์ที่ให้ความชุ่มชื้นสูง ซึ่งประกอบด้วย โพลิแซคคาไรด์, โปรตีน และดีเอ็นเอ สารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ทำให้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเคมี การกักเก็บสารอาหารและป้องกันความเครียดจากสิ่งแวดล้อม เช่น ความเค็มและความแห้งแล้ง ซึ่งสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ของจุลินทรีย์เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยรักษาความชื้นของสิ่งแวดล้อม (Ohana *et al.*, 2018) จากการศึกษาการใส่เชื้อแบคทีเรียที่สร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์บริเวณรากของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในดินเค็มพบว่า ทำให้รากข้าวโพดมีจำนวนรากสูงกว่าข้าวโพดที่ปลูกในดินปกติ และยังเพิ่มการรวมตัวของดินรอบรากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วย โดยทั่วไปการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะลดลงตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น แต่การใส่แบคทีเรียที่ผลิตสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ส่งผลให้เพิ่มน้ำหนักรากแห้งและยอด คลอโรฟิลล์ a, b และแคโรทีนอยด์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการใส่แบคทีเรีย การใส่เชื้อแบคทีเรียช่วยจำกัดการดูดซึมของ Na^+ และ Cl^- ในขณะที่เพิ่มการสะสมของ N, P และ K เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สรุปได้ว่าการใส่เชื้อของแบคทีเรียที่สร้างเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์สามารถช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิต จากดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ (Awad. *et al.*, 2012)

นอกจากประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์จะมีผลต่อการใช้ประโยชน์ของพืชแล้ว ยังพบว่ารูปแบบของการใช้งานก็เป็นตัวเสริมประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ด้วย โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย สะดวก และสามารถเก็บเชื้อจุลินทรีย์ได้นาน (มนตรีและคณะ, 2550)

ดังนั้นการศึกษานิตและสมบัติของจุลินทรีย์ในดินที่สร้างเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ คัดเลือกและศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มเสถียรภาพของเม็ดดินเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินทราย พร้อมทั้งศึกษารูปแบบการใช้งานของเชื้อจุลินทรีย์ให้เหมาะสมโดยทดสอบในพืชผักที่นิยมปลูกในระบบปลอดภัยและระบบเกษตรอินทรีย์ และถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่เกษตรกรต่อไป ผลจากงานวิจัยนี้จะสามารถเพิ่มองค์ความรู้ และวิธีการปรับปรุงดินและสมบัติทางกายภาพของดินทรายให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชโดยใช้จุลินทรีย์ในท้องถิ่น ในปัจจุบันมีการศึกษา วิจัย เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ ที่มีประจุที่ยึดจับอนุภาคเม็ดดินและอินทรีย์วัตถุ ทำให้ดินทรายมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น ซึ่งการใช้จุลินทรีย์ในการปรับปรุงดิน นอกจากเป็นเทคโนโลยีใหม่ ยังช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของเกษตรกรลดลง และเป็นเทคโนโลยี

ที่ไม่ยุ่งยากเกษตรกรปฏิบัติตามได้ง่าย (ศตวรรษ, 2558) จึงสามารถขยายองค์ความรู้ให้กับเกษตรกรนำไปใช้ปรับปรุงดินให้มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน
2. ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในการเพิ่มเสถียรภาพเม็ดดินเพื่อฟื้นฟูดินทราย
3. ศึกษารูปแบบการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิตต้นกวางตุ้ง

การตรวจเอกสาร

1. ความหมายและลักษณะของดินทราย

ดินทราย หมายถึง ดินที่มีเนื้อดินบนเป็นทรายหรือทรายปนดินร่วน เกิดเป็นชั้นหนามากกว่า 100 เซนติเมตรจากผิวดิน รวมถึงพื้นที่ที่มีชั้นทรายหนามากกว่า 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ที่รองรับด้วย ชั้นดานดินเหนียว ดินร่วน หรือพบชั้นดานอินทรีย์ภายในความลึก 100 เซนติเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.)

ลักษณะของดินทราย มีเนื้อดินเป็นดินทรายหรือดินทรายปนดินร่วน ทำให้มีเนื้อดินในส่วนที่เป็นดินเหนียวและดินทรายปนน้อย เป็นดินไม่มีโครงสร้าง มีลักษณะเป็นเม็ดเดี่ยว ๆ การเกาะตัวของเม็ดดินต่ำ ทำให้เกิดปัญหาการชะล้างพังทลายของดินสูง หน้าดินบาง เกิดเป็นร่องกว้างและลึก น้ำไหลซึมผ่านลงไปดินชั้นล่างได้ง่าย การระบายน้ำดีเกินไป ความสามารถในการอุ้มน้ำและดินมีความชื้นต่ำ ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารต่ำ ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ดินแน่นทึบ เนื่องจากเนื้อดินเป็นทรายละเอียด เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของพืช การใช้ประโยชน์เพื่อการปลูกพืชต้องมีการจัดการเป็นพิเศษกว่าดินทั่วไป ประเภทของดินทราย แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1.1 ดินทรายในพื้นที่ลุ่ม เป็นดินที่พบตามบริเวณที่ลุ่มระหว่างสันเขาหรือเนินทรายชายฝั่งทะเล หรือในพื้นที่ราบเรียบที่อยู่ใกล้ภูเขาหินทรายเนื้อหยาบ เป็นกลุ่มดินทรายลึกมาก การระบายน้ำเร็วหรือค่อนข้างเร็ว ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 23 และ 24 มีเนื้อที่ 1,043,979 ไร่

1.2 ดินทรายในพื้นที่ดอน พบตามบริเวณหาดทราย สันทรายชายทะเล หรือบริเวณพื้นที่ลอนลาดจนถึงที่ลาดเชิงเขา เป็นกลุ่มดินทรายลึกมาก การระบายน้ำดีถึงค่อนข้างมาก มีเนื้อที่ 10,443,153 ไร่ พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคตะวันออก ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 41 43 และ 44

1.3 ดินทรายในพื้นที่ดอนที่มีชั้นดานอินทรีย์ พบตามบริเวณหาดทรายเก่าหรือสันทรายชายทะเลของภาคใต้และภาคตะวันออก มีลักษณะเฉพาะ ดินชั้นบนจะเป็นทรายสีขาว ถัดลงไปที่ระดับความลึกประมาณ 60-80 เซนติเมตร จะพบชั้นทรายสีน้ำตาลปนแดงอัดตัวแน่นเป็นชั้นดานเกิดจากการจับตัวกันของสารประกอบจำพวก เหล็กและอินทรีย์วัตถุ ในช่วงฤดูแล้งชั้นดานจะแห้งและแข็งมาก มีเนื้อที่ 376,485 ไร่ พบมากทางภาคใต้ และพบทั่วไปในภาคตะวันออก ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 42 (เอิบ, 2533)

ดินทรายมีส่วนประกอบของทรายเป็นองค์ประกอบอยู่มาก โดยทั่วไปพบว่าดินทรายมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีวัตถุต้นกำเนิดธาตุดังกล่าวต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) การดูดซับแร่ธาตุและการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำเช่นเดียวกัน แม้จะมีการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มแร่ธาตุต่าง ๆ ก็ไม่สามารถดูดซับไว้ได้เป็นผลทำให้พืชที่ปลูกมีการเจริญเติบโตไม่ดีและให้ผลผลิตต่ำไป สอดคล้องกับการศึกษาการจัดการดินทรายจัดเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จากสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพและเคมีของดินทรายทำให้ทราบว่าดินมีศักยภาพในการเกษตรต่ำมาก และอาจจะเกิดปัญหาในด้านการจัดการดินเมื่อนำไปใช้ในการเกษตรปัญหาที่สำคัญ คือ 1. ปัญหาเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ดินแน่นทึบทำให้การแพร่กระจายของรากพืชอยู่ในวงจำกัดทำให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ เนื่องจากมีอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบต่ำ 2. ปัญหาเกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของดิน นับว่าเป็นปัญหาที่รุนแรงในพื้นที่การเกษตร ซึ่งดินทรายจะมีศักยภาพในการถูกชะล้างสูง เนื่องจากอนุภาคดินเกาะกันอย่างหลวม ๆ การชะล้างพังทลายของดินทำให้เกิดปัญหาติดตามมาหลายอย่าง เช่น ทำให้สมบัติทางเคมีและ

กายภาพของดินเสื่อมลงอย่างรวดเร็ว 3. ปัญหาเกี่ยวกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินทรายจัดจะมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในเกณฑ์ต่ำหรือต่ำมาก เป็นเหตุให้การใช้ปุ๋ยเคมีให้ผลตอบแทนต่อพืชต่ำ และดินถูกนำมาใช้ในการเพาะปลูกเป็นเวลานานขาดการบำรุงรักษาและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์แก่ดินเท่าที่ควร จึงทำให้ดินมีสภาพเสื่อมลง เป็นผลทำให้ผลิตต่อหน่วยพื้นที่ลดลงด้วย

ข้อเสนอแนะ การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินทรายจัดจะทำให้ดินร่วนซุยจับเป็นก้อนได้ดี ช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ในส่วนที่เกี่ยวกับความแน่นทึบ ความสามารถในการอุ้มน้ำและรักษาความชื้นในดิน ดังนั้นดินทรายจัดจำเป็นจะต้องมีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินในรูปของปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยเทศบาล และการใช้วัสดุคลุมดิน เช่น ฟางข้าว แกลบ เป็นต้น ซึ่งสารปรับปรุงดินเหล่านี้จะช่วยทำให้ดินเกาะกันเป็นก้อนร่วนซุย เป็นผลทำให้การระเหยของน้ำจากดินช้าลง และก็สามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารไว้ได้มากขึ้น (ศิริณีและคณะ, 2556)

2. การแจกกระจายของดินทราย

ดินทราย มีเนื้อที่รวมทั้งประเทศ 11,863,617 ไร่ พบทั่วไปในทุกภาคของประเทศ พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 8,634,546 ไร่ รองลงมาคือภาคกลาง 1,008,035 ไร่ ภาคตะวันออก 996,925 ไร่ ภาคใต้ 962,770 ไร่ และภาคเหนือ 261,341 ไร่ (กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, ม.ป.ป.) (ตารางที่ 1) รวมทั้งเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของดินทรายตามประเภทดินทรายและกลุ่มชุดดินในแต่ละประเภทดินทราย มีดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561)

- 1) ดินทรายในพื้นที่ลุ่ม มีเนื้อที่ 1,043,979 ไร่ ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 23 และ 24
- 2) ดินทรายในพื้นที่ดอนที่ไม่มีชั้นดานอินทรีย์ พบในเขตดินชั้นและเขตดินแห้ง มีเนื้อที่ 10,443,153 ไร่ ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 43 และ 44
- 3) ดินทรายในพื้นที่ดินที่มีชั้นดานอินทรีย์ภายใน 100 เซนติเมตรจากผิวดิน มีเนื้อที่ 378,845 ไร่ ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 42

ตารางที่ 1 พื้นที่ดินทรายรายภาคของประเทศไทย ปี 2561

ประเภทดินทราย	เนื้อที่ (ไร่)
1. ดินทรายในพื้นที่ลุ่ม	1,043,979
- ภาคเหนือ	-
- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	721,723
- ภาคกลาง	34,643
- ภาคตะวันออก	195,436
- ภาคใต้	92,177
2. ดินทรายในพื้นที่ดอน	10,443,153
- ภาคเหนือ	261,341
- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	7,912,823
- ภาคกลาง	973,392
- ภาคตะวันออก	789,722
- ภาคใต้	505,875
3. ดินทรายที่มีชั้นดานอินทรีย์	376,845
- ภาคตะวันออก	11,767
- ภาคใต้	364,718
รวมทั้งประเทศ	11,863,617

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2561)

3. ข้อมูลดินในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน

ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน ตั้งอยู่ในตำบลเขาหินซ้อน อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา พื้นที่ส่วนใหญ่ดินเป็นดินทรายและดินร่วนปนทราย เป็นชุดดินมาบอน จัดอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 35 โดยชุดดินดังกล่าวมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย ระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำและพื้นที่มีความลาดชัน ง่ายต่อการชะล้างพังทลาย (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2559) มีรายละเอียด ดังนี้

3.1 ธรณีสัณฐานและวัตถุดินกำเนิดดิน

พื้นที่บริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน ส่วนใหญ่มีสภาพเป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลอนลาด เกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ของหินแกรนิต และเกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิตแต่เคลื่อนย้ายมาทับถมซึ่งเรียกว่า เป็นพื้นที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน (erosion surface) และมีเขาโดด (monadnock) ที่เรียกว่า เขาหินซ้อน อยู่ทางทิศเหนือของพื้นที่ เป็นภูเขาหินแกรนิตยุคไทรแอสซิก (Triassic) บริเวณส่วนต่ำของเนินหรือที่ราบต่ำระหว่างเนิน ซึ่งพบโดยทั่วไปในบริเวณพื้นที่โครงการศูนย์ฯ พื้นที่บริเวณส่วนตอนกลางในทิศเป็นแนวลำห้วยน้ำโจนและห้วยอื่นๆ ไหลผ่านบริเวณขอบลำห้วยเป็นที่ราบตะกอนลำน้ำแคบ ๆ ยาวตลอดแนวลำห้วย ลักษณะการเกิดของดินมีความสัมพันธ์กับสภาพพื้นที่ สามารถจัดแบ่งสภาพการเกิดดินได้ดังนี้

3.1.1 ดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิตส่วนใหญ่อยู่บนบริเวณที่ลาดเชิงเขาหรืออยู่บริเวณที่สูงของเนิน ซึ่งเป็นพื้นที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน (erosion surface) ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทราย พบเศษหินแกรนิตกับแร่ที่เกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิต เช่น แร่ฟีนมา (feldspar) แร่ไมกา (mica) แร่เขียวหนุมาน (quartz) ปะปน ดินส่วนใหญ่จะเป็นดินสีเทา บางแห่งจะเป็นดินค่อนข้างลึก พบชั้นหินแกรนิตที่กำลังสลายตัวอยู่ในระดับความลึกประมาณ 80 เซนติเมตร

3.1.2 ดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิตบริเวณพื้นที่ตอนที่เป็นพื้นที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน (erosional surface) ที่พบเป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่ มีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาด ความลาดชันประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลักษณะดินเป็นดินร่วนปนทราย ถึงดินร่วนเหนียวปนทราย ที่พบเศษเหลือของแร่ที่เกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิต เช่น แร่ฟีนมา (feldspar) แร่ไมกา (mica) และแร่เขียวหนุมาน (quartz) ในทำนองเดียวกันกับพื้นที่ลาดชันเชิงเขา ส่วนลาดต่ำของเนิน หรือบริเวณชายเนิน ดินที่พบจะเป็นดินทรายที่เกิดจากการทับถมของตะกอนดินทรายที่ถูกชะล้างพังทลายมาจากพื้นที่ตอนบน

3.1.3 ดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำเก่า พบอยู่บริเวณที่ราบลุ่มต่ำ หรือบริเวณสองข้างของลำห้วยที่เป็นแนวแคบ ๆ ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว หรือดินร่วนปนทราย หรือดินร่วนเหนียวปนทรายเป็นดินสีเทา การระบายน้ำของดินค่อนข้างเลวถึงเลว พบบริเวณที่ใช้ในการทำนา

3.2 ลักษณะทรัพยากรดิน

จากการสำรวจดินในระดับค่อนข้างละเอียด (กองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน, 2559) โดยใช้ระบบจำแนกดินตามมาตรฐานของกองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน ซึ่งในหลักการจำแนกดินตามระบบสากลของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA soil Taxonomy) สามารถจำแนกดินในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนโดยชุดดินที่พบมากที่สุดคือ ชุดดินมาบอบน ลักษณะ เป็นดินสีเทา ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาลถึงสีเหลืองปนแดง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 5.0-5.5) ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลเข้มหรือสีเหลืองปนแดง บางบริเวณในชั้นดินล่างที่ช่วงความลึกประมาณ 100-150 เซนติเมตร จากผิวดิน อาจพบก้อนกรวดปะปนอยู่ และพบสีผสมของหินแกรนิต (weathered granite) เป็นสีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลปนเหลือง สีเทา สีแดงปนน้ำตาลและสีแดงปะปนอยู่ ปฏิกริยาดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัด (pH 4.5-5.5) ข้อจำกัด เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำสำหรับพืชในฤดูเพาะปลูก และเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลาย ข้อเสนอแนะ เหมาะสมสำหรับปลูกพืชไร่ ไม้ผล ไม้ยืนต้น หรือสวนป่าถ้ามีการปลูกพืชเศรษฐกิจควรมีการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ป้องกันการขาดน้ำ และการชะล้างพังทลาย

4. สภาพการใช้ที่ดินในพื้นที่ดินทราย

ดินทรายมีเนื้อที่ 11,863,617 ไร่ มีการใช้ที่ดินเป็นพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุด มีเนื้อที่ 8,999,274 ไร่ หรือร้อยละ 75.86 ของพื้นที่ดินทราย รองลงมาเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเนื้อที่ 1,024,147 ไร่ หรือร้อยละ 8.63 ของพื้นที่ดินทราย พื้นที่ป่าไม้ มีเนื้อที่ 992,579 ไร่ หรือร้อยละ 8.37 ของพื้นที่ดินทราย พื้นที่เบ็ดเตล็ด (เช่น พื้นที่ร้าง พื้นที่ลุ่ม เหมือนแร่ บ่อลูกร้าง บ่อทราย) มีเนื้อที่ 701,578 ไร่ หรือร้อยละ 5.91 ของพื้นที่ดินทราย และพื้นที่แหล่งน้ำ มีเนื้อที่ 146,039 ไร่ หรือร้อยละ 1.23 ของพื้นที่ดินทราย และสำหรับการปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานานโดยไม่มีการปรับปรุงดิน หรือเพิ่มความอุดมสมบูรณ์แก่ดินเท่าที่ควรทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง นอกจากนี้ดินทรายยังมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ และเก็บน้ำไว้ไม่อยู่ต่อการขาดแคลนความชื้นทำให้พืชที่ปลูกมี

การเจริญเติบโตไม่ดีและให้ผลผลิตน้อยกว่าดินปกติ โดยสรุปดินทรายบริเวณที่ลุ่มใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นนาข้าว ส่วนที่ดอนใช้ปลูกพืชไร่ ปาล์มน้ำมัน พืชไร่ และไม้ละเมาะ ดินทรายบริเวณชายทะเลใช้ปลูกมะพร้าวเป็นพืชหลัก ส่วนดินทรายในที่ดอนที่มีชั้นดานอินทรีย์ มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อปลูกมะพร้าวเป็นหลัก แต่ให้ผลผลิตต่ำ (กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, ม.ป.ป.)

5. สภาพปัญหาของดินทราย

ดินทรายเกิดการชะล้างพังทลายได้ง่าย มีการระบายน้ำดี ถึงดีเกินไปไม่อุ้มน้ำ ทำให้เกิดปัญหาพืชขาดแคลนน้ำ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารต่ำ ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ สมบัติทางกายภาพของดินไม่ดี ไม่มีโครงสร้าง เป็นเม็ดเดี่ยว ๆ ทำให้ไม่เกาะยึดตัว สูญเสียดิน น้ำ และธาตุอาหารได้ง่าย บางพื้นที่ดินแน่นทึบจากการเซตกรรมไม่เหมาะสม โดยเฉพาะดินนาที่มีเนื้อดินค่อนข้างเป็นทรายละเอียด ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการงอกของรากพืช พืชมีการเจริญเติบโตไม่ดี

จากสมบัติต่าง ๆ ของดินทรายทำให้ดินชนิดนี้ มีศักยภาพในการเกษตรต่ำมาก การนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จำเป็นต้องปรับปรุงแก้ไขเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร และควรเลือกชนิดพืชที่ปลูกให้เหมาะสม (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2559) ปัญหาที่พบและจำเป็นต้องปรับปรุงได้แก่

1. ปัญหาเกี่ยวกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินทรายจัดมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงต่ำมาก ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารต่ำมาก เป็นเหตุให้การตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยเคมีของพืชต่ำ และส่งผลให้ได้ผลผลิตต่ำ
2. ปัญหาเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของดิน ดินทรายไม่มีโครงสร้างหรือเป็นเม็ดๆ ทำให้ไม่เกาะยึดตัวสูญเสียดิน น้ำ และธาตุอาหารได้ง่าย บางพื้นที่ดินแน่นทึบจากการเซตกรรมไม่เหมาะสม โดยเฉพาะดินพื้นที่นาที่มีเนื้อดินค่อนข้างเป็นทรายละเอียดและมีอินทรีย์วัตถุต่ำ ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการงอกของรากพืช
3. ปัญหาเกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของดิน การชะล้างพังทลายของดินจะเกิดรุนแรงในพื้นที่ที่มีความลาดชันตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และเกิดรุนแรงมากในพื้นที่ลาดชันสูงหรือพื้นที่ภูเขา โดยเฉพาะในพื้นที่ปลูกพืชที่ไม่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมและถูกวิธี เกิดการสูญเสียหน้าดินหน้าดินบางเป็นร่องลึกและกว้าง เกิดพื้นที่เสื่อมโทรม ไม่สามารถเพาะปลูกพืชได้ นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ เช่น แม่น้ำลำธาร เขื่อน และอ่างเก็บน้ำชลประทานตื้นเขิน
4. ปัญหาการขาดแคลนน้ำ มักพบในช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปกติ ฝนไม่ตกตามฤดูกาล ฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานาน ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ พืชชะงักการเจริญเติบโต เหี่ยวเฉา ผลผลิตลดลงและมีคุณภาพต่ำ

6. แนวทางการจัดการดินทราย

ดินทรายจัด เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำสมบัติทางกายภาพของดินไม่ดี ดินมีโอกาสดินขาดแคลนน้ำได้ง่าย และเกิดการชะล้างพังทลายของดินได้ง่าย จึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงบำรุงดิน และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินและเลือกชนิดของพืชที่ปลูกให้เหมาะสม โดยมีหลักการจัดการดังนี้

1. เลือกชนิดของพืชที่เหมาะสมในการที่จะนำมาใช้ปลูกในดินทรายจัด โดยเป็นพืชที่ใช้ใช้น้ำน้อย อายุการเก็บเกี่ยวสั้น สามารถทนแล้งได้ ได้แก่ มันสำปะหลัง แตงโม ถั่ว ต่างๆ หญ้าเลี้ยงสัตว์ ไม่โตเร็ว เช่น ยูคาลิปตัส

2. เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ หลักการสำคัญของการจัดการดินทราย คือ การเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้กับดิน เพื่อเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและแร่ธาตุอาหาร

3. จัดหาและพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรสำรองไว้ใช้ เนื่องจากพืชที่ปลูกในดินทรายมีโอกาสดินขาดแคลนน้ำสูง โดยเฉพาะในช่วงที่มีฝนตกน้อยหรือไม่มีฝนตกในช่วงเวลาที่พืชต้องการ จึงควรมีการพัฒนาแหล่งน้ำ ซึ่งต้องพิจารณาจากความสามารถในการกักเก็บน้ำร่วมด้วย

4. วางแผนการใช้ที่ดินให้เหมาะสมกับศักยภาพของดินทราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกพืชหมุนเวียน ซึ่งจะมีพืชตระกูลถั่วร่วมอยู่ด้วย

5. การจัดทำระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ โดยการปลูกพืชไร่ในดินทรายที่มีความลาดชัน 2-5 เปอร์เซ็นต์ มีโอกาสเกิดการชะล้างพังทลายของดินได้ง่าย จึงควรมีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำที่มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่และพืชที่ปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำหญ้าแฝกมาปลูก

6.1 แนวทางการจัดการดินทรายเพื่อปลูกข้าว

1. การเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ได้แก่ ปุ๋ยคอก เศษพืช หรือ โกลบพืชปุ๋ยสด เพื่อให้อินทรีย์วัตถุเป็นตัวดูดน้ำและธาตุอาหาร นอกจากนี้ยังช่วยในการเกาะยึดของดินดีขึ้น

2. การไถกลบตอซังข้าวในขณะเตรียมดิน

3. การใช้ปุ๋ยเคมี ควรมีการใช้ปุ๋ยเคมีให้เหมาะสม โดยเลือกชนิดของแม่ปุ๋ย หรือใช้ปุ๋ยนาที่จำหน่ายทั่วไป ในอัตราที่เหมาะสมและวิธีใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับชนิดของข้าวที่ปลูก

6.2 แนวทางการจัดการดินทรายเพื่อปลูกพืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น

การปรับปรุงดินทรายควรปรับปรุงทั้งสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ด้วยการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุลงไปดิน อินทรีย์วัตถุช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ในปริมาณมาก ประมาณ 6-20 เท่าของน้ำหนัก เนื่องจากเป็นอนุภาคขนาดเล็ก และมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์ จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำไว้ได้มากเป็นพิเศษ อนุภาคของอินทรีย์วัตถุยังประกอบกันเป็นโครงสร้างมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ มีช่องขนาดเล็กที่สามารถดูดซับน้ำได้มากช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำของดิน โดยเฉพาะดินทรายหรือดินเหนียวจะช่วยให้งักเก็บน้ำได้มากขึ้น นอกจากนี้อินทรีย์วัตถุยังเป็นสารประกอบที่มีประสิทธิภาพสูงในการเกาะยึดหรือรวมตัวกับอนุภาคต่างๆในดิน ทำให้เกิดเป็นสารเชื่อมทำให้ดินเกาะยึดกันเป็นเม็ดดิน ซึ่งเป็นหน่วยโครงสร้างย่อยที่ทำให้ดินมีสภาพร่วนซุย มีการซาดซึมน้ำและระบายอากาศดี และอินทรีย์วัตถุยังเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช โดยอินทรีย์วัตถุถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน ทำให้ได้ธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ถูกปลดปล่อยออกมาให้พืชนำไปใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุได้โดยวิธีการต่างๆดังนี้

1. การปลูกพืชคลุมดิน ปลูกพืชที่มีระบบใบหนาแน่น หรือมีระบบรากแน่นและแพร่กระจายคลุมและยึดดิน เพื่อช่วยให้ดินมีสิ่งรองรับแรงปะทะจากเม็ดฝน การพัดพาของน้ำฝนและกระแสลม ช่วยลดความเร็วและการกระจายการไหลของน้ำที่ไหลบ่าบนผิวดิน ทำให้น้ำซึมลงไปในดินมากขึ้น เพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ถ้าเป็นพืชตระกูลถั่วจะสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ประโยชน์เพิ่มเติมให้แก่ดิน ช่วยรักษาความชุ่มชื้นและดูดซับธาตุอาหารในดิน

2. การใช้วัสดุคลุมดิน โดยใช้วัสดุอย่างใดอย่างหนึ่งปกคลุมผิวน้ำดิน เพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ และเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ส่วนใหญ่มักเป็นวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ เศษซากพืชหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ตอซังพืช แล็บ ขี้เถ้า แกลบขี้เลื่อยตลอดจนใบไม้หญ้าแห้ง และหญ้าแห้ง นำมาคลุมโคนต้นและระหว่างแถวพืชที่ปลูก นอกจากนี้เมื่อเศษซากพืชคลุมดินสลายตัวจะได้อินทรีย์วัตถุสำหรับปรับปรุงบำรุงดินและให้ธาตุอาหารกับพืช

3. การเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก เศษพืช หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด เพื่อให้อินทรีย์วัตถุเป็นตัวดูดน้ำและธาตุอาหาร นอกจากนี้ยังช่วยในการเกาะยึดของดินดีขึ้น

4. เลือกชนิดพืชที่ปลูกที่เหมาะสม ปลูกพืชทนแล้งที่มีระบบรากลึก เพื่อให้พืชสามารถใช้น้ำใต้ดินได้ เช่น ยูคาลิปตัส หรือปลูกพืชที่ใช้น้ำน้อยและมีอายุสั้น เช่น ถั่วเขียว ข้าวโพดฝักอ่อน ข้าวโพดหวาน เป็นต้น และการปลูกพืชแบบหมุนเวียน ไร่นาสวนผสม

ส่วนการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน ควรส่งตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินก่อนแล้วจึงใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน และเลือกปุ๋ยเคมีให้เหมาะสมกับชนิดพืชที่ปลูก เช่น ใช้ปุ๋ยเคมีที่ละลายช้า ใส่ครั้งละน้อย ๆ แต่ใส่บ่อยครั้ง เมื่อดินมีความชื้นเหมาะสม

นอกจากนี้สำหรับแนวทางในการจัดการดินเพื่อเพิ่มการเกิดเม็ดดินและธาตุอาหาร มีการศึกษาเกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่มีความสามารถสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์เพื่อเพิ่มสมบัติดังกล่าวจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น มีส่วนช่วยทำให้เกิดเม็ดดิน เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มธาตุอาหารในดินซึ่งช่วยเสริมการเจริญเติบโตของพืชด้วย (Alami *et al.*, 2000; Lynch and Bragg, 1985ab) และจากการศึกษาการทำงานของจุลินทรีย์ *Pseudomonas putida* strain GAP-P45 ในสภาพความเครียดต่าง ๆ พบว่า จุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถทนต่อสภาวะต่าง ๆ ได้ดี และยังพบว่าการเกิดเม็ดดินและความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มขึ้นในทุกสภาพด้วย (Sandhya and Ali, 2015)

7. การเกิดเสถียรภาพของเม็ดดิน

7.1 ความหมายของเสถียรภาพของดิน

เสถียรภาพของเม็ดดิน หมายถึง ความสามารถของเม็ดดินในการต้านทานต่อแรงที่ทำให้เม็ดดินแยกสลาย เช่น การไถพรวน และการกระแทกของเม็ดฝน (ยงยุทธ, 2561) ซึ่งเสถียรภาพของเม็ดดิน (soil aggregate stability) เกิดจากการเกาะกลุ่มและเชื่อมโยงกันเข้าของอนุภาคทราย หินขนาดเล็ก และดินเหนียวเป็นเม็ดดิน ต้องอาศัยสิ่งที่เชื่อมโยงให้อนุภาคต่าง ๆ เกาะกันเป็นเม็ดดินที่มีเสถียรภาพ ได้แก่ แร่ดินเหนียว พวกออะลูมิเนียมซิลิเกต ออกไซด์ของเหล็ก และอะลูมิเนียม แคลเซียมคาร์บอเนต ดินเหนียว ฮิวมัสโดเมน อินทรีย์วัตถุ และจุลินทรีย์ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2564) โดยทั่วไปนักปฐพีวิทยาใช้เสถียรภาพเม็ดดิน (soil aggregate stability) เป็นดัชนีประเมินโครงสร้างดิน (Bronick and Lal, 2005) เนื่องจากเป็นค่าที่บอกถึงระดับความคงทนในการเกาะยึดของอนุภาคดิน ซึ่งส่งผลต่อขนาดและความต่อเนื่องของช่องในดิน จึงเป็นสิ่งกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่และเก็บกักของน้ำ การระบายอากาศ

การหมุนเวียนธาตุอาหาร การกร่อนดิน ซึ่งสำคัญต่อการเติบโตของพืช เสถียรภาพเม็ดดินมีอิทธิพลอย่างกว้างขวางต่อกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ ซึ่งเกิดขึ้นในดินทั้งในระบบนิเวศตามธรรมชาติ และระบบนิเวศเกษตร จึงถูกนำมาใช้เป็นดัชนีทำนายพฤติกรรมของดินด้านต่าง ๆ (สุรเชษฐ์, 2560)

7.2 กระบวนการเกิดเสถียรภาพของเม็ดดิน

กลไกการเกิดเม็ดดินและเสถียรภาพเม็ดดิน เม็ดดินเกิดขึ้นจากการเกาะกลุ่มของอนุภาคดิน และแยกตัวออกจากเม็ดดินข้างเคียง กระบวนการหลักสองประการ คือ

1) การเกาะกลุ่มตกตะกอน (flocculation) ของอนุภาคดินเหนียว ซึ่งอาศัยแรงทางฟิสิกส์ จัดเป็นกระบวนการสร้าง (formation)

2) การเชื่อมยึดกัน (cementation) ระหว่างอนุภาคขนาดดินเหนียว ทรายแป้ง และทราย โดยมีสารเชื่อม (cementing agent) ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ จัดเป็นกระบวนการทำให้เม็ดดินมีเสถียรภาพ (stabilization) (Amézqueta, 1999)

จากกระบวนการทั้งสองทำให้แบ่งขนาดการเกาะกลุ่มของอนุภาคดินได้ 3 ระดับ ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

- 1) ระดับอนุภาคดินเหนียว (clay level) (< 2 ไมโครเมตร)
- 2) ระดับเม็ดดินขนาดเล็ก (micro-aggregate level) (2–250 ไมโครเมตร)
- 3) ระดับเม็ดดินขนาดใหญ่ (macro-aggregate level) (>250 ไมโครเมตร) (Tisdall and Oades, 1982)

การสร้างเม็ดดินต้องผ่านกระบวนการเกาะกลุ่มตกตะกอนของอนุภาคดินเหนียวซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ต้องมีมาก่อน (prerequisite) กระบวนการเชื่อมยึดกันจึงเกิดตามมา เมื่อกระบวนการเกาะกลุ่มตกตะกอนถูกทำลาย การเชื่อมยึดกันภายในเม็ดดินและระหว่างเม็ดดินก็จะถูกทำลายตามไปด้วย (Dexter, 1988)

สำหรับแนวทางในการประเมินเสถียรภาพเม็ดดินขึ้นกับความแตกต่างของระดับการเกาะกลุ่มอนุภาคดินโดยทั่วไปแบ่งการประเมินเป็น 2 ระดับ คือ

- 1) การประเมินเสถียรภาพเม็ดดินขนาดใหญ่ หรืออาจเรียกว่าการทดสอบเสถียรภาพเม็ดดิน (soil aggregate stability test)
- 2) การประเมินเสถียรภาพเม็ดดินขนาดเล็ก ซึ่งพิจารณาการเกาะกลุ่มที่มีขนาดตั้งแต่อนุภาคดินเหนียวจนถึงเม็ดดินขนาดเล็ก มักทดสอบการกระจายของอนุภาคดินเหนียว (clay dispersion test) การศึกษาเรื่องเสถียรภาพของเม็ดดินจำเป็นต้องประเมินทั้งสองระดับ (Kay and Dexter, 1990) และอาจประเมินจากเสถียรภาพเม็ดดินหรือการแจกกระจายขนาดเม็ดดิน (aggregate size distribution) (Amézqueta, 1999)

ซึ่งระดับเสถียรภาพเม็ดดินขึ้นกับปัจจัยหลัก คือ 1) ปัจจัยภายใน (internal factors) ได้แก่ อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) อัตราการดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio: SAR) พีเอช (pH) ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว แคลเซียมคาร์บอเนต อินทรีย์วัตถุ เหล็ก และอลูมิเนียมออกไซด์ 2) ปัจจัยภายนอก (external factors) ได้แก่ ภูมิอากาศ เวลา ปัจจัยทางชีวภาพ และกิจกรรมทางการเกษตร (Amézqueta, 1999) ทั้งนี้ อิเล็กโทรไลต์ พีเอช และอัตราการดูดซับโซเดียม เป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมการฟุ้งกระจายและการเกาะยึดกันของอนุภาคดินเหนียว สำหรับอิเล็กโทรไลต์มีสำคัญต่อเสถียรภาพเม็ดดินทั้งในระดับเม็ดดินขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ (Holthusen *et al.*, 2010)

และกลไกที่สำคัญต่อการพังทลายของเม็ดดินมี 4 ประการหลัก (Le, 2016) ดังนี้

1) slaking คือ การติดตัวของมวลอากาศที่ถูกบีบอัดภายในเม็ดดินแห้งขณะเปียกน้ำฉับพลัน ส่งผลให้เม็ดดินขนาดใหญ่แตกออกเป็นเม็ดดินขนาดเล็ก การพังทลายโดยกลไกนี้จะลดลงเมื่อดินมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในพิสัย 100–300 กรัมต่อกิโลกรัม

2) differential swelling คือ การยืดขยายตัวของอนุภาคดินเหนียวภายในเม็ดดิน ส่งผลให้เม็ดดินขนาดใหญ่แตกออกเป็นเม็ดดินขนาดเล็ก แต่การพังทลายโดยกลไกนี้เพิ่มขึ้นตามปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวที่ยึดเหนี่ยวได้เพิ่มขึ้น

3) raindrop impact คือ ผลกระทบจากเม็ดฝนทำให้เกิดการพังทลายของเม็ดดิน ความรุนแรงเพิ่มขึ้นเมื่อผิวดินขาดสิ่งปกคลุม แรงปะทะของเม็ดฝน จะทำให้เม็ดดินขนาดใหญ่แตกออกเป็นเม็ดดินขนาดเล็กหรือจนกลายเป็นอนุภาคเดี่ยว

4) electro – chemical dispersion คือ การกระจายเชิงเคมีไฟฟ้าที่เกิดจากความเครียดออสโมติก (osmotic stress) ภายในเม็ดดิน โดยเมื่อเม็ดดินเปียกน้ำจะเกิดการผลักกันของชั้นประจุไฟฟ้าสองชั้น (electrical double layer) ที่อยู่รอบอนุภาคดินเหนียวแต่ละอนุภาค ก่อให้เกิดการพังทลายของเม็ดดินเป็นอนุภาคเดี่ยว ๆ จัดเป็นกลไกที่มีอิทธิพลสูงต่อการพังทลายของเม็ดดิน

การพังทลายโดยกลไกทั้งสี่เกี่ยวข้องกับแรงทั้งจากภายในและภายนอกเม็ดดินที่กระทำต่ออนุภาคดิน การพิจารณาแรงที่เกี่ยวข้องดังกล่าวจึงสามารถอธิบายกลไกเชิงเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบกลไกหลักในการควบคุมการพังทลายของเม็ดดินได้

ดังนั้น เสถียรภาพเม็ดดินจึงเป็นสมบัติทางฟิสิกส์ดินที่มีความสำคัญต่อการเกษตรยั่งยืน เพราะสะท้อนการคงอยู่และความต่อเนื่องของช่องว่างเพื่อกักเก็บมวลสารและพลังงานของดินและการแลกเปลี่ยนระหว่างดินกับสภาพแวดล้อม แต่เนื่องจากกระบวนการเกิดและกระบวนการทำให้เม็ดดินมีเสถียรภาพมีความสลับซับซ้อนจากปัจจัยด้านฟิสิกส์เคมี และชีวภาพที่หลากหลาย ทำให้เม็ดดินในเขตร้อนโดยเฉพาะในประเทศไทยซึ่งมีสภาพภูมิอากาศแปรปรวน ระยะเวลาของฤดูฝนและปริมาณฝนมีความแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาคและระดับความสูง ทั้งยังมีการทำการเกษตรอย่างเข้มข้นเพื่อการส่งออก จึงมีแนวโน้มการสูญเสียเสถียรภาพเม็ดดินได้อย่างรวดเร็วหากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม กลไกที่ทำให้เม็ดดินถูกทำลายโดยน้ำเกิดขึ้นเมื่อเม็ดดินเปียกฉับพลัน ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ภายในเม็ดดินจึงลดลงอย่างรวดเร็ว ชั้นประจุไฟฟ้าสองชั้น (electrical double layer) มีความหนาเพิ่มขึ้นเกิดสนามไฟฟ้าสถิตย์รอบอนุภาคดิน แต่ละอนุภาคดินจึงผลักกันให้ห่างออกจากกันมากขึ้น จนกระทั่งเม็ดดินถูกทำลายลงกลายเป็นเม็ดดินขนาดเล็กหรืออนุภาคเดี่ยวกระจายตัวออกจากกัน การจัดการดินเพื่อรักษาระดับอิเล็กโทรไลต์ภายในเม็ดดินจึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่สำคัญต่อความต้านทานการพังทลายของเม็ดดิน เพราะช่วยลดการฟุ้งกระจายของอนุภาคดินเหนียว (สุรเชษฐ์, 2560)

8. ความสำคัญของเสถียรภาพของเม็ดดินต่อการเจริญเติบโตของพืช

เสถียรภาพเม็ดดินมีความสำคัญต่อการบำรุงรักษาทรัพยากรดิน เนื่องจากเป็นสิ่งที่กำหนดขนาดและความต่อเนื่องของช่องทางสำหรับการแลกเปลี่ยนมวลและพลังงานระหว่างดินและสิ่งแวดล้อม ส่งผลต่อการเก็บกักและส่งผ่านของไหลในดิน เช่น อากาศ และน้ำ รวมถึงสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่จำเป็นต่อการผลิตพืช ทำให้เสถียรภาพเม็ดดินมีบทบาทในด้านการเกษตร (สุรเชษฐ์, 2560) ซึ่งการเพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้างดิน ก่อให้เกิดสมดุลระหว่างช่องขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ทำให้รากพืชไซซอนได้ง่าย ดินทนต่อการชะล้างและการกร่อน เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ การแทรกซึมน้ำ

การข่าบน้ำ และการถ่ายเทอากาศของดินดีขึ้น (ยงยุทธ, 2561) ดินที่มีโครงสร้างดีเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชต้องมีเม็ดดินขนาด 1 ถึง 10 มิลลิเมตร ซึ่งมีเสถียรภาพในน้ำ (water-stable aggregates) คือ คงสภาพอยู่ได้แม้จะนำไปร่อนด้วยตะแกรงในน้ำ มีรูพรุนขนาดใหญ่ (> 75 ไมโครเมตร) เพียงพอสำหรับการระบายอากาศ และช่องว่างขนาดเล็ก (0.2-30 ไมโครเมตร) มากพอที่จะกักเก็บน้ำไว้ให้พืชใช้สอย ช่องว่างระหว่างเม็ดดินก็ควรจะระบายน้ำส่วนเกินออกไปได้สะดวก (Tisdall and Oades, 1982) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2564)

ดังนั้นเสถียรภาพเม็ดดินจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช กล่าวคือ เป็นที่เกาะของรากพืช เพื่อยึดลำต้นให้แน่น ไม่ให้ล้มเอียง เป็นที่เก็บน้ำ (water storage) เพื่อการเจริญเติบโตของพืช ให้อากาศแก่รากพืช เพื่อการหายใจ และเป็นแหล่งที่พืชได้อาหารและแร่ธาตุต่างๆ ที่จำเป็นในการเจริญเติบโต

การส่งเสริมการเกิดโครงสร้างดิน ทำให้โครงสร้างดินมีเสถียรภาพ และรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างดินให้ดำรงอยู่นาน คือ

1. ไม่เผาซากพืชหลังการเก็บเกี่ยว แต่พรวนกลบลงไปดิน เพื่อให้เป็นอาหารของจุลินทรีย์
2. ไม่ปล่อยให้ผิวดินว่าง ควรใช้เศษซากพืชเป็นวัสดุคลุมดินหรือมีพืชคลุมดิน เพื่อป้องกันการกระแทกของเม็ดฝนโดยตรง
3. ไถพรวนเท่าที่จำเป็น
4. ควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อชดเชยส่วนที่สลายไปในรอบปี และ
5. ควรใส่ปุ๋ยในดินกรด เนื่องจากแคลเซียมและแมกนีเซียมในปุ๋ยเป็นสารเชื่อมให้เกิดเม็ดดิน แต่ถ้าดินมีสภาพใกล้เคียงกลางอยู่แล้วไม่ต้องใส่ปุ๋ย (ยงยุทธ, 2561)

9. ความหมายและความสำคัญของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์เป็นส่วนประกอบสำคัญที่เชื้อจุลินทรีย์ผลิตออกมาอยู่ภายนอกเซลล์ (Sutherland, 1972) ซึ่งเป็นสัดส่วนถึง 40-95% ของน้ำหนักเซลล์ ประกอบไปด้วย โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน กรด นิวคลีอิก และไขมัน (Sutherland, 1972; Wingender and Flemming, 1999) ส่งผลให้สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มีส่วนประกอบของคาร์บอนที่สูง แต่มีสัดส่วนของไนโตรเจนต่ำ โดยทั่วไปพบว่า แบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายขนาดจิ๋ว (Boonchai *et al.*, 2015; Parikh and Madamwar, 2006) ยีสต์ (Pavlova and Grigorova, 1999) เห็ดรา (Elisashvili *et al.*, 2009; Hwang *et al.*, 2004) และโพรทิสต์ (Jain *et al.*, 2005) มีความสามารถในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งสารดังกล่าวจะทำหน้าที่สำคัญในการปกป้องเซลล์จากสภาพแวดล้อมภายนอกเซลล์ (Dudman, 1977) เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์สามารถผลิตใน 2 รูปแบบ คือ แบบสารเมือก และแบบแคปซูล (Francois *et al.*, 2004)

กระบวนการสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ในธรรมชาติ ต้องการสภาวะเฉพาะ และเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงาน ซึ่งจุลินทรีย์ที่สร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จะต้องมีสิ่งเร้าจากสภาพแวดล้อม เช่น ความแห้งแล้ง อุณหภูมิ พีเอช และความเค็ม ฯลฯ มาเป็นปัจจัยให้เกิดความเครียด หรือแรงกดดัน หรือเป็นการกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ (Kumar *et al.*, 2007) ปัจจัยดังกล่าวจึงมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพและปริมาณในการสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ของจุลินทรีย์

การสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ สามารถแบ่งโดยได้ 4 รูปแบบ ได้แก่

- 1) การสังเคราะห์ผ่าน Wzx/Wzy dependent pathway
- 2) การสังเคราะห์ผ่าน ATP-binding cassette (ABC) transporter dependent pathway
- 3) การสังเคราะห์ผ่าน Synthase pathway และ
- 4) การสังเคราะห์นอกเซลล์โดยอาศัยเอนไซม์ sucrose

1) การสังเคราะห์ผ่าน Wzx/Wzy dependent pathway ในวิธีการสังเคราะห์ ผ่าน Wzx/Wzy นี้ หน่วยย่อยของซัปสเตรตจะจับกับโมเลกุลของ undecaprenol diphosphate anchor C55 ภายในเมมเบรนที่อยู่ภายในเซลล์ (inner membrane) โดยเอนไซม์ glycosyltransferase (GT's) และอาศัยการเคลื่อนข้ามเมมเบรนด้วยโปรตีน Wzx (หรือ flippase) จากนั้นหน่วยย่อยจะต่อเข้าด้วยกันเป็นพอลิเมอร์ (polymerization) โดยอาศัยโปรตีน Wzy ก่อนจะส่งออกนอกเซลล์ผ่าน periplasm (Cuthbertson *et al*, 2009, Islam and Lam, 2014) กลไกที่พอลิเมอร์หน่วยย่อยจะส่งผ่าน periplasm อาศัยการจับกับโปรตีน 2 ชนิด ได้แก่ polysaccharide co-polymerase (PCP) และ outer membrane polysaccharide export protein (OPX)

เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะมีรูปแบบน้ำตาลที่หลากหลาย พบทั้งแบบที่มีน้ำตาล 4 ชนิด หรือ 5 ชนิด ในโครงสร้าง จึงมักเรียกว่าน้ำตาลในกลุ่มนี้ว่าเป็น heteropolymer (น้ำตาลต่างชนิดกัน) ตัวอย่างที่เด่นชัดได้แก่ xanthan จูลินทรีย์ที่สังเคราะห์จะมี Flipase (Wzx) และ polymerase ในจีโนม (Islam and Lam, 2014)

แบคทีเรียชนิด *Xanthomonas campestris* เป็นตัวอย่างที่ชัดเจน ในการสร้าง xanthan gum ที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างโครงกระดูก β -(1-4)-linked glucose ของ สองหน่วยของ mannose กับ หนึ่งหน่วยของ glucuronic acid (Jansson *et.al.*, 1975) คล้ายกับที่พบในโครงสร้างเซลลูโลส ส่วน xanthan สร้างจาก precursor ชนิด glucose-6-phosphate and fructose 6-phosphate ซึ่งเป็น intermediates หลักของวิถีการโบไฮเดรต ที่มักพบกระบวนการเมตาบอลิซึมของเชื้อชนิดนี้

2) ABC transporter dependent pathway การสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ด้วยวิธี ABC transporter นี้ พบในกลุ่มจุลินทรีย์ที่สร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่เป็น capsule กลไกการสังเคราะห์เป็นไปในรูปแบบเดียวกันกับวิธี Wzx/Wzy แตกต่างที่ปลายทาง นั่นคือ การส่งผ่าน polymer จากภายใน inner membrane ออกสู่ผนังเซลล์ จะอาศัย efflux pump like complex 3 ส่วน (tripartite) ประกอบกัน เรียก ABC transporter ร่วมกับ PCP และ OPX ผลิตภัณฑ์ที่ส่งด้วยวิธีนี้มีหมู่ glycolipid ที่อนุรักษ์ ที่ตำแหน่ง reducing terminus ประกอบไปด้วย phosphatidyl glycerol และ poly-2-keto-3-deoxyoctulosonic acid (Kdo) linker ทำให้ polysaccharide ยังคงเกาะอยู่กับผิวของเมมเบรนนอกเซลล์อยู่ได้และเป็นที่มาของโครงสร้างแคปซูล (Willis and Whitfield, 2013)

3) Synthase dependent pathway วิธีนี้จะช่วยให้การสังเคราะห์และการส่งผ่านข้ามเมมเบรนและผนังเซลล์ทำได้โดยเอนไซม์ synthase เพียงตัวเดียว วิธีนี้เป็นการสังเคราะห์ที่ใช้ homopolymer unit ซึ่งเป็นน้ำตาลชนิดเดียวเป็นซัปสเตรต ตัวอย่างเช่น ในการสังเคราะห์ curdlan อาศัยน้ำตาล β -(1-3)-linked glucose หรือการสังเคราะห์ cellulose อาศัย β -(1-4)-linked glucose เป็นต้น (Rehm and Valla. 1997)

ในการสังเคราะห์ hyaluronic acid การสังเคราะห์และส่งผ่าน จะทำโดยเอนไซม์ hyaluron synthase ซึ่งจะทำหน้าที่สังเคราะห์ (polymerization) และหลั่ง (secretion) ออกนอกเซลล์เพียงเอนไซม์เดียว เอนไซม์จะนำ disaccharide ต่างกัน ทั้ง glucuronic acid และ GlcNAc (N-acetylglucosamine) มาเชื่อมต่อกัน แม้ตัวอย่างของ hyaluron synthase จะมีรายละเอียดของสับสเตรตต่างออกไป แต่มีรูปแบบของเอนไซม์ เช่นเดียวกับ synthase ใน synthase pathway (Chong *et al.*, 2005)

จากรายละเอียดของทั้ง 3 วิธี พบว่า การสังเคราะห์สับสเตรตของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ มักเกิดขึ้นด้วยเอนไซม์ที่อยู่ภายในเซลล์ ขณะที่การสร้างสารในรูป polymer และการหลั่งออกนอกเซลล์ จะดำเนินการด้วยเอนไซม์ที่อยู่ในบริเวณ cell envelope

4) Extracellular synthesis วิธีนี้อาศัยเอนไซม์ sucrase โดยสับสเตรต (precursor) โมเลกุลที่จำเป็นได้จากการสังเคราะห์ขึ้นภายในเซลล์โดยเอนไซม์ต่างๆ และผ่านกระบวนการเปลี่ยนรูป (transformation) เพื่อให้ได้เป็นน้ำตาลในรูป activate โมเลกุล เพื่อส่งออกไปนอกเซลล์ การสังเคราะห์พอลิเมอร์นอกเซลล์คล้ายการต่อโมเลกุลน้ำตาล หรือกรดน้ำตาลหลังจากการนำ disaccharide หรือ trisaccharide ที่ได้ มาย่อยเป็น mono saccharide จนได้เป็นพอลิเมอร์ ตัวอย่างที่สำคัญได้แก่ dextran ที่สังเคราะห์จาก α -(1-6) linked glucose ด้วยเอนไซม์ dextransucrase (Cantarel *et al.*, 2009)

ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์อย่างแพร่หลายทั้งอุตสาหกรรมกระดาษ ตลอดจนอุตสาหกรรมอาหาร (Skilman *et al.*, 1998) อีกทั้งยังมีการใช้เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และการบำบัดน้ำมัน (Kumar *et al.*, 2007; Skilman *et al.*, 1998) เนื่องจากเอนไซม์ของเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มีสมบัติในการเปลี่ยนรูปโลหะหนัก (Naseem and Bano, 2014; Wingender and Flemming, 1999) EPS ชนิด (1,3)-D-glucan มีสมบัติในการยับยั้งเซลล์มะเร็ง ผ่านการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน หรือยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และไวรัส (antibacterial and antiviral) รวมถึงสมบัติ ช่วยในการสมานแผล (wound healing) (Bohn and Bemiller, 1995) ทำให้เกิดเป็นวัสดุชนิดใหม่ที่น่าสนใจงานทางการแพทย์ และเภสัชกรรม ความหนืดและการจับตัวเป็นก้อนนี้ยังสามารถนำมาใช้บำบัดรักษาสิ่งแวดล้อม ใช้เป็นตัวชักนำให้เกิดการตกตะกอน (flocculant)

คุณลักษณะที่สำคัญของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในด้านความหนืด และการจับตัวเป็นก้อน เอื้อต่อการเกาะตัวของโมเลกุลกับสิ่งแวดล้อม และเกี่ยวข้องกับความสามารถในการยึดโยงเชื้อและผิวของอนุภาคที่เชื่อมสัมผัสให้อยู่ด้วยกัน ความสามารถดังกล่าวนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินได้โดยตรง เนื่องจากองค์ประกอบของเนื้อ matrix ของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ที่เป็นเยื่อเมือกเหนียวนี้ ช่วยให้อนุภาคดินเกาะตัวเป็นโครงสร้าง เกิดเป็นเม็ดดิน ได้ดีขึ้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงโครงสร้างของดิน ความอุดมสมบูรณ์ และสุขภาพดิน ทำให้เกิดสภาพของดินที่เอื้อต่อการเจริญของพืช

โครงสร้างเยื่อเมือกและองค์ประกอบทางเคมี มีประจุ เอื้อให้เกิดการยึดเกาะคล้ายกาวเหนียว ทำให้อนุภาคเนื้อดินเกาะตัวกันง่าย และดีขึ้น ทำให้โครงสร้างของแข็ง (solid portion) ของดินยึดเกาะกัน (Chenu, 1995) ไม่นับรวมถึงการแลกเปลี่ยนประจุที่ส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร ดังนั้น หากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ต่างกันจะให้เนื้อ matrix ที่ต่างกัน และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการปรับปรุงดิน จะส่งผลต่อความสามารถในการช่วยปรับโครงสร้าง ความอุดมสมบูรณ์ และคุณภาพของดินให้เห็นผลต่างกันได้ ดังนั้น การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ที่เป็นประโยชน์จึงมีความสำคัญต่อการปรับปรุงบำรุงดิน และเสริมสร้างความอุดมสมบูรณ์ในระยะยาว

ในทางทฤษฎี สมบัติทางเคมีของดินประกอบด้วยสมบัติในการยึดเกาะ (adhesion) และการเชื่อมแน่น (cohesion) ของเม็ดดิน เกิดเป็นโครงสร้างดินที่แตกต่างกัน ด้วยความที่สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์เป็นเมือกเหนียว การปรากฏของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในเนื้อดินจึงส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพในการยึดเกาะและเชื่อมแน่นของดิน และส่งผลต่อสมบัติทางเคมีโดยปริยาย

โดยสมบัติข้อแรกคือสมบัติในการยึดเกาะ สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ยึดเกาะบนพื้นผิวสัมผัสผ่านโครงสร้าง biofilm ซึ่งส่งผลต่อการเกิดชั้นเลเยอร์ หรือ film ที่ผิว โดยสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ต่างกันส่งผลต่อการเรียง หรือ กระจายตัว เป็นชั้นต่างๆ ได้มากน้อยต่างกัน ขณะที่สมบัติข้อที่สองคือสมบัติในการเชื่อมแน่น ส่งผลต่อการจับตัวกันเองระหว่างจุลินทรีย์ด้วยกันเป็นประชากรของเชื้อ

โดยหลักการ การยึดเกาะและเชื่อมแน่น อาศัยปฏิกิริยาร่วมระหว่าง macro molecular ผ่านแรงหลักได้แก่ electrostatic force พันธะไฮโดรเจน และการกระจายแรงระหว่างโมเลกุลผ่านโครงสร้างหนืด ที่เรียกว่า gel like tridimensional structure (Flemming *et al.*, 2000)

10. การศึกษายีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

ที่ผ่านมาการศึกษาวินิจฉัยชีววิทยาและอนุพันธุศาสตร์ของเชื้อ โดยเฉพาะกลุ่ม lactic acid bacteria กลุ่ม *Pseudomonas Acetobacter* และ *Streptococcus* ช่วยให้ได้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์และการควบคุมการแสดงออก (Bourgoin, *et al.*, 1999, Griffin *et al.*, 1996a, b, Stingle *et al.*, 1996) โดยพบว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ EPS สามารถพบได้ทั้งในพลาสมิดและจีโนมของเชื้อ และการจัดเรียงตัวของยีนมักแบ่งเป็น 4 ส่วน ซึ่งส่วนแรกทำหน้าที่เป็น regulatory gene ส่วนที่สองเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ที่กำหนดความยาวของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ส่วนที่ 3 เกี่ยวข้องกับยีน glycosyl transferase (GTs) สำคัญต่อการสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ขณะที่ส่วนสุดท้ายเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์และส่งผ่านข้ามเยื่อ (transport and polymerization) โดย glycosyl transferase จะนำหน่วยย่อยของน้ำตาลนิวคลีโอไทด์ที่สร้างเป็นเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์หน่วยย่อยถ่ายส่งให้ lipid carrier เพื่อสร้างเป็นสายโพลีแซคคาไรด์ที่ยาวขึ้น (Roberts, 1996, Sutherland, 1982) แม้ว่ากลไกการสร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในแต่ละเชื้อจะต่างกันอยู่บ้าง แต่ยีนเริ่มต้นในการสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบค่อนข้างคล้ายกัน โดยเฉพาะโครงสร้างที่ปลาย carboxy terminus ของ sugar transferase ซึ่งแสดงภาวะอนุรักษ์ ทำให้มีลำดับนิวคลีโอไทด์คล้าย ๆ กัน (Wang and Reeves, 1996) อาศัยกลไกดังกล่าวจึงทำให้สามารถออกแบบ degenerate primers สำหรับศึกษายีนเริ่มต้นในการสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ (the priming GT of the eps gene) ได้ (Provencher *et al.*, 2003)

11. การใช้ประโยชน์จุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในการปรับปรุงดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

ในหลายงานวิจัยก่อนหน้ามีการศึกษาสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านการเกษตรหลากหลายแนวทาง เช่น

11.1 การใช้ประโยชน์ของเชื้อจุลินทรีย์ในด้านการปรับปรุงโครงสร้างของดิน

11.1.1 Roberson and Firestone (1992) ได้ศึกษาการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ของเชื้อ *Pseudomonas* sp. ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน พบว่าในสภาพดินทรายแห้งเชื้อ

seudomonas sp. จะสร้างสารเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ออกมามากกว่าในสภาพที่ดินมีความชื้นเพื่อปกป้องเซลล์จากการสูญเสียความชื้นเป็นการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการอยู่รอดของเชื้อ

11.1.2 สุพรรณษา (2550) ได้ทำการศึกษาสมบัติของสารปรับโครงสร้างของดินโดยใช้สาหร่าย ศึกษาถึงอิทธิพลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเป็นสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย ระหว่างชีวมวลสดและสารเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ของสาหร่าย โดยศึกษาในดิน 2 ชนิด คือ ดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ จ.ร้อยเอ็ด และดินสวนจากลำตะคอง จ.นครราชสีมา นำมาศึกษากับสาหร่าย 4 สายพันธุ์ ที่สามารถผลิตสารเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ได้ในปริมาณสูง และเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ได้แก่ *Nostoc* sp. TISTR 8290, *Nostoc muscorum* TISTR 9054, *Nosioc muscorum* TISTR 8871 และ *Nosioc* sp. TIS1R 8873 โดยผลการทดลองพบว่าการเติมสารเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ลงไปดินจะช่วยฟื้นฟูโครงสร้างของดินได้มากกว่าการเติมชีวมวลสดของสาหร่าย โดยพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมจุลินทรีย์ (microbial actives) ความพรุนรวมของดิน (total porosity) เม็ดดินที่มีความเสถียรต่อแรงกระทำของน้ำ (water-stable aggregate) และการลดลงของความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) และสาหร่ายพันธุ์ *Nostoc muscorum* TISTR 9054 จะให้ผลดีทั้งโดยการเติมชีวมวลสดและสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์สาหร่าย โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม (P 5005) ในปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ ในดินนาจากทุ่งกุลาร้องไห้ ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และกิจกรรมจุลินทรีย์ ในดินสวนจากลำตะคอง ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ กิจกรรมจุลินทรีย์ ความหนาแน่นรวมของดิน และความพรุนรวมของดิน

จุลินทรีย์สามารถผลิตเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ได้หลากหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ (Schmid *et al.*, 2015) ซึ่งทำให้มีสมบัติที่หลากหลายและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน หนึ่งในนั้นคือด้านการปรับปรุงดิน โดยเฉพาะการเพิ่มการเกิดเม็ดดิน เอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นจะ ช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของดิน ความพรุนของดิน ลดการพังทลายของดิน และเป็นตัวส่งเสริมการงอกและการ เจริญเติบโตของรากพืช (Bronick and Lal, 2005; Diné *et al.*, 1992)

จากการศึกษาของ Forster (1979) พบว่า จุลินทรีย์ *Pseudomonas* และ *Bacillus* มีส่วนสำคัญในการเพิ่มเสถียรภาพของดินในพื้นที่ดินทราย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Harahap *et al.*, 2018) ได้ทำการเก็บเชื้อจุลินทรีย์จากแปลงยางพารา พบว่า *Klebsiella* sp. LW-13 and *Burkholderia anthing* strain MYSP113 สามารถเพิ่มเสถียรภาพของดินในดินทราย จาก 30.68% เป็น 45.01-48.20% ได้

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ยังสามารถส่งเสริมการอุ้มน้ำของดินและควบคุมการเคลื่อนย้ายของน้ำ และธาตุอาหารในดิน (Bashan *et al.*, 2004; Roberson and Firestone, 1992) Cheng *et al.* (2020) ได้ศึกษาผลของเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ต่อการเกิดเสถียรภาพในน้ำของดิน โดยการเก็บตัวอย่างดินบริเวณป่า ผลการศึกษาสามารถแยกเชื้อได้จำนวน 2 ชนิด คือ *Pseudomonas chlororaphis* สายพันธุ์ A20 และ *Bacillus proteolyticus* สายพันธุ์ A27 ซึ่งมีสมบัติสามารถเพิ่มความเสถียรภาพในน้ำของดินได้ โดยเฉพาะเชื้อจุลินทรีย์ สายพันธุ์ A27 สามารถเพิ่มความเสถียรภาพในน้ำของดินได้มากถึง 128-169%

Ohana *et al.* (2018) ได้ศึกษาสารโพลีเมอร์นอกเซลล์ของจุลินทรีย์มีบทบาททางนิเวศวิทยาและผลกระทบต่อการรวมตัวของดิน จุลินทรีย์หลายชนิดผลิตสารโพลีเมอร์นอกเซลล์ (เอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์) เป็นโพลีเมอร์ที่ให้ความชุ่มชื้นสูง ซึ่งประกอบด้วย โพลีแซ็กคาไรด์ โปรตีน และดีเอ็นเอ เอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์เป็นพื้นฐานสำหรับชีวิตของจุลินทรีย์และเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเคมีการกักเก็บ

สารอาหารและป้องกันความเครียดจากสิ่งแวดล้อม เช่น ความเค็มและความแห้งแล้ง เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ของจุลินทรีย์สามารถเพิ่มการรวมตัวของอนุภาคดินและเป็นประโยชน์ต่อพืชโดยรักษาความชื้นของสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มีลักษณะเฉพาะ เช่น ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ เป็นเจลและความสามารถในการทำให้หนาขึ้น และพอลิเมอร์เพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะในด้านการเกษตร การประยุกต์ใช้ที่ดินทางการเกษตรเพื่อปรับปรุงการรวมตัวของอนุภาคในดิน ปัจจัยสำคัญต่อดิน โครงสร้าง และภาวะเจริญเติบโต

11.2 การใช้ประโยชน์ของเชื้อจุลินทรีย์ในด้านการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

พินส์คัต และคณะ (2558) ได้ศึกษาสารพอลิแซ็กคาไรด์ของ *Pseudomonas fluorescens* ส่งเสริมการเจริญเติบโตของยางชำถุงภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง ยางชำถุงพันธุ์ RRIM600 ที่ได้รับการพ่นใบด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์ของ *Pseudomonas fluorescens* SP007s ความเข้มข้น 100 mg ml⁻¹ ทำให้มีความสูงต้น ความยาวราก และเส้นรอบวงลำต้นเพิ่มขึ้น ภายใต้สภาพอุณหภูมิ 40-45 °C หลังพ่นใบ 30 และ 60 วัน ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นสารพอลิแซ็กคาไรด์ยังส่งเสริมให้ยางมีจำนวนฉัตรเพิ่มขึ้น สารพอลิแซ็กคาไรด์ยังสามารถกระตุ้นให้ยางมีการผลิตฮอร์โมน indole-3-acetic acid (IAA) และกระตุ้นภูมิต้านทานให้ผลิต guaiacol peroxidase (GPX) โดยกิจกรรมของ IAA และ GPX จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังพ่นใบด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์ภายใต้สภาพอุณหภูมิ 40-45 °C 4 วัน การชักนำระบบภูมิต้านทานพืชโดยใช้สารพอลิแซ็กคาไรด์ของ SP007s ให้ยางต้านทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (อุณหภูมิ 40-45 °C) เกิดขึ้นมาจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเซลล์พืชจากการสะสมของเอนไซม์ต่าง ๆ ในระบบภูมิคุ้มกันและฮอร์โมนพืช ได้แก่ การผลิต GPX และ IAA สารประกอบต่าง ๆ เหล่านี้จึงจัดเป็นตัวบ่งชี้ต่อการตอบสนองต่อสภาวะความเครียดและระบบภูมิคุ้มกันของพืช ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้สารพอลิแซ็กคาไรด์ในระบบการผลิตกล้วยและยางชำถุงภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก

Awad, et al.(2012) ได้ทำการทดลองในเรือนกระจกเพื่อตรวจสอบผลของการใส่แบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์(ที่แยกได้จากรากของต้นข้าวโพดที่ปลูกในดินที่มีเกลือ) ต่อขอบเขตของการรวมตัวของดินรอบ ๆ รากของต้นข้าวโพดและประเมินผลของแบคทีเรียที่ผลิต เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์หลายสายพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดและการดูดซึมไอออนภายใต้สภาวะความเครียดจากเกลือในดินเค็ม (4, 8 และ 12 dS m⁻¹) และดินที่ไม่เป็นเกลือ ผลการศึกษา พบว่า ความสัมพันธ์ของแบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ที่รากของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในน้ำเกลือสูงกว่าดินที่ไม่เป็นเกลือ และเพิ่มการรวมตัวของดินรอบรากของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในดินเค็ม โดยทั่วไปการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะลดลงตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น การใส่แบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ จะมี EC ที่สูงขึ้น (12 dSm⁻¹) มีการเพิ่มน้ำหนักรากแห้งและยอด คลอโรฟิลล์ a, b และแคโรทีนอยด์เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการใส่แบคทีเรีย ในทำนองเดียวกันการใส่เชื้อแบคทีเรียจำกัดการดูดซึมของ Na⁺ และ Cl⁻ ในขณะที่เพิ่มการสะสมของ N, P และ K ในหน่อเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ในบรรดา 5 สายพันธุ์ที่เลือก *Azotobacter chroococcum* ทำงานได้ดีขึ้นที่ระดับ EC ทั้งหมด สรุปได้ว่า การใส่เชื้อของแบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ สามารถช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์และผลผลิตของดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ

Manoj Kaushal (2015) ได้ทำการศึกษาไรโซแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช สารลดความเครียดจากภัยแล้งเพื่อปรับปรุงการผลิตพืชผลในพื้นที่แห้งแล้ง พื้นที่แห้งแล้งขึ้นชื่อว่าเป็นสภาพแวดล้อมที่ตึงเครียดจากภัยแล้ง ซึ่งเป็นข้อจำกัดต่อผลผลิตพืชผล เพื่อช่วยเหลือการเจริญเติบโต

ของพืชในสภาวะที่ตึงเครียด ไรโซแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (PGPR) จึงเป็นเกราะป้องกันสำหรับความเครียดจากภัยแล้งและความยั่งยืนทางการเกษตรในที่แห้งแล้ง PGPR บรรเทาผลกระทบของความเครียดจากภัยแล้งต่อพืชผ่านกระบวนการที่ เรียกว่า ความทนทานต่อความแห้งแล้ง ที่เกิดจากริโซแบคทีเรียและความยืดหยุ่น (RIDER) ซึ่งรวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมี กลไกต่าง ๆ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในระดับฮอร์โมนพืช การป้องกันสารต้านอนุมูลอิสระ เอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ จากแบคทีเรียเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์และกลไกที่เกี่ยวข้องกับการปรับเมตาบอลิซึมรวมถึงการสะสมของตัวทำละลายอินทรีย์ที่เข้ากันได้หลายชนิด เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และโพลีเอมีน การผลิตโปรตีน HSPs ดีไฮเดรอิน และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ก็มีบทบาทสำคัญในการได้มาซึ่งทนต่อความแห้งแล้ง การคัดเลือก การคัดกรอง และการประยุกต์ใช้ PGPR ที่ทนต่อความแห้งแล้งกับพืชผลสามารถช่วยเอาชนะข้อจำกัดด้านผลผลิตในพื้นที่แห้งแล้งได้

นวลจันทร์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาคัดเลือกจุลินทรีย์ทนเค็มและกรดที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ ศึกษากระบวนการผลิตเชื้อจุลินทรีย์ และผลการใช้เชื้อจุลินทรีย์ต่อการปรับปรุงบำรุงดิน และเพิ่มผลผลิตข้าวโพดหวาน การคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการผลิตสารเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ได้จำนวน 3 ไอโซเลต ได้แก่ เชื้อรหัส NK 16/3 และ NK 21/2 เป็นเชื้อ *Bacillus megaterium* ผลิตเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์สูงสุดได้ สามารถเพิ่มเสถียรภาพเม็ดดินในสภาพห้องปฏิบัติการในเวลา 30 วัน การใช้ปุ๋ยหมักเพอร์ไลต์ และไบโอชาร์กลบเป็นวัสดุรองรับสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบคทีเรียได้เป็นเวลา 5-6 เดือน และเมื่อนำมาเลี้ยงขยายเพิ่มปริมาณแบคทีเรียในปุ๋ยหมักและรำข้าว ใช้เวลา 2 - 4 วัน ส่วนการนำผลิตภัณฑ์แบคทีเรียมาขยายเชื้อแบบเหลวโดยใช้น้ำตาลซูโครส หรือกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาการขยายเชื้อ 3 วัน การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมักและรำข้าว มีผลทำให้เสถียรภาพเม็ดดินและน้ำหนักของต้นข้าวโพดมากกว่าการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียที่นำไปขยายเชื้อแบบเหลวโดยใช้กากน้ำตาล ในสภาพโรงเรือนรวมทั้งผลการทดลองในสภาพแปลงทดลองในดินเค็ม การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดินเฉลี่ย 2 ปี 317.67 กิโลกรัมต่อไร่ ในดินกรดพบว่าการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก มีผลให้ผลผลิตข้าวโพดหวานรวมเปลือกมากที่สุดเฉลี่ย 2 ปี 1,099 กิโลกรัมต่อไร่

Neeta Bhagat *et al.* (2021) ได้ศึกษา เอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรีย เกี่ยวกับบทบาทในการทนต่อความเครียดจากพืชที่ไม่ก่อให้เกิดโรค ปัจจัยกดดันหรือความเครียดจากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น ภัยแล้ง ความเค็ม อุณหภูมิ และโลหะหนัก เป็นปัจจัยหลัก ความเครียดจากสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรและผลผลิตพืชผลทั่วโลก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดแรงกดดันต่อระบบนิเวศของจุลินทรีย์ผลิตเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ นอกจากการรวมตัวของดินแล้วการผลิตเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ยังช่วยเพิ่มการซึมผ่านของน้ำ การดูดซึมสารอาหารโดยราก ความคงตัวของดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ชีวมวลของพืช ปริมาณคลอโรฟิลล์ ความยาวรากและยอด และพื้นที่ผิวของใบ ในขณะที่เดียวกันก็ช่วยรักษาระดับการเผาผลาญและกิจกรรมทางสรีรวิทยาในช่วงที่เกิดความเครียดจากภัยแล้ง จุลินทรีย์ที่ผลิตเอ็กโซโพลีแซ็กคาไรด์ สามารถให้ความทนทานต่อเกลือแก่พืชโดยจับกับโซเดียมไอออนในดินและป้องกันไม่ให้ไอออนเหล่านี้ไปถึงลำต้น ซึ่งจะช่วยลดการดูดซึมโซเดียมจากดินและเพิ่มการดูดซึมธาตุอาหารโดยราก การก่อตัวของไบโอฟิล์มในดินที่มีความเค็มสูงจะเพิ่มการมีชีวิตของเซลล์ เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และส่งเสริมการเจริญเติบโตและการพัฒนา

ของพืช ปัจจัยกีดกันจากสิ่งแวดล้อมที่สามคือการมีอยู่ของโลหะหนักในดินเนื่องจากแนวทางปฏิบัติในการกำจัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่เหมาะสมซึ่งเป็นพิษต่อพืช การผลิต EPS โดยแบคทีเรียในดินสามารถส่งผลให้เกิด biomineralization ของไอออนโลหะ ดังนั้นจึงให้ความทนทานต่อความเครียดของโลหะกับพืช สุดท้าย อุณหภูมิที่สูงอาจส่งผลต่อผลผลิตทางการเกษตรโดยการลดการเผาผลาญของพืช การเจริญเติบโตของต้นกล้า และการงอกของเมล็ด บทบาทของแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่ผลิตเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ ในการปรับการเจริญเติบโตของพืชและการพัฒนาในพืช และการบรรเทาสถานะความเครียดจากสิ่งมีชีวิตที่รุนแรง แนะนำให้สำรวจศักยภาพของแบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ สำหรับกลยุทธ์การจัดการความเครียดจากสิ่งมีชีวิตหลายตัว

Hafsa Naseem *et al* (2014) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแยกตัวและคุณลักษณะของเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์เอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่ผลิตขึ้นโดยไรโซแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (PGPR) จากพื้นที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งของปากีสถานและเพื่อตรวจสอบศักยภาพการทนต่อความแห้งแล้งของ PGPR ในข้าวโพด เมื่อใช้เป็นสารชีวภาพเพียงอย่างเดียวและร่วมกับ เอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ ตามลำดับ แบคทีเรีย 3 สายพันธุ์ *Proteus penneri* (Pp1) *Pseudomonas aeruginosa* (Pa2) และ *Alcaligenes faecalis* (AF3) ได้รับการคัดเลือกให้เป็นแบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์บนพื้นฐานของรูปแบบโคโลนี การสร้างเยื่อเมือก สายพันธุ์ทั้งหมดนี้เป็นแกรมลบ และเป็นบวกสำหรับ catalase สายพันธุ์ Pp1 เป็นแกรมบวก สำหรับการทดสอบออกซิเดสและละลายฟอสเฟต ในขณะที่ Pa2 และ AF3 เป็นแกรมลบ สายพันธุ์ที่แยกได้ คือการเรียงลำดับ 16S rRNA น้ำตาลที่ละลายได้ทั้งหมด, โปรตีน, กรดยูริก, ฤทธิ์อิมัลซิฟิเคชันและอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี การผสมแบคทีเรียในเมล็ดของข้าวโพดด้วยสายพันธุ์แบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ ช่วยปรับปรุงความชื้นในดินชีวมวลของพืช ราก และความยาวยอด และพื้นที่ใบ

Rafael and Manzanera (2021) จากผลกระทบของพืชที่เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียที่ผลิต เอ็กโซโพลิแซคคาไรด์กับความทนทานต่อความเครียดจากพืช ไรโซแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (PGPR) เป็นจุลินทรีย์ดินที่มีประโยชน์ ที่สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช และเพิ่มความอดทนและความเครียดจากสิ่งมีชีวิต ไรโซแบคทีเรียที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (PGPR) บางตัวสามารถหลั่งเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์เพื่อป้องกันตัวเอง และด้วยเหตุนี้ พืชจึงทนทานความเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมและความเครียดจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น ภัยแล้ง ความเค็ม หรือมลพิษโลหะหนัก ในการเพิ่มประสิทธิภาพของความทนทานต่อความเครียดจากพืชโดยแบคทีเรียสร้างเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์สรุปอย่างครอบคลุมของกลไกผ่านเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ เพื่อบรรเทาความทนทานต่อความเครียดจากพืช รวมทั้งความเค็ม ความแห้งแล้ง อุณหภูมิ และความเป็นพิษของโลหะหนัก สุดท้ายนี้ ความเครียดอาจส่งผลต่อการผลิตเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ ของแบคทีเรียและบทบาทของมันในระหว่างพืชและจุลินทรีย์

12. ผักกาดเขียวกวาดุ้ง

ผักกาดุ้ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica rapa* var. *parachinensis* เป็นพืชในวงศ์ *Brassicaceae* (Tan *et al.*, 2020) เจริญเติบโตเร็ว มีอายุการเก็บเกี่ยวเพียง 35-45 วัน ระบบรากแก้วยาว ประมาณ 1.2 เซนติเมตร โดยมีรากแขนงแผ่อยู่ตามผิวดิน ขนาดของลำต้นที่นิยมรับประทานมีขนาดตั้งแต่ 1.4-1.8 เซนติเมตร และมีความสูงประมาณ 43-54 เซนติเมตร หลังจากออกดอกแล้วลำต้นจะมีความสูงเพิ่มขึ้นถึง 85-144 เซนติเมตร ผักกาดุ้งดอกสามารถรับประทานได้ทั้งในส่วนของใบและดอก

โดยใบมีลักษณะเป็นใบเดี่ยว ใบเรียง ไม่ห่อตัว มีสีเขียว มีความกว้างเฉลี่ย 19 เซนติเมตร และความยาวใบเฉลี่ยที่ 30 เซนติเมตร เมื่ออายุ 40 วัน โดยปกติกวาดำสามารถปลูกได้ในทุกสภาพดิน แต่เจริญได้ดีในสภาพดินร่วนปนทราย มีอินทรีย์วัตถุสูง pH อยู่ระหว่าง 6-6.8 และมีความชื้นดินที่สูงพอสมควร (Forster, 1979)

การปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์จะได้ผลผลิตต่ำกว่าในระบบการปลูกที่ใช้สารเคมี แต่ทั้งเกษตรกรและผู้บริโภคจะสามารถลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นต่อสุขภาพที่เป็นผลมาจากการใช้สารเคมีที่ไม่ถูกต้องได้

ดังนั้นเกษตรกรจึงต้องมีการจัดการแปลงให้มีประสิทธิภาพ ทั้งการเลือกพันธุ์ที่เหมาะสม การจัดการศัตรูพืช ตลอดจนการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน (ศรีสุรพล, 2558)

ในปี พ.ศ. 2562 สำนักงานเศรษฐกิจภาคที่ 6 โดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มีการวางแผนโครงการการจัดสรรพื้นที่ ที่เหมาะสมต่อการปรับเปลี่ยนชนิดการปลูกพืชภายในจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยแผนดังกล่าวเป็นการจัดโซนนิ่งของพืชโดยใช้ Agri-Map ซึ่งเป็นการนำปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปัจจัยธรรมชาติที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ดิน น้ำ อากาศ แสงแดด ความชื้นสัมพัทธ์ (Land Suitability) และระดับความต้องการของพืช (Crop Requirement) การผลิตสินค้าเกษตรในปัจจุบัน (Existing Land Use) หรือ เงื่อนไขสำหรับการผลิตอื่น ๆ เช่น เป็นพื้นที่ปลอดโรค เป็นต้น โดยโครงการดังกล่าวได้นำเสนอพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตภายในจังหวัดฉะเชิงเทรา เพื่อเป็นทางเลือกของเกษตรกรที่มีการปลูกข้าวเป็นส่วนใหญ่ ให้มีทางเลือกในการปลูกพืชชนิดอื่น ๆ ซึ่งการปลูกผักปลอดภัยเป็นหนึ่งในทางเลือกที่ถูกแนะนำให้มีการปลูกภายในจังหวัดฉะเชิงเทรา เนื่องจากให้ผลผลิตดี พื้นที่น้อย ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี การจัดการดินและน้ำทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก โดยจากข้อมูลพบว่า การปลูกกวาดำในระบบผักปลอดภัยสามารถให้ผลผลิตได้ถึง 18,081.73 บาท/ไร่/ปี ซึ่งมีต้นทุนรวม เท่ากับ 9,246.27 บาท/ไร่/ปี (สำนักงานเศรษฐกิจภาคที่ 6, 2562)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่มีประโยชน์ต่อการปรับปรุงดินในสภาพดินทราย และศึกษารูปแบบการใช้งานเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ โดยในประเทศไทยการศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อการปรับปรุงดินทราย ยังไม่แพร่หลายมากนัก หน่วยงานภาครัฐยังไม่มีการส่งเสริมการใช้ประโยชน์เชื้อจุลินทรีย์ในดินทรายกลุ่มนี้สู่เกษตรกร งานวิจัยนี้จึงสอดคล้องกับภารกิจหนึ่งของกรมพัฒนาที่ดินในการศึกษาวิจัยด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน และเป็นต้นแบบการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงดินส่งเสริม และเผยแพร่สู่เกษตรกรต่อไป

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

ระยะเวลา	เริ่มต้น	ตุลาคม พ.ศ. 2563	สิ้นสุด	กันยายน พ.ศ. 2564
สถานที่ดำเนินการ	กิจกรรมและระยะเวลาดำเนินการแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2			
	1) ห้องปฏิบัติการทรานเจนิคเทคโนโลยีในพืชและไบโอเซ็นเซอร์			
	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย			
	2) โรงเรือนและแปลงทดสอบภายในศูนย์การศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน			
	จังหวัดฉะเชิงเทรา			

ตารางที่ 2 กิจกรรมและระยะเวลาดำเนินการ

กิจกรรม	ต.ค. 2563-ก.ย. 2564											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. สำรวจและเก็บตัวอย่างดินเพื่อคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์	60 วัน											
2. ตรวจสอบยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์			30 วัน									
3. ทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในห้องปฏิบัติการ				30 วัน								
4. ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อการเพิ่มเสถียรภาพของเม็ดดินในห้องปฏิบัติการ				45 วัน								
5. จำแนกชนิดของเชื้อแบคทีเรียที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์					30 วัน							
6. ผลิตเชื้อจุลินทรีย์						30 วัน						
7. ศึกษาวิธีการขยายเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์							30 วัน					
8. ทดสอบผลของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกวางตุ้งในสภาพโรงเรือน								60 วัน				
9. ทดสอบผลของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกวางตุ้งในสภาพแปลงทดลอง										60 วัน		
10. สรุปผลและจัดทำรายงาน									150 วัน			

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

- 1) อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ถุงเก็บตัวอย่าง พลั่วตักดิน เสียม กล้องบรรจุตัวอย่าง
- 2) อุปกรณ์และเครื่องมือในการคัดแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์ ได้แก่ สารเคมี อาหารเลี้ยงเชื้อ อุปกรณ์เครื่องแก้ว หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ตู้ปลอดเชื้อ
- 3) เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สมบัติดิน
- 4) เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทางอนุชีววิทยา
- 5) วัสดุเพาะกล้า ได้แก่ พีทมอส
- 6) ปุ๋ยหมัก
- 7) รำข้าว
- 8) กากน้ำตาล
- 9) เมล็ดพันธุ์กวางตุ้ง
- 10) กระถาง

2. วิธีการ

2.1 การสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน

สำรวจและเก็บตัวอย่างดินภายในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน จากดินบริเวณริมคลองน้ำโจนที่ไหลผ่านและอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ภายในศูนย์ศึกษาฯ ซึ่งบริเวณดังกล่าวมักพบจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซ็กคาริไนด์ตามที่รายงานไว้ก่อนหน้านี้โดย Fusconi and Godinho (2002) โดยเก็บตัวอย่างดินในระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร จำนวน 100 ตัวอย่าง (ภาพที่ 4 และตารางภาคผนวกที่ 1) เก็บตัวอย่างในถุงพลาสติกปลอดเชื้อปิดสนิท และใส่ในภาชนะกล่องโฟมที่บรรจุน้ำแข็งจากนั้นนำตัวอย่างดินไปเก็บในตู้เย็นเพื่อแยกเชื้อแบคทีเรียที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซ็กคาริไนด์ต่อไป

ทำการแยกเชื้อแบคทีเรียที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซ็กคาริไนด์จากตัวอย่างดินโดยชั่งตัวอย่างดินแล้วเจือจางเป็นลำดับขั้นครั้งละ 10 เท่า ด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อโดยวิธี serial dilution จากนั้นเกลี่ยและเพาะเชื้อด้วยวิธี spread plate บนอาหารแข็ง LA บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง 48 ชั่วโมง และแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี streak plate เพื่อให้ได้โคโลนีเดี่ยว (Sanders, 2012) โดยดำเนินการภายใต้สภาวะปลอดเชื้อในตู้ปลอดเชื้อ (Sambrook *et al.*, 1989) คัดเลือกเฉพาะโคโลนีที่มีความสามารถในการสร้างเมือกเหนียวบนผิวหน้าอาหารแข็ง ทดสอบโดยใช้ลูป (loop) และที่ผิวโคโลนีเชื้อแล้วดิ่งขึ้นจะพบเมือกยึดเป็นสายยืดติดปลายลูปขึ้นมา (Ruas-Madiedo and Reyes – Gavilan, 2005) เชื้อที่คัดเลือกนำมาแยกให้เป็นโคโลนีเดี่ยว (single colony) เพื่อให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ก่อนนำไปศึกษาและทดสอบสมบัติอื่นต่อไป

2.2 การตรวจสอบยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

ตรวจสอบการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับยีนเริ่มต้นในการสังเคราะห์สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ (the priming GT of the *eps* gene) โดยการสกัดอาร์เอ็นเอจากเชื้อตัวอย่างที่เลี้ยงในอาหารเหลวและบ่มในสภาวะเดียวกัน (อุณหภูมิห้อง) และศึกษาการแสดงออกของยีน *rpsL* ที่ใช้เป็น housekeeping gene สำหรับเปรียบเทียบกิจกรรมปกติของเซลล์กับการแสดงออกของยีนเริ่มต้นในการสังเคราะห์ EPS (the priming GT of the *eps* gene) ซึ่งเป็นยีนเป้าหมายสำหรับการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ด้วยเทคนิค RT-PCR โดยใช้ไพรเมอร์ GBact-a (F36 และ R27) ที่รายงานไว้ก่อนหน้านี้ (Provencher *et al.*, 2003)

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

2.3.1 ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์โดยดัดแปลงจากวิธี modified alcian blue dye assay (Obuekwe and Al-Muttawa, 2001) เริ่มจากนำเชื้อที่คัดเลือกได้ ที่ผ่านการเลี้ยงในอาหาร MSMN ที่อุณหภูมิห้อง และเขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลา 48 ชั่วโมง นำเชื้อที่เลี้ยงจำนวน 5 มิลลิลิตร มาถ่ายลงในหลอดทดลอง และย้อมด้วยสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู ปริมาตร 50 ไมโครลิตร (เตรียมจาก 2 มิลลิกรัม เมทิลีนบลูใน 500 ไมโครลิตร 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล และผสมกับ 1 มิลลิลิตร ของสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟตพีเอช เท่ากับ 7.2 ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น) ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้อย่างน้อยเป็นเวลา 5 นาที ตกตะกอนเซลล์โดยการปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer รุ่น Model SPEKOL 13 SA) ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร (ทุกชุดทดลองทำ 3 ซ้ำ) คำนวณเปอร์เซ็นต์การสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ โดยเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นของชุดทดลองเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเชื้อ

2.3.2 หาอัตราผลผลิตของเชื้อ หาปริมาณสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์แบบสกัดหยาบบนพื้นฐานของวิธีการที่ดัดแปลงจาก Sinha *et al.*, (2001) เริ่มจากการบ่มเชื้อที่คัดเลือกได้ บนอาหาร MSMN ที่อุณหภูมิห้อง และเขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลา 48 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทั้งเชื้อและสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์โดยการปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที นำส่วนของเชื้อที่ตกตะกอนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักแห้งของเซลล์ที่ได้ ขณะที่ส่วนใสที่ประกอบด้วยสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ละลายอยู่ นำไปแยกด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เอทานอล 99.5% สัดส่วน 1 ต่อ 2.5 (V/V) และนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสข้ามคืน เพื่อกระตุ้นให้สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ตกตะกอน เก็บตะกอนสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์โดยการปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ตะกอนสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ได้นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อหาน้ำหนักแห้ง คำนวณอัตราผลผลิตของเชื้อ จากน้ำหนักแห้งของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อน้ำหนักแห้งของเซลล์

2.4 การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อการเพิ่มเสถียรภาพของเม็ดดิน ในห้องปฏิบัติการ

ทดสอบผลของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อการเพิ่มเสถียรภาพของเม็ดดิน ตามวิธีของ Sandahya and Ali (2015) มีวิธีการดังนี้

1) เก็บตัวอย่างดินจากแปลงทดลองในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน ชุดดินมาบบอน ซึ่งเป็นดินทรายปนดินร่วน จากนั้นนำมาร่อนเพื่อแยกเศษรากพืชและวัสดุต่าง ๆ ออก

2) เตรียมเชื้อจุลินทรีย์ โดยเลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหารเหลว LB ที่มีพีเอช เท่ากับ 7.0 เป็นเวลา 36 ชั่วโมง พร้อมให้อากาศ โดยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้องหลังจากนั้นจึงนำไปวัดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และวัดค่าโอดี (Optical Density, OD) ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร แล้วใช้น้ำปราศจากเชื้อปรับค่าความขุ่นหรือค่าโอดีให้มีค่าเท่ากับ 2

3) นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ปรับค่าแล้วปริมาณ 22 มิลลิลิตร นำไปแยกตะกอนเซลล์เพื่อแยกส่วนของเซลล์และส่วนใสออกจากกัน โดยใช้วิธีการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำตะกอนเซลล์ไปใส่น้ำที่ปราศจากออกซิเจน 5 มิลลิลิตร แล้วเก็บในตู้เย็น

4) ชั่งดินจากข้อ 1) จำนวน 220 กรัม แล้วบรรจุลงในภาชนะพลาสติก

5) นำตะกอนเชื้อจากข้อ 3) ไปทดสอบโดยเทลงในดินที่บรรจุในภาชนะ จากนั้นจึงปรับความชื้นด้วยน้ำกลั่นที่ระดับความจุความชื้นสนาม (field capacity) ปิดฝาและเจาะรูเพื่อระบายอากาศ

6) นำไปบ่มและรักษาระดับความชื้นที่ความจุสนามไว้เป็นเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

7) บันทึกผลการทดสอบ

(7.1) ประเมินเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดิน ด้วยวิธี Dry sieving, Wet sieving และ Degree of aggregation

2.5 การจำแนกชนิดของเชื้อแบคทีเรียที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

นำเชื้อที่คัดเลือกได้ไปจำแนกด้วยเทคนิคทางชีวโมเลกุล รายละเอียดตามภาคผนวก ก

1) การสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเชื้อที่คัดเลือก

2) การศึกษานิวคลีโอไทด์ ลายพิมพ์ดีเอ็นเอ และวิเคราะห์ข้อมูลสารพันธุกรรม

2.6 การผลิตเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อที่คัดเลือกได้จะนำไปผลิตเป็นเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการฟื้นฟูดินทรายและเพิ่มผลผลิตพืชตามวิธีการของ ปิยะศักดิ์ (2563) ดังนี้

1) เลี้ยงเชื้อในอาหารแข็ง LA medium ที่มีค่าพีเอช 7.5 จากนั้นบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

2) นำเชื้อจุลินทรีย์ที่บริสุทธิ์ (single colony) มาเลี้ยงในอาหารเหลว LB medium ที่มีค่าพีเอช 7.5 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นดูดเชื้อปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงเลี้ยงใน LB medium ที่มีพีเอช 7.5 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วบ่มต่อเป็นเวลา 6 ชั่วโมง (ทำซ้ำ 3 รอบ)

3) นำเชื้อในข้อ 2) ย้ายลงอาหารเหลว LB medium ที่ มีพีเอช 7.0 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในสภาพปลอดเชื้อแล้วต่ออุปกรณ์ให้อากาศ บ่มเชื้อต่อเป็นเวลา 36 ชั่วโมง

4) หลังจากให้อากาศครบ 36 ชั่วโมง นำเชื้อมาวัดค่า OD₆₀₀ ที่ความยาวคลื่นที่ 660 นาโนเมตร และนับจำนวนเชื้อด้วยวิธี dilution plate count technique

5) เตรียมวัสดุสำหรับรองรับเชื้อ โดยการเตรียมวัตถุดิบต่าง ๆ ในสภาพปลอดเชื้อ ได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย และฟัทมอส ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันในอัตรา 1 : 1 : 1 จากนั้นเติม 10 mM phosphate buffer saline (PBS) pH 7.2 (อัตรา 3 ลิตร ต่อแกลบ ขี้เลื่อย ฟัทมอส 100 กิโลกรัม) และเติม 2% Sacharose, 1% Glycerol และ 1% Gum Arabic (ต่อน้ำหนักรวมของแกลบ ขี้เลื่อย ฟัทมอส) ผสมส่วนผสมทั้งหมดแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้ง

6) นำเชื้อที่เลี้ยงไว้ในข้อ 3) ปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร มาผสมกับวัสดุรองรับเชื้อในข้อ 5) อัตราเชื้อ 10 มิลลิลิตร ต่อวัสดุรองรับเชื้อ 1 กิโลกรัม แล้วบ่มทิ้งไว้ 1 วัน

7) ตรวจนับปริมาณเชื้อในข้อ 6) ด้วยวิธี dilution plate count technique โดยเชื้อจุลินทรีย์นี้จะต้องมีจำนวนเชื้อที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ไม่น้อยกว่า 10^7 CFU ต่อกรัม ตามข้อกำหนดปริมาณจุลินทรีย์เฉพาะในเชื้อจุลินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดินสอดคล้องกับมนตรีและคณะ (2550) ซึ่งกล่าวถึงจำนวนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่มีคุณภาพควรมีปริมาณเชื้อไม่ต่ำกว่า 7.00 log no. ต่อกรัม

2.7 ศึกษาวิธีการขยายเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์

ศึกษาวิธีการขยายเชื้อจากเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ทั้ง 2 รูปแบบ คือ การขยายเชื้อแบบแห้ง และการขยายเชื้อแบบเหลวโดยมีรายละเอียดดังนี้

1) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) 3 ดำรับการทดลอง 5 ซ้ำตามคำแนะนำการขยายเชื้อผลิตภัณฑ์สารเร่งซูปเปอร์ พด.3 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) ดังนี้

ดำรับที่ 1 เชื้อจุลินทรีย์ 1 กิโลกรัม + ปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม

ดำรับที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ 1 กิโลกรัม + ปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม + รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์

ดำรับที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ 1 กิโลกรัม + สารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ 100 ลิตร

2) ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1) การขยายเชื้อแบบแห้ง ดำเนินการตามคำแนะนำการขยายเชื้อผลิตภัณฑ์สารเร่งซูปเปอร์ พด.3 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) โดยผสมปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม กับเชื้อจุลินทรีย์ 1 กิโลกรัม และรำข้าว 1 กิโลกรัม (ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยหมัก) ปรับความชื้นด้วยน้ำให้ได้ความชื้นประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ คลุมกองปุ๋ยและขยายเชื้อในที่ร่ม เก็บตัวอย่างการขยายเชื้อแบบแห้งในวันที่ 3 4 และ 5 เพื่อตรวจนับวันที่มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุดด้วยวิธี dilution plate count technique

2.2) การขยายเชื้อแบบเหลว โดยเตรียมน้ำสะอาดปริมาตร 100 ลิตร ในถังพลาสติก แล้วละลายกากน้ำตาล 2 กิโลกรัม (สารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นเทเชื้อจุลินทรีย์ลงในถังดังกล่าวคนให้เข้ากันและทุกวัน วันละ 2 ครั้ง เข้า-เย็น ตั้งทิ้งไว้ในที่ร่ม เก็บตัวอย่างการขยายเชื้อแบบเหลวในวันที่ 3 4 และ 5 เพื่อตรวจนับวันที่มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุดด้วยวิธี dilution plate count technique

2.8 การทดสอบผลของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกวาดั่งในสภาพโรงเรือน

1) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดลอง 6 ดำรับการทดลอง จำนวน 6 ซ้ำ ดังนี้

ดำรับที่ 1 ดำรับควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์)

ดำรับที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่

ดำรับที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่

ดำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่
ฉีดพ่น 1 ครั้ง

ดำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่
ฉีดพ่น 2 ครั้ง

ดำรับที่ 6 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่
ฉีดพ่น 3 ครั้ง

2) ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1) การเตรียมดิน เตรียมตัวอย่างดินโดยใช้ชุดดินมาบอนซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินทรายปนทราย ชั่งตัวอย่างดินใส่ถุงพลาสติก ถุงละ 5 กิโลกรัม จากนั้นนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาบรรจุลงกระถางทดลอง

2.2) การขยายเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ นำผลิตภัณฑ์เชื้อจุลินทรีย์มาขยายเชื้อในรูปแบบแห้ง และแบบเหลวตามการศึกษาวิธีการขยายเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ ดังนี้

- การขยายเชื้อแบบแห้ง เตรียมปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม รำข้าว 1 กิโลกรัม คลุกเคล้าให้เข้ากัน นำไปผสมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ 1 กิโลกรัม ปรับความชื้น 50 – 60 เปอร์เซ็นต์ ขยายเชื้อตามจำนวนวันที่มีปริมาณเชื้อเจริญเติบโตมากที่สุด

- การขยายเชื้อแบบเหลว เตรียมสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ 100 ลิตร ผสมเข้ากับเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ 1 กิโลกรัม ขยายเชื้อตามจำนวนวันที่มีปริมาณเชื้อเจริญเติบโตมากที่สุด

2.3) นำผลิตภัณฑ์เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายทั้งในแบบแห้งและแบบเหลวคลุกให้เข้ากันกับดินในกระถาง โดยใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ในแบบแห้ง และอัตรา 100 ลิตรต่อไร่ในแบบเหลว ตามลำดับ แต่ในดำรับการทดลองที่ 5 เพิ่มการฉีดพ่นผลิตภัณฑ์เชื้อจุลินทรีย์แบบเหลวครั้งที่ 2 หลังย้ายปลูกได้ 7 วัน ส่วนในดำรับการทดลองที่ 6 เพิ่มการฉีดพ่นผลิตภัณฑ์เชื้อจุลินทรีย์แบบเหลวครั้งที่ 2 และ 3 หลังย้ายปลูกได้ 7 วัน และ 14 วัน ตามลำดับ

2.4) การปลูกต้นกวาดั่ง เตรียม เพาะเมล็ดกวาดั่งลงในถาดเพาะขนาด 108 หลุม โดยใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูก หลังจากนั้น 14 วัน ทำการย้ายลงปลูกในกระถาง

2.5) การเก็บข้อมูล

2.5.1) เก็บข้อมูลพืช ได้แก่ จำนวนใบ ความสูงต้น ขนาดของลำต้นที่ 30 และ 37 วัน หลังเพาะเมล็ด น้ำหนักสดของต้นและราก น้ำหนักแห้งของต้นและราก

2.5.2) เก็บข้อมูลดินก่อนและดินหลังปลูกต้นกวาดำ ตั้ง เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง ดังนี้

- ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ด้วยวิธี dilution plate count technique

- สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณโพแทสเซียม และค่าพีเอช

- สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความเสถียรของเม็ดดินด้วยวิธี Wet sieving, Dry sieving และ Degree of aggregation

2.6) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้ วิธี Least Significant Difference (LSD)

2.9 การทดสอบผลของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกวาดำในสภาพแปลงทดลอง

1) วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) ทำการทดลอง 9 ดำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

ดำรับที่ 1 ดำรับควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์)

ดำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน

ดำรับที่ 3 ปุ๋ยหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่

ดำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่

ดำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่

ดำรับที่ 6 ปุ๋ยหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่

ดำรับที่ 7 ปุ๋ยหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่

ดำรับที่ 8 ปุ๋ยหมัก 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน

ดำรับที่ 9 ปุ๋ยหมัก 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน

2) ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1) การขยายเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบแห้งและรูปแบบเหลวตามการศึกษาวิธีการขยายเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ดังนี้

- การขยายเชื้อแบบแห้ง เตรียมปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม รำข้าว 1 กิโลกรัม คลุกเคล้าให้เข้ากัน นำไปผสมกับผลิตภัณฑ์เชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ 1 กิโลกรัม ปรับความชื้น 50-60 เปอร์เซ็นต์ ขยายเชื้อตามจำนวนวันที่มีปริมาณเชื้อเจริญเติบโตมากที่สุด

- การขยายเชื้อแบบเหลว เตรียมสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ 100 ลิตร ผสมเข้ากับผลิตภัณฑ์เชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ 1 กิโลกรัม ขยายเชื้อตามจำนวนวันที่มีปริมาณเชื้อเจริญเติบโตมากที่สุด

2.2) การเตรียมแปลงทดลอง ดำเนินการทดลองภายในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน พิกัด latitude (x) = 13.744311 และ longitude (y) = 101.508157 ชุดดินมาบอบน โดยเตรียมแปลงความยาว 1.25 เมตร กว้าง 1.75 เมตร จำนวน 27 แปลง ระยะห่างระหว่างแปลง 1.50 เมตร

2.3) การใส่ปัจจัยการทดลอง

1) การใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และแบบขยายเชื้อแบบเหลว อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ใส่เพียงครั้งเดียวโดยคลุกเคล้าลงดินให้ทั่วทั้งแปลงตามดำรับการทดลอง

2) การใส่ปุ๋ยเคมี ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินในแปลงทดลองใช้อัตราปุ๋ยเคมี สูตร 46-0-0 อัตรา 39 กิโลกรัมต่อไร่ สูตร 18-46-0 อัตรา 11 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 0-0-60 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ คลุกเคล้าลงดินให้ทั่วทั้งแปลงตามดำรับการทดลอง

2.4) การปลูกและการดูแลรักษาหลังปลูก เตรียมเพาะเมล็ดถั่วแดงในถาดเพาะขนาด 108 หลุม โดยใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูก หลังจากนั้น 14 วัน ทำการย้ายลงในแปลงทดลอง โดยมีระยะห่างระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแถว 25 เซนติเมตร โดยปลูก 4 แถวต่อแปลง จำนวน 6 ต้นต่อแถว ดูแลรดน้ำตลอดช่วงเจริญเติบโต และเก็บข้อมูลต้นถั่วแดงจำนวน 8 ต้น โดยเว้นต้นที่อยู่รอบนอกของแปลง

2.5) การเก็บข้อมูล

1) การเก็บข้อมูลพืช ได้แก่ จำนวนใบ ความสูงต้น ขนาดของลำต้นที่ 31 และ 39 วัน หลังเพาะเมล็ด น้ำหนักสดของต้นและราก น้ำหนักแห้งของต้นและราก

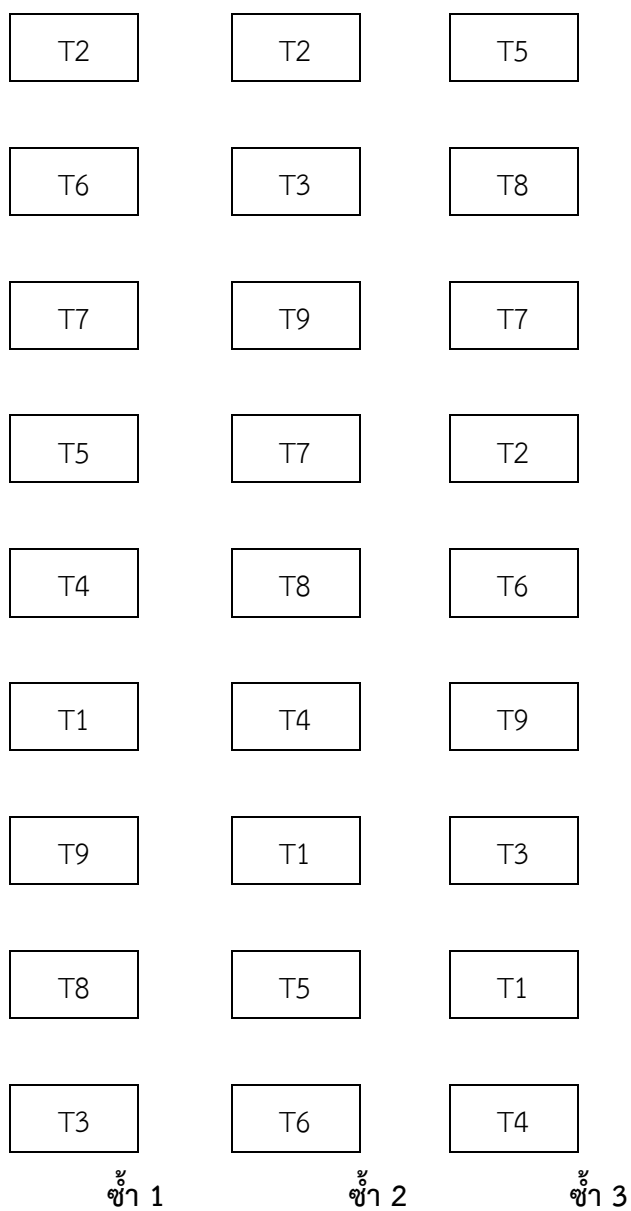
2) การเก็บข้อมูลดิน ดินก่อนปลูกและดินหลังปลูกต้นถั่วแดงเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง ดังนี้

- ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ด้วยวิธี dilution plate count technique

- สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณโพแทสเซียม และความเป็นกรด-ด่าง

- สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การกักน้ำในดิน และเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพเม็ดดิน

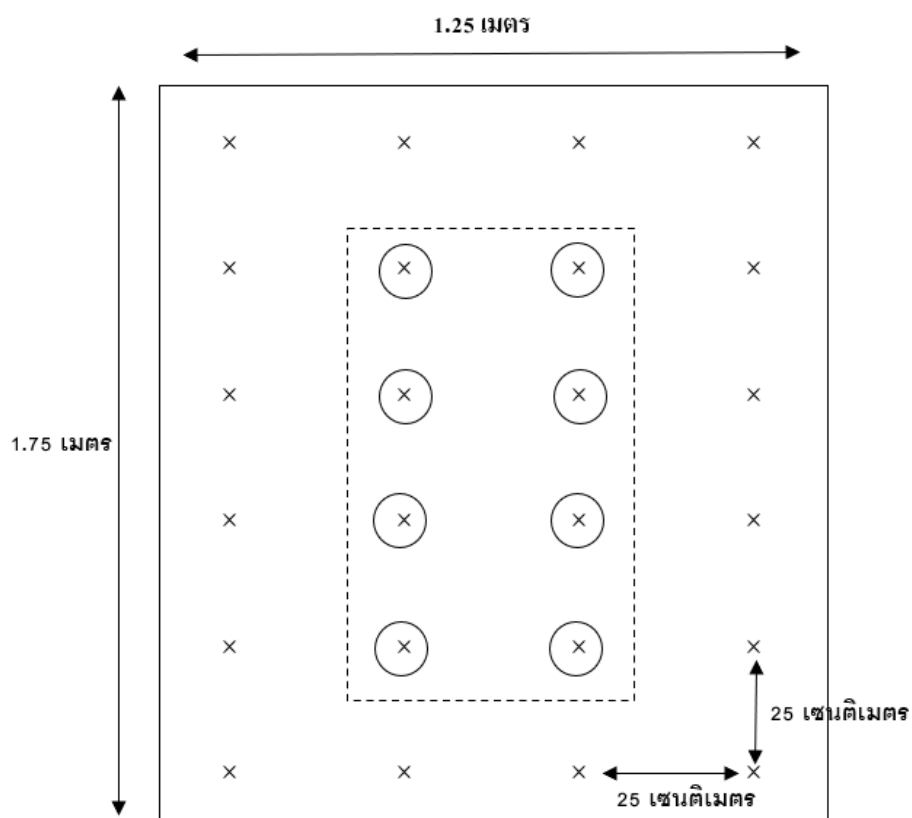
2.6) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้ วิธี Least Significant Difference (LSD)



หน้าแปลงทดลอง

ภาพที่ 1 ผังแปลงการทดลอง

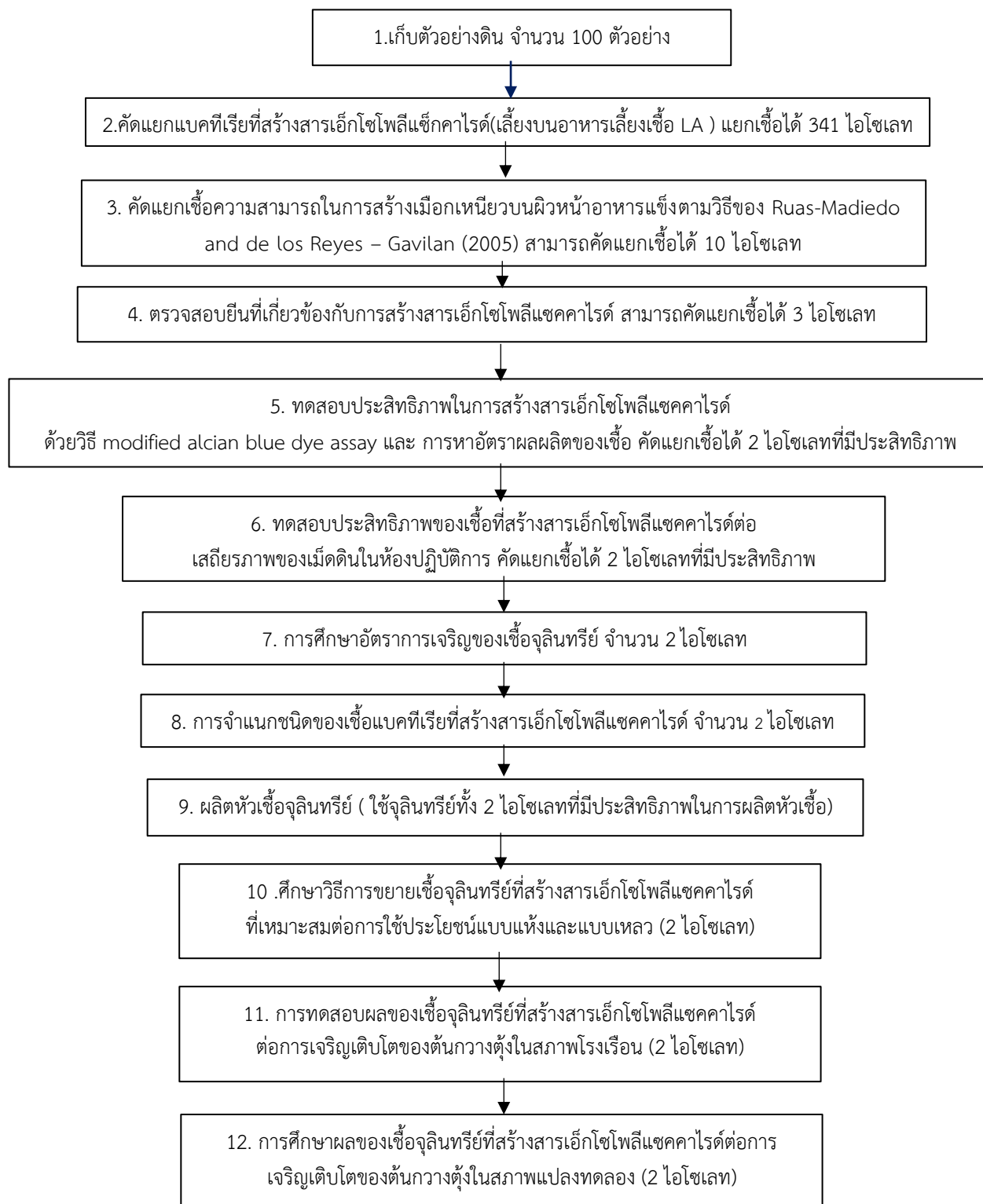
หมายเหตุ แปลงมีความยาว 1.25 เมตร กว้าง 1.75 เมตร จำนวน 27 แปลง ระยะห่างระหว่างแปลง 1.50 เมตร



ภาพที่ 2 แสดงระยะปลูกในแปลงย่อย

หมายเหตุ

1. พื้นที่แปลงย่อย ขนาด 1.75×1.25 เมตร
2. x หมายถึง ต้นกวาดั่งที่ปลูกในระยะ 25×25 เซนติเมตร
3. ----- หมายถึง พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต
4. ○ หมายถึง ตำแหน่งที่เก็บข้อมูลต้นกวาดั่ง



ภาพที่ 3 แผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัย

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการวิจัยการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน เพื่อใช้ประโยชน์ในการฟื้นฟูดินทรายและเพิ่มผลผลิตของต้นกวางตุ้ง สรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้

1. การสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน

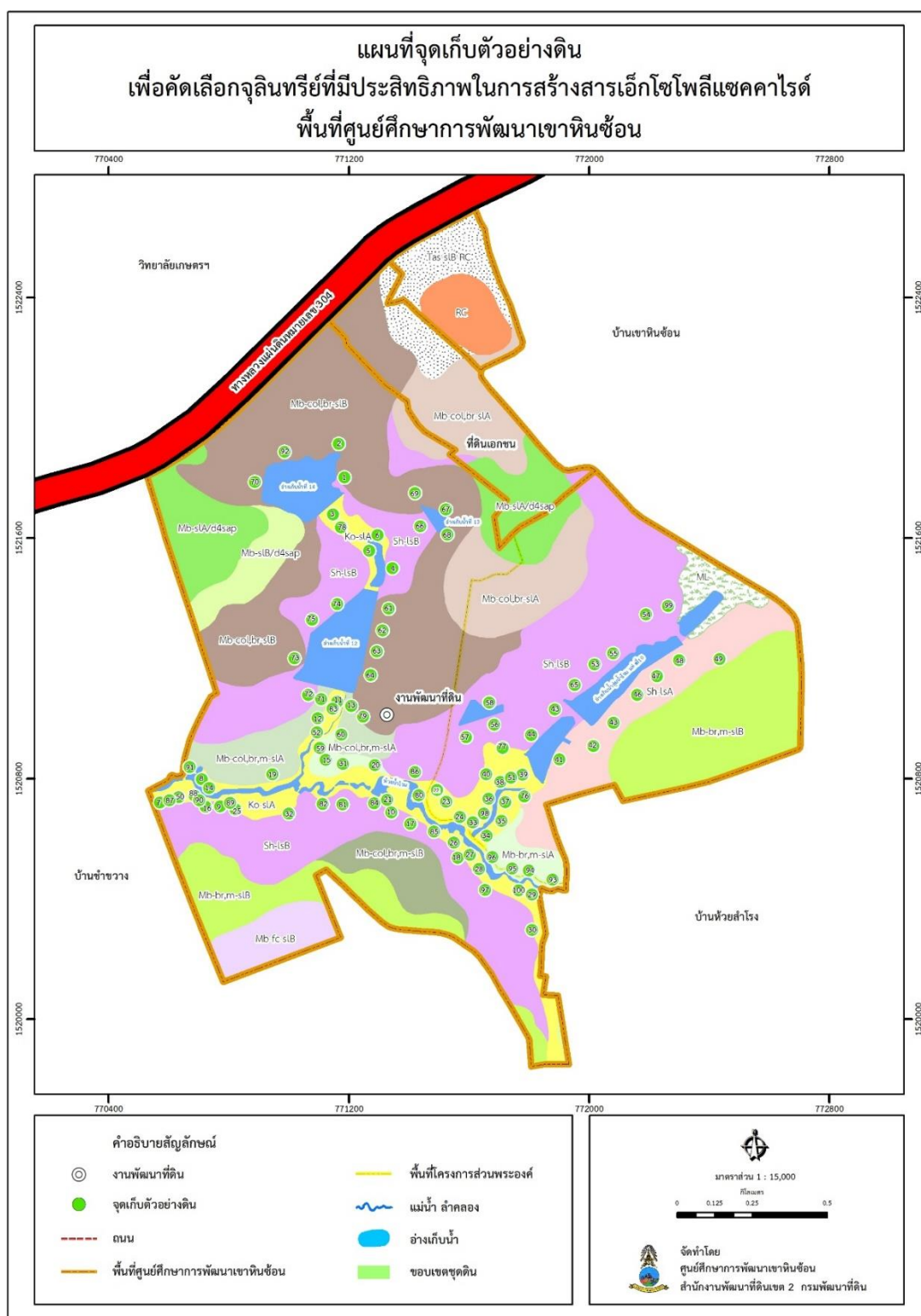
สำรวจและเก็บตัวอย่างดินภายในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน จำนวน 100 ตัวอย่าง ตามตำแหน่งที่แสดงในตารางที่ 3 และ ภาพที่ 4 คือ บริเวณลุ่มน้ำโจนและอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ ซึ่งอยู่ใกล้แหล่งน้ำและมีความชื้นสูง (aqueous environments) สภาพแวดล้อมดังกล่าวเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ สอดคล้องกับที่มีการรายงานแนะนำถึงสภาวะแวดล้อมเปียกชื้นที่มีโอกาสเอื้อให้พบเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่มีรายงานมาก่อนหน้า (Fusconi and Godinho, 2002, Sutherland, 1990)

2. การคัดเลือกแบคทีเรียที่สร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์

จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน จำนวน 100 ตัวอย่าง เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่สร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ สามารถแยกเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งหมด 341 ไอโซเลท จากนั้นคัดเลือกเฉพาะโคโลนีที่มีความสามารถในการสร้างเมือกเหนียวยึดเป็นสายยึดติดปลายลูปเมื่อยกขึ้นมาตามวิธีของ Ruas-Madiedo and Reyes – Gavilan (2005) โดยคัดเลือกเชื้อที่มีความสามารถในการสร้างเมือกเหนียวได้จำนวน 10 ไอโซเลท และกำหนดชื่อไอโซเลทตามตัวอย่างดิน ตามที่แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งจากผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับ Sandhaya *et al.* (2009) ซึ่งเก็บเชื้อจากตัวอย่างดินบริเวณรากต้นทานตะวันซึ่งเป็นดินในเขตแห้งและมีอินทรีย์วัตถุน้อยเพื่อนำมาคัดแยกเชื้อจนได้เชื้อ *pseudomonads Spp.* ที่มีความสามารถในการสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ เพื่อนำไปทดสอบการสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ต่อไป

ตารางที่ 3 แหล่งที่มา จำนวนตัวอย่างดิน และจำนวนไอโซเลท

แหล่งที่มาของตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่างดิน	จำนวนไอโซเลท
น้ำโจน	41	115
อ.10	24	86
อ.12	21	54
อ.14	6	32
อ.13	5	39
สระ 4	3	11
รวม	100	341



ภาพที่ 4 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดิน ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำโจน เพื่อคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์

ตารางที่ 4 ตัวอย่างเชื้อที่คัดเลือกและส่วนที่เกี่ยวข้อง

ลำดับ ตัวอย่าง	ชื่อตัวอย่าง	แหล่งน้ำ	ตำแหน่งที่เก็บ	ชุดดิน	pH	การใช้ ประโยชน์ที่ดิน
1	EPS-NJ-1/02	ลุ่มน้ำโจน	แปลงผักปลอดภัย	มาบบอน (Mb)	4.5	ผัก
2	EPS-NJ-2/05	ลุ่มน้ำโจน	แปลงนา	โคกเคียน (Ko)	4.5	นาข้าว
3	EPS-NJ-10/03	ลุ่มน้ำโจน	เตยเปียก	สตั๊ปป (Sh)	5.5	เตยเปียก
4	EPS-A12-4/01	อ่าง 12	แปลงทฤษฎีใหม่	มาบบอน (Mb)	4.5	ผัก
5	EPS-A12-10/03	อ่าง 12	แปลงทฤษฎีใหม่	โคกเคียน (Ko)	4.5	นาข้าว
6	EPS-A14-6/01	อ่าง 14	พื้นที่ป่าไม้	โคกเคียน (Ko)	4.5	ป่าไม้
7	EPS-NJ-14/03	ลุ่มน้ำโจน	แปลงนา	โคกเคียน (Ko)	4.5	นาข้าว
8	EPS-A13-1/03	อ่าง 13	พื้นที่ป่าไม้	มาบบอน (Mb)	4.5	ป่าไม้
9	EPS-A12-20/03	อ่าง 12	แปลงข้าวโพด	มาบบอน (Mb)	4.5	ข้าวโพด
10	EPS-S4-1/02	สระ 4	พื้นที่ป่าไม้	สตั๊ปป (Sh)	4.5	ป่าไม้

3. การตรวจสอบยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

ผลการวิเคราะห์การแสดงออกของยีน rpsL หรือ ribosomal S12 protein ขนาด 250 นิวคลีโอไทด์ พบการแสดงออกสม่ำเสมอ ด้วยระดับการแสดงออกที่เท่ากัน (แถบตีเอ็นเอในผลิตภัณฑ์มีขนาดและความเข้มใกล้เคียงกัน) ในตัวอย่างเชื้อลำดับที่ 1-9 (ภาพที่ 5) แต่ไม่พบการแสดงออกของยีนนี้ในตัวอย่างเชื้อลำดับที่ 10 การแสดงออกของยีน rpsL ที่ใช้เป็น housekeeping gene ด้วยระดับที่ไม่แตกต่างกันนี้ สะท้อนให้เห็นว่า

- 1) ระดับการแสดงออกของยีน ที่เกี่ยวข้องกับพื้นฐานในการเจริญของเชื้ออยู่ในระดับที่เท่ากัน
- 2) ปริมาณของเชื้อในระบบอยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างกัน จึงสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้
- 3) เชื้อยังคงมีกิจกรรมการเจริญเติบโตปกติ จึงเกิดการแสดงออกของ ribosomal S12 protein ซึ่งเป็นโปรตีนจำเป็นในกระบวนการในการแปลรหัส
- 4) ไม่พบกิจกรรมในรูปแบบเดียวกันในแบคทีเรียตัวอย่างเชื้อลำดับที่ 10 หรือระบบการแสดงออกของยีนของเชื้อนี้มีความแตกต่างไปจากคูโพรเมอร์ของระบบที่ศึกษา

ด้วยภาวะเดียวกัน เมื่อใช้ไพรเมอร์จำเพาะต่อยีนเริ่มต้นในการสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ พบระดับการแสดงออกของยีนเริ่มต้นในการสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ขนาด 580 นิวคลีโอไทด์ เฉพาะในตัวอย่างเชื้อลำดับที่ 1 2 6 7 และ 8 โดยตัวอย่างเชื้อลำดับที่ 7 1 และ 2 มีแถบตีเอ็นเอเข้มมากที่สุดและจางลงตามลำดับ ขณะที่การแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ในตัวอย่างเชื้อลำดับที่ 6 และ 8 มีอยู่ไม่มากนัก โดยดูจากแถบตีเอ็นเอที่จางกว่าแสดงถึงประสิทธิภาพที่มีแนวโน้มด้อยกว่าตัวอย่างเชื้อลำดับที่ 7 1 และ 2 พบการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่ต่ำมาก ในตัวอย่างเชื้อลำดับที่ 3 4 5 (แถบจางมาก) และไม่พบการแสดงออกของยีนในตัวอย่างลำดับที่ 9 และ 10 แต่อย่างใด ระดับการแสดงออกของยีนเริ่มต้นในการสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์นี้เป็นต้นทางในการสังเคราะห์โปรตีนผ่านกระบวนการแปลรหัส และนำไปสู่ระดับปริมาณการสร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์โดยตรง ดังนั้น การวัดการแสดงออกของยีนเป็นเกณฑ์ในครั้งนี้ ช่วยให้สามารถคัดเลือก เฉพาะเชื้อตัวอย่างลำดับที่ 1 2 และ 7 สำหรับการศึกษาการสร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 5 การแสดงออกของยีนเริ่มต้นในการสังเคราะห์เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ เปรียบเทียบกับการแสดงออกของยีน rpsL หรือ ribosomal S12 protein ที่ใช้เป็น housekeeping ยีนสำหรับเปรียบเทียบ

ซึ่งวิธีการตรวจสอบด้วยยีนนี้ได้ถูกนำไปตรวจสอบกับแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ เช่น การตรวจสอบการต้านทานของเชื้อ *M. tuberculosis* ต่อ ยาปฏิชีวนะ (Fukuda *et al.*, 1999) เป็นต้น

4. การทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

จากการแยกเชื้อจุลินทรีย์ในดินทั้งหมดจำนวน 341 ไอโซเลต จากนั้นจึงคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ด้วยวิธีการนำอุปมาและที่โคโลนีของเชื้อและยึดตามวิธีของ Ruas-Madiedo and Reyes – Gavilan (2005) ได้เชื้อจุลินทรีย์จำนวน 10 ไอโซเลต และทดสอบการแสดงออกของยีนเริ่มต้นในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ด้วยเทคนิค RT-PCR คัดเลือกเชื้อไอโซเลตที่มีแถบดีเอ็นเอเข้มซึ่งมีการแสดงออกของยีนดังกล่าวมากได้ทั้งสิ้น 3 ไอโซเลต คือ EPS-NJ-1/02 EPS-NJ-2/05 และ EPS-NJ-14/03 จากนั้นจึงนำเชื้อทั้ง 3 ตัวอย่าง มาทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อไป

4.1 การทดสอบด้วยวิธี modified alcian blue dye assay

จากการย้อมสีเมทิลีนบลูวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 660 นาโนเมตร ของชุดควบคุมที่ไม่มีเชื้อ (อาหารเปล่า) เปรียบเทียบกับตัวอย่างเชื้อ EPS-NJ-1/02 EPS-NJ-2/05 และ EPS-NJ-14/03 แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์การสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์เทียบกับค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นของชุดทดสอบกับชุดควบคุมที่ไม่มีเชื้อ พบว่า เชื้อ EPS-NJ-2/05 มีเปอร์เซ็นต์การสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มากที่สุด 7.4 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ เชื้อ EPS-NJ-1/02 และ เชื้อ EPS-NJ-14/03 สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ 4.4 และ 2.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพของแบคทีเรียสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร	การสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์
ควบคุม (ไม่ใส่เชื้อ)	0	0
EPS-NJ-1/02	0.044	4.4
EPS-NJ-2/05	0.074	7.4
EPS-NJ-14/03	0.024	2.4

ทดสอบการสังเคราะห์การสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์โดยใช้สีย้อมเมทิลีนบลูแทนสีอัลเซียนบลูเป็นดัชนี โดยปกติสีอัลเซียนบลูจะทำปฏิกิริยากับ anionic group ที่พบใน mucosubstance ในรูปแบบ electro-static linkage การปรากฏสีฟ้าเนื่องจากมี copper ในโมเลกุล (Grizzle *et al.*, 2007) เมื่อนำสีเมทิลีนบลูมาทดแทน ตัวสีจะทำปฏิกิริยากับ anionic group ที่พบใน mucosubstance โดยเฉพาะกับชนิด monolayer และการจับเป็นไปตาม Langmuir Isotherm Model โดยยิ่งค่าดูดกลืนมากสะท้อนการมี monolayer ที่ผิวของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มากตาม (Rosas-Castor *et al.*, 2014) สอดคล้องกับผลการทดลองของ รัตนภรณ์และจิรภัทร (2556) ที่ใช้วิธีการ modified alcian blue dye assay ในการคัดเลือกแบคทีเรียที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากพื้นที่ปลูกพันธุ์กรรมพืช

4.2 อัตราผลผลิตของเชื้อ

อัตราผลผลิตของเชื้อเป็นการคำนวณร้อยละของน้ำหนักแห้งของตะกอนสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์กับกับน้ำหนักแห้งของตะกอนเซลล์ ตามสูตรดังนี้

$$\text{อัตราผลผลิตของเชื้อ} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของเซลล์}}$$

จากสูตรดังกล่าว เชื้อที่มีอัตราผลผลิตสูงกว่าจะมีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มากกว่า จากตารางที่ 6 พบว่า แบคทีเรียทั้ง 3 ตัวอย่าง สังเคราะห์ EPS ได้ในช่วงปริมาณ 7.87-12.33 กรัมต่อลิตร เชื้อ EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05 ให้ผลผลิต (yield) มากกว่า 2 เท่า ในขณะที่เชื้อ EPS-NJ-14/03 ให้ผลผลิตเพียง 1 เท่า แสดงให้เห็นว่า เชื้อ EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05 มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ได้มากกว่าเชื้อ EPS-NJ-14/03 สอดคล้องกับรายงานของกัลยณัฐและคณะ (2559) ที่วิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้งของเซลล์และน้ำหนักแห้งของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์จากดอกไม้ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพของแบคทีเรียสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ของผลผลิตต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง

ตัวอย่าง	EPS (g/L)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (Dry Cell Weight; DCW) g/L	ผลผลิต (yield) gEPS/g DCW
EPS-NJ-1/02	12.33 ± 0.014	5.33 ± 0.002	2.313
EPS-NJ-2/05	11.66 ± 0.012	4.66 ± 0.002	2.502
EPS-NJ-14/03	6.17 ± 0.011	5.67 ± 0.003	1.094

ดังนั้นจากผลการทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ EPS-NJ-1/02 EPS-NJ-2/05 และ EPS-NJ-14/03 ด้วยวิธี modified alcian blue dye assay และการหาอัตราผลผลิตของเชื้อ แสดงให้เห็นว่าเชื้อ EPS-NJ-2/05 และ EPS-NJ-1/02 มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์มากที่สุดตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตจากค่าน้ำหนักเซลล์แห้งพบว่าเชื้อ EPS-NJ-1/02 มีการเจริญเติบโตมากกว่าเชื้อ EPS-NJ-2/05 จึงคัดเลือกเชื้อ EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ทั้ง 2 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อในการเพิ่มเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินในห้องปฏิบัติการต่อไป

5. การทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ต่อเสถียรภาพของเม็ดดินในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดลองการประเมินเสถียรภาพของเม็ดดินจากการใช้เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ตัวอย่างที่ EPS-NJ-1/02 EPS-NJ-2/05 และ EPS-NJ-14/03 พบว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์มีผลทำให้ค่าเสถียรภาพของเม็ดดินมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ตามรายงานของ Hazelton and Murphy (2007) ได้แบ่งเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินออกเป็น 4 ระดับ โดยวัดการเกิดเม็ดดินโดยวิธี wet sieving ที่ขนาด 1-2 มิลลิเมตร ได้แก่ เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินน้อยกว่า 10 มีเสถียรภาพของเม็ดดินอยู่ในระดับต่ำมาก เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดิน 10 -20 มีเสถียรภาพของเม็ดดินอยู่ในระดับต่ำ เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดิน 20-30 มีเสถียรภาพของเม็ดดินอยู่ในระดับกลาง เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินมากกว่า 30 มีเสถียรภาพของเม็ดดินอยู่ในระดับสูง

จากตารางที่ 7 ที่ขนาดเม็ดดินที่ 1-2 มิลลิเมตร พบว่าการใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ เชื้อหมายเลข EPS-NJ-2/05 มีเปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดินมากที่สุดเท่ากับ 11.85 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การใส่เชื้อจุลินทรีย์หมายเลข EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-14/03 โดยมีเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินเท่ากับ 10.66 เปอร์เซ็นต์ และ 11.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลสามารถจำแนกกระตักการเกิดเม็ดดินได้ว่าอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ พบว่า มีเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพเม็ดดินน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบการใส่เชื้อจุลินทรีย์ โดยมีเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินเท่ากับ 8.86 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในระดับต่ำมาก เป็นผลมาจากการสร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเม็ดดินได้ตามรายงานของ Ohana *et al.* (2018) กล่าวว่าเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่เป็นผลมาจากการรวมตัวกันของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า โดยที่เม็ดดินที่มีขนาด 2-20 ไมโครเมตร เกิดจากการรวมตัวของเม็ดดินที่มีสารอินทรีย์เป็นสารเชื่อม เม็ดดินที่มีขนาดตั้งแต่ 20-250 ไมโครเมตร เกิดจากการรวมตัวกันโดยอาศัยรากพืช

ขนราก หรือเส้นใยของฟังไจ (fungi) เป็นตัวประสานเม็ดดินเข้าด้วยกัน และเม็ดดินที่มีขนาดมากกว่า 250 ไมโครเมตร หรือ 0.25 มิลลิเมตร การรวมตัวนั้นเกิดจากการเชื่อมกันของสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งสารดังกล่าวที่มีสมบัติคล้ายกาวเหนียวเพื่อเชื่อมเม็ดดินเข้าด้วยกัน (Tisdall and Oades, 1982)

ตารางที่ 7 เปอร์เซ็นต์เม็ดดินที่เสถียรเมื่อร่อนด้วยวิธี Wet sieving

ขนาดเม็ดดิน (มิลลิเมตร)	เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดิน		
	ควบคุม	EPS-NJ-1/02	EPS-NJ-2/05
8.0-5.0	0.05	0.32	0.04
5.0-3.0	0.39	0.16	0.43
3.0-2.0	0.28	0.31	0.63
2.0-1.0*	8.86	10.66	11.85
1.0-0.5	24.92	27.96	28.07
0.5-0.25	23.71	22.51	21.63
<0.25	41.77	38.08	37.35

หมายเหตุ : *1-2 mm stable aggregates (%) : <10 = ความเสถียรภาพของเม็ดดินต่ำมาก, 10-20 = ความเสถียรภาพของเม็ดดินต่ำ, 20-30 = ความเสถียรภาพของเม็ดดินอยู่ในระดับกลาง, >30 = ความเสถียรภาพของเม็ดดินอยู่ในระดับสูง (Hazelton and Murphy (2007))

ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ และผลการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินในห้องปฏิบัติการ สามารถสรุปได้ว่า เชื้อ EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05 มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ทำให้เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพเม็ดดินเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่จุลินทรีย์ ดังนั้นจึงคัดเลือกทั้งเชื้อ EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05 ไปทำการจำแนกชนิดของเชื้อเพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yinong *et al.* (2020) ที่ได้ขยายพันธุ์สปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซา *Funneliformis mosseae* ในกระถางทรายฆ่าเชื้อเป็นเวลา 3 เดือน แล้วนำสปอร์ที่ได้มาบ่มในกระถางพลาสติกที่ปลูกต้น *Bidens parviflora* Willd. ด้วยดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตรและนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว เป็นเวลา 95 วัน ผลการทดลองพบว่าวิธีการใส่เชื้อราไมคอร์ไรซาพบเม็ดดินที่มีขนาดมากกว่า 2 มิลลิเมตร เป็นจำนวนมากมากกว่าวิธีควบคุมที่ไม่ได้ใส่สปอร์เชื้อราไมคอร์ไรซา ลงไปในดิน ทั้งนี้ในดินที่มีการใส่เชื้อราไมคอร์ไรซาพบความเข้มข้นของสาร glomalin-related soil protein (GRSP) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมเสถียรภาพของเม็ดดินในการเป็นสารเชื่อมเม็ดดิน

6. การจำแนกชนิดของเชื้อแบคทีเรียที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์

จากการคัดเลือกเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูงในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ตามการทดลองก่อนหน้านี้ จึงได้นำเชื้อ EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05 ไปจำแนกชนิดของเชื้อโดยเทคนิคทางชีวโมเลกุล พบว่า เชื้อทั้ง 2 ตัวอย่าง คือ *Pseudomonas sp.* (ภาคผนวก ข)

7. การผลิตเชื้อจุลินทรีย์

จากผลการศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ด้วยการทดสอบตามวิธีต่าง ๆ สามารถคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพได้ 2 ไอโซเลท คือ EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05 และนำจุลินทรีย์ทั้ง 2 ไอโซเลทมาผลิตเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบพร้อมใช้ โดยเชื้อไอโซเลท EPS-NJ-2/05 มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มากกว่าเชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 แต่เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 มีอัตราการเจริญเติบโตมากกว่าเชื้อไอโซเลท EPS-NJ-2/05 ซึ่งในสภาพธรรมชาติดินบริเวณรอบรากพืชนั้นมีการแข่งขันการเจริญโตของเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด เชื้อที่มีความสามารถในการแข่งขันการเจริญเติบโตได้ดีกว่าจะสามารถมีชีวิตรอดและเพิ่มปริมาณได้ในดิน ดังนั้นจึงนำเชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 มาผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบพร้อมใช้ร่วมกับเชื้อไอโซเลท EPS-NJ-2/05 ด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของหัวเชื้อจุลินทรีย์ การผลิตหัวเชื้อที่มีการเติมจุลินทรีย์มากกว่า 1 ชนิดนี้สอดคล้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพทางดินของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) และการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบพร้อมใช้นี้ นำเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ไอโซเลทมาเลี้ยงเพิ่มปริมาณในอาหารเหลว แล้วนำมาผสมกับวัสดุรองรับ คือ แกลบ ขี้เลื่อย พีทมอส ที่ผสมกับบัพเฟอร์ และแหล่งคาร์บอนตามวิธีของปิยะศักดิ์ (2563) หัวเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบพร้อมใช้นี้จะมีจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ผลการตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณไม่น้อยกว่า 10^{14} CFU/กรัม เป็นไปตามข้อกำหนดปริมาณจุลินทรีย์เฉพาะในเชื้อจุลินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน คือ เชื้อต้องมีปริมาณไม่ต่ำกว่า 7.00 log no. ต่อกรัม ซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำของ มนตรีและคณะ (2550) ซึ่งกล่าวถึงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมควรมีปริมาณเชื้อไม่ต่ำกว่า 7.00 log no. ต่อกรัม

8. ผลจากการศึกษาวิธีการขยายเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์

การขยายเชื้อ

จากการศึกษาวิธีการขยายเชื้อในรูปแบบแห้ง วิธีที่ 1) ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 2) ขยายเชื้อในปุ๋ยหมักผสมรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ และ 3) ในรูปแบบเหลว ขยายเชื้อในสารละลายกากน้ำตาลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณเชื้อที่ขยายทั้ง 3 รูปแบบ มีปริมาณเชื้อสูงที่สุดที่ 3 วัน และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

การขยายเชื้อแบบแห้ง พบว่า ดำรับการทดลองที่ 2 การขยายเชื้อแบบแห้งที่มีรำข้าวเป็นส่วนผสม มีปริมาณเชื้อมากกว่าดำรับการทดลองที่ 1 การขยายเชื้อที่ไม่มีรำข้าว โดยในการขยายเชื้อแบบมีรำข้าว มีปริมาณเชื้อเท่ากับ 12.88 log no. ขณะที่ดำรับการทดลองที่ 1 มีปริมาณเชื้อเท่ากับ 12.55 log no. โดยผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับคำแนะนำของการขยายเชื้อสารเร่งซูปเปอร์ พด.3 ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช โดยแนะนำการขยายเชื้อโดยผสมรำข้าว

1 เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยหมัก เนื่องจากรำข้าวมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ 0.33 เปอร์เซ็นต์ และ ฟอสฟอรัส 0.28 เปอร์เซ็นต์ การใส่รำข้าวจึงมีผลทำให้เพิ่มธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการขยายปริมาณเชื้อของจุลินทรีย์ได้ (Suwanwiji, 2003)

การขยายเชื้อแบบเหลว พบว่า มีปริมาณเชื้อ เท่ากับ 12.41 log no. สำหรับการใส่สารละลายกากน้ำตาลในเชื้อจุลินทรีย์สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ พบว่าสารละลายกากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารที่ดีต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการแหล่งคาร์บอนเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการเจริญและกิจกรรมของเซลล์ รวมทั้งสร้างผลผลิตอื่น ๆ และจากการทดสอบแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมต่อการผลิตเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ พบว่าน้ำตาลซูโครสในกากน้ำตาลสามารถส่งเสริมให้เชื้อผลิตเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ได้สูงสุด (พริณัฐ และคณะ , 2560)

ตารางที่ 8 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในการขยายเชื้อในรูปแบบต่าง ๆ

หน่วย : ดาร์บีที่ 1 และ 2 log no./กรัม

ดาร์บีที่ 3 log no./มิลลิลิตร .

ตำรับการทดลอง	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์		
	3 วัน	4 วัน	5 วัน
ดาร์บีที่ 1 เชื้อจุลินทรีย์ + ปุ๋ยหมัก	12.55	12.36 b	10.30
ดาร์บีที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ + ปุ๋ยหมัก + รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์	12.88	12.36 a	10.52
ดาร์บีที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ + สารละลาย กากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์	12.41	9.41 a	8.30
CV (%)	67.76	21.40	50.86
F-test	ns	**	ns

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวดิ่งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ LSD

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

9. ผลของการศึกษาการใช้เชื้อจุลินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกวาดำในสภาพโรงเรือน

ผลการศึกษาการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีสมบัติในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกวาดำในสภาพโรงเรือนให้ผลดังนี้

9.1 สมบัติทางเคมีของดิน

9.1.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูก

จากการสุ่มตัวอย่างดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร แล้วนำไปวัดสมบัติทางเคมีต่าง ๆ พบว่า ดินบริเวณดังกล่าวมีพีเอช เท่ากับ 6.5 ซึ่งอยู่ในระดับมีความเป็นกรดเล็กน้อย ปริมาณอินทรีย์วัตถุ มีปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดว่าต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในปริมาณที่สูงมาก และ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีปริมาณเท่ากับ 27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในปริมาณที่ต่ำมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

9.1.2 สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูก

จากการเก็บตัวอย่างของดินหลังการทดลองปลูกต้นกวางตุ้งในสภาพโรงเรือน จากนั้นนำดินไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีในด้านต่าง ๆ ซึ่งให้ผลดังนี้

1) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน พบว่า ความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 6.7-7.2 ซึ่งค่าเพิ่มจากดินก่อนปลูกเล็กน้อย และจัดอยู่ในระดับกลาง เนื่องจากการใส่ผลิตภัณฑ์ของจุลินทรีย์ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความเป็นกรดเป็นด่างของดิน แต่เป็นการปรับปรุงสมบัติโครงสร้างของดิน (สุพรรณษา, 2550)

2) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าระหว่าง 0.7-0.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำ และมีค่าต่ำกว่าดินหลังปลูก เนื่องจากการทดลองในสภาพโรงเรือนอุณหภูมิภายในจึงสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน สอดคล้องกับจิระศักดิ์และอาภิรักษ์ (2562) ที่กล่าวว่าอุณหภูมิสะสมภายในโรงเรือนที่ไม่มีระบบควบคุมอุณหภูมิคือ 45.9 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิอากาศภายนอกโรงเรือนอยู่ในช่วงระหว่าง 39.0-40.0 องศาเซลเซียส เมื่อวัดที่เวลา 12.00 น. ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นในโรงเรือนมีผลทำให้อินทรีย์วัตถุย่อยสลายได้เร็วขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ Hood (2001) ที่ทดสอบผลของการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและการเจริญเติบโตของพืช โดยปลูกพืชลงกระถางในโรงเรือนที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้นที่ระดับต่างๆ พบว่าเมื่ออุณหภูมิดินสูงขึ้นช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์และเร่งอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินมากขึ้น

3) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน หลังปลูกต้นกวางตุ้ง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าระหว่าง 306-450 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับสูง และเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีปริมาณลดลง เนื่องจากการสูญเสียฟอสฟอรัสจากการไหลบ่าและกร่อนของดิน (Bertol *et al*, 2003) อีกทั้งธาตุดังกล่าวยังเป็นหนึ่งในธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและสารประกอบอินทรีย์ในพืช และช่วยในการสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ซึ่งจากผลการทดลองของงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าเมื่อปลูกต้นกวางตุ้งในระบบไม่ใช้สารกำจัดแมลง และตรวจสอบปริมาณฟอสฟอรัสภายในต้นกวางตุ้ง พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 1.1 กรัมต่อตารางเมตร (เนตรดาว, ม.ป.ป)

4) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนในดิน พบว่า ดินหลังทดลองปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าอยู่ระหว่าง 11-36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับต่ำมาก และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการทดลอง เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ช่วยให้พืชแข็งแรง มีความต้านทานต่อโรคบางชนิด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) โดยเนตรดาว (ม.ป.ป) เมื่อปลูกต้นกวางตุ้งในสภาพปราศจากสารกำจัดแมลงและทำการตรวจสอบปริมาณโพแทสเซียมแล้วพบว่าภายในต้นกวางตุ้งมีปริมาณโพแทสเซียมมากถึง 10.1 กรัมต่อตารางเมตร

ตารางที่ 9 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูกของต้นกวาดตู่ในสภาพโรงเรือน

ดำรับการทดลอง	pH (1:1)	OM (%)	P (มก./กก.)	K (มก./กก.)
ดินก่อนทดลอง	6.50	1.00	500	27
ดินหลังปลูก				
ดำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์)	6.80	0.70	349	14
ดำรับที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	6.90	0.70	387	12
ดำรับที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	7.20	0.70	306	11
ดำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายใน สารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง	7.10	0.70	334	13
ดำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายใน สารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง	6.70	0.80	363	36
ดำรับที่ 6 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายใน สารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง	7.00	0.80	450	21

หมายเหตุ : เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

9.2 การประเมินสมบัติทางกายภาพของดิน

ตารางที่ 10 แสดงเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินหลังการปลูกกวาดตู่ในสภาพโรงเรือนพบว่า ในดำรับการทดลองการใส่เชื้อจุลินทรีย์ สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินได้ โดยที่ขนาดเม็ดดินที่ขนาด 1-2 มิลลิเมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินอยู่ที่ 9.70-10.81 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ดำรับการทดลองที่ 4 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง มีเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินเท่ากับ 10.81 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ดำรับที่ 6 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง มีเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินเท่ากับ 10.46 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้า ซึ่งศึกษาการใส่เชื้อจุลินทรีย์ *P. putida* เข้าไปในดินที่มีความเครียด เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม ความแล้ง โดยผลการทดลองพบว่า หลังจากใส่เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวเข้าไปทำให้จุลินทรีย์สามารถสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์เพื่อการอยู่รอดมากยิ่งขึ้น และส่งผลให้เสถียรภาพของเม็ดดินเพิ่มมากขึ้นด้วย (Sandhya and Ali, 2015) ซึ่งการที่เม็ดดินมีเสถียรภาพมากขึ้นนั้นจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของดินในด้านต่าง ๆ เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility) ความพรุนของดิน (soil porosity) การพังทลายของดิน (soil erodibility) อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการ

ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น ช่วยส่งเสริมการงอกของพืช และการเจริญเติบโตของรากพืช (Bronick and Lal, 2005; Dinel *et al.*, 1992)

ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินหลังการทดลองการปลูกต้นกล้วยตั้งในสภาพโรงเรือน
หน่วย : เปอร์เซ็นต์

ขนาดเม็ดดิน (มิลลิเมตร)	ดินหลังการ ทดลอง	ตำรับที่ 1	ตำรับที่ 2	ตำรับที่ 3	ตำรับที่ 4	ตำรับที่ 5	ตำรับที่ 6
8.0-5.0	0.46	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.40
5.0-3.15	0.45	0.39	0.18	0.05	0.64	0.10	0.43
3.15-2.0	1.14	1.32	0.88	0.61	1.14	0.60	0.79
2.0-1.0	10.40	10.01	9.91	9.70	10.81	10.02	10.46
1.0-0.5	23.96	24.85	23.64	24.01	25.18	24.99	23.83
0.5-0.25	26.49	23.56	25.02	23.57	25.84	24.20	22.91
<0.25	62.91	60.14	59.64	58.20	63.61	59.92	58.82

ตารางที่ 11 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดิน (Degree of aggregation, DA) ของดินหลังปลูกต้นกล้วยตั้งในสภาพโรงเรือน พบว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์มีผลทำให้โครงสร้างของดินมีการเปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้น โดยที่ ตำรับการทดลองที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดินมากที่สุดเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองอื่น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Harahap และ Gofar (2018) ซึ่งศึกษาเชื้อจุลินทรีย์บริเวณรากของต้นยาง และคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการสร้างสารเอ็กโซโพลิแซ็คคาไรด์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินทรายซึ่งเป็นดินที่มีจำนวนเม็ดดินขนาดใหญ่มากกว่าเม็ดดินขนาดเล็กมากถึง 50 เปอร์เซ็นต์ สมบัติดังกล่าวส่งผลให้ดินทรายกักเก็บน้ำและแร่ธาตุอาหารน้อย พบว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถปรับปรุงโครงสร้างของเม็ดดินให้มีเสถียรภาพของเม็ดดินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างของดินมีแนวโน้มที่ดีขึ้น

ตารางที่ 11 เปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดิน หลังการทดลองการปลูกวางตั้งในสภาพโรงเรือน`

ตัวรับการทดลอง	เปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดิน (DA)
ดินก่อนการทดลอง	10.01
ดินหลังการทดลอง	
ตัวรับที่ 1 ชุดควบคุม	10.85
ตัวรับที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	10.62
ตัวรับที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	7.51
ตัวรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง	14.45
ตัวรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง	9.88
ตัวรับที่ 6 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง	8.76

หมายเหตุ : เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

9.3 ปริมาณแบคทีเรียสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในดินหลังทดลอง

จากการนับจำนวนปริมาณจุลินทรีย์หลังจากปลูกต้นกวาดตั้งในสภาพโรงเรือน พบว่าในทุกตัวรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติในทุกตัวรับการทดลอง โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 5.30-7.02 log no./กรัม ถึงแม้ว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์จะไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติแต่ก็ยังพบว่าการใส่เชื้อจุลินทรีย์ มีแนวโน้มทำให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในดิน มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่า ตัวรับการทดลองที่ 3 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณเชื้อมากที่สุด คือ 7.02 log no./กรัม

ตารางที่ 12 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในดินหลังการทดลองปลูก
ต้นกวาดั่งในสภาพโรงเรือน

หน่วย : log no./กรัม

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแบคทีเรียสร้าง สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ใน ดิน
ตำรับที่ 1 ชุดควบคุม	5.81
ตำรับที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	5.47
ตำรับที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	7.02
ตำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง	5.30
ตำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง	5.47
ตำรับที่ 6 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง	5.30
F-test	ns
CV (%)	788.87

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ LSD
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

หมายเหตุ : เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

9.4 การเจริญเติบโตของต้นกวาดั่งในสภาพโรงเรือน

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกวาดั่งใน
สภาพโรงเรือน พบว่า

1) ความสูงของต้น

จากผลการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของความสูงของต้น
เปรียบเทียบระหว่าง 30 วันหลังเพาะเมล็ด และ 37 วันหลังเพาะเมล็ด

ต้นกวาดั่งอายุ 30 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า มีความสูงเฉลี่ยระหว่าง 22.50-24.60
เซนติเมตร แม้ว่าในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติแต่ก็ยังสามารถพบได้ว่า
ตำรับที่ 3 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่
มีความสูงต้นมากที่สุด คือ 24.60 เซนติเมตร รองลงมาคือ ตำรับที่ 6 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายใน
สารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง ซึ่งมีความสูงเท่ากับ 24.12 เซนติเมตร

ในขณะที่ ดำรับที่ 5 การใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง มีความสูงต้นน้อยที่สุด คือ 22.50 เซนติเมตร

ต้นกวางตั้งอายุ 37 วัน พบว่า มีความสูงเฉลี่ยระหว่าง 24.00-25.66 เซนติเมตร โดย ดำรับที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์) มีความสูงมากที่สุด คือ 25.66 เซนติเมตร รองลงมาคือ ดำรับที่ 6 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง มีความสูง คือ 25.00 เซนติเมตร และ ดำรับที่ 2 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีความสูงน้อยที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของความสูงของต้นกวางตั้ง พบว่า ดำรับที่ 5 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของความสูงมากที่สุด คือ 10 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ซึ่งศึกษาสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยพบว่าการใช้จุลินทรีย์ที่สร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มีผลต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกวางตั้งในสภาพดินทราย เนื่องจากสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพและเคมีของดินทรายมีศักยภาพทางการเกษตรต่ำมาก ดังนั้น การใช้จุลินทรีย์ที่สร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จะช่วยเพิ่มค่าอัตราของน้ำหนักรากดินที่ยึดติดกับราก เนื่องจากสมบัติการสร้างเมือกของจุลินทรีย์ทำให้เมื่อดินมีการจับตัวกันมากขึ้น มีความชื้นในหน้าดินสูงขึ้น ทำให้อาหารของต้นกวางตั้งสามารถหาอาหารและยึดติดหน้าดินได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาของ Forster พบว่าจุลินทรีย์ *Pseudomonas* และ *Bacillus* มีส่วนสำคัญในการเพิ่มเสถียรภาพของดินในพื้นที่ดินทราย (Forster, 1979)

ตารางที่ 13 ความสูงของต้นกวางตั้งอายุ 30 และ 37 วัน ที่ปลูกในสภาพโรงเรือน

ดำรับการทดลอง	ความสูงของต้นกวางตั้ง (เซนติเมตร)		เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของความสูงต้น
	30 วัน	37 วัน	
ดำรับที่ 1 ชุดควบคุม	23.75	25.66	8
ดำรับที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	23.62	24.00	2
ดำรับที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	24.60	25.00	2
ดำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง	22.75	24.25	7

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ตำรับการทดลอง	ความสูงของต้นกวางตุ้ง (เซนติเมตร)		เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของความสูงต้น
	30 วัน	37 วัน	
ตำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง	22.50	24.75	10
ตำรับที่ 6 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง	24.12	25.00	4
CV (%)	6.844237	10.13388	
F-test	ns	ns	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดย

วิธีการ LSD ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

2) จำนวนใบ

จากการทดลอง พบว่า จำนวนใบของทั้ง 2 วัน คือ 30 วัน และ 37 วัน หลังเพาะเมล็ด ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างตำรับการทดลอง

ต้นกวางตุ้งอายุ 30 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า มีจำนวนใบเฉลี่ยระหว่าง 6-7 ใบ และแม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลอง แต่พบว่า ตำรับที่ 2 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และ ตำรับที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีจำนวนใบมากที่สุด คือ 7 ใบ

ต้นกวางตุ้งอายุ 37 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า มีจำนวนใบเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7-8 ใบ โดยที่ ตำรับที่ 2 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตำรับที่ 3 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และ ตำรับที่ 4 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง มีจำนวนใบมากที่สุด คือ 8 ใบ

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนใบของทั้งที่ 30 และ 37 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า ตำรับที่ 4 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบมากที่สุด โดยมีการเพิ่มขึ้นมากถึง 33 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองมีความสอดคล้องกับการทดลองของ สุพรรณษา (2550) ซึ่งเปรียบเทียบการเติมสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดจากสาหร่ายและการเติมชีวมวลสดจากสาหร่าย ต่อการปรับปรุงโครงสร้างของดิน โดยผลการทดลองพบว่า การเติมสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดจากสาหร่ายสามารถปรับปรุงโครงสร้างของดินได้ดีกว่าการเติมสารชีวมวล โดยการเติมสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดจากสาหร่ายนั้น ช่วยส่งเสริมกิจกรรมจุลินทรีย์ (microbial actives) เพิ่มความพรุนรวมของดิน (total porosity) เม็ดดินมีความเสถียรต่อแรงกระทำของน้ำ (water-stable aggregate) และการลดลงของความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) (สุพรรณษา, 2550) ทำให้ดินมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 14 จำนวนใบของต้นกวาดงตั้งที่อายุ 30 และ 37 วัน ที่ปลูกในสภาพโรงเรือน

ตำรับการทดลอง	จำนวน (ใบ)		เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มขึ้น ของจำนวนใบ
	30 วัน	37 วัน	
ตำรับที่ 1 ชุดควบคุม	6	7	17
ตำรับที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	7	8	14
ตำรับที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	7	8	14
ตำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง	6	8	33
ตำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง	6	7	17
ตำรับที่ 6 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง	6	7	17
CV (%)	11.93 065	11.34788	
F-test	ns	ns	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ

LSD ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

3) ขนาดของลำต้น

จากการทดลอง พบว่า ขนาดของลำต้นของต้นกวาดงตั้งเฉพาะที่ 30 วันหลังเพาะเมล็ด มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งแตกต่างจากที่ 37 วันหลังเพาะเมล็ด ที่ไม่พบมีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละตำรับการทดลอง

ต้นกวาดงตั้งอายุ 30 วันหลังเพาะเมล็ด ต้นกวาดงตั้งมีขนาดของลำต้นเฉลี่ยระหว่าง 13.80-18.62 มิลลิเมตร โดยที่ตำรับที่ 2 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีขนาดของลำต้นมากที่สุด คือ 18.62 มิลลิเมตร รองลงมาคือ ตำรับที่ 4 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง มีขนาดของลำต้นเท่ากับ 18.47 มิลลิเมตร ในขณะที่ตำรับที่ 5 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง มีขนาดของลำต้นน้อยที่สุด คือ 13.8 มิลลิเมตร

ต้นกวาดงตั้งอายุ 37 วัน พบว่า มีขนาดของลำต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 19.36-23.82 มิลลิเมตร โดยที่ ตำรับที่ 2 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีขนาดของลำต้นมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23.82 มิลลิเมตร รองลงมาคือ ตำรับที่ 3 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีขนาดของลำต้นเท่ากับ 22.31 มิลลิเมตร ในขณะที่ ตำรับที่ 1 ชุดควบคุม ซึ่งไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์มีขนาดของลำต้นน้อยที่สุด คือ 19.36 มิลลิเมตร

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของขนาดของลำต้น พบว่า ตำรับที่ 5 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองอื่น ๆ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง 55 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองที่ศึกษาสารโพลีแซคคาไรด์ของ *Pseudomonas fluorescens* ซึ่งส่งเสริมการเจริญเติบโตของยางชำถุงภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง ยางชำถุงพันธุ์ RRIM600 ที่ได้รับการพ่นใบด้วยสารโพลีแซคคาไรด์ของ *Pseudomonas fluorescens* SP007s ทำให้มีความสูงต้น ความยาวราก และเส้นรอบวงลำต้นเพิ่มขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น สารโพลีแซคคาไรด์ยังส่งเสริมให้ยางมีจำนวนฉัตรเพิ่มขึ้น (พันศักดิ์และคณะ, 2558)

ตารางที่ 15 ขนาดของลำต้นของต้นกวาดงัดที่อายุ 30 และ 37 วัน ที่ปลูกในสภาพโรงเรือน

ตำรับการทดลอง	ขนาดของลำต้น (มิลลิเมตร)		
	30 วัน	37 วัน	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของลำต้น
ตำรับที่ 1 ชุดควบคุม	14.78	19.36	31
ตำรับที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	18.62	23.82	28
ตำรับที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	17.21	22.31	30
ตำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง	18.47	20.58	11
ตำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง	13.80	21.37	55
ตำรับที่ 6 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง	17.89	21.46	20
CV (%)	8.018445	10.58302	
F-test	**	ns	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ

LSD ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

4) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกวาดงัด

ตารางที่ 16 แสดงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกวาดงัด จากผลการทดลอง พบว่าทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละตำรับการทดลอง แม้ว่าผลการทดลองจะไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ แต่การใส่เชื้อจุลินทรีย์มีแนวโน้มที่สามารถเพิ่มทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของกวาดงัดได้ โดยในตำรับที่ 4 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเท่ากับ 34.73 และ 3.62 กรัมต่อต้น ในขณะที่ ตำรับที่ 1 ชุดควบคุมซึ่งไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 29.72 และ 2.49 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการเกิดเสถียรภาพของเม็ดดิน โดยพบว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์ *Halomonas variabilis*

HT1 และ *Planococcus rifietoensis* RT4 ลงในถั่วลูกไก่ (*Cicer arietinum* var. CM-98) เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถปกป้องต้นพืชจากสภาวะความเครียดเนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ (Qurashi and Sabri, 2012)

ตารางที่ 16 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกวางตุ้งอายุ 37 วัน ที่ปลูกในสภาพโรงเรือน

ตัวรับการทดลอง	หน่วย : กรัม	
	น้ำหนักสด ของต้น	น้ำหนักแห้ง ของต้น
ตัวรับที่ 1 ชุดควบคุม	29.72	2.49
ตัวรับที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	30.92	3.49
ตัวรับที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	28.27	3.17
ตัวรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง	34.73	3.62
ตัวรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง	30.69	3.57
ตัวรับที่ 6 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง	30.53	2.36
CV (%)	9.526935	19.1687
F-test	0.159	0.0595

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ
LSD ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

5) น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวราก

จากผลการทดลอง พบว่า ทั้งน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวของรากของต้นกวางตุ้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในทุกตัวรับการทดลอง

แม้ว่าผลการทดลองจะพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่ยังพบว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์มีแนวโน้มที่สามารถเพิ่มน้ำหนักของรากและความยาวของรากได้ โดยตัวรับที่ 6 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง มีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวของราก เท่ากับ 8.66 กรัม 0.67 กรัม และ 45 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ ตัวรับที่ 1 ชุดควบคุมซึ่งไม่ได้ใช้เชื้อจุลินทรีย์ พบว่า มีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวของราก เท่ากับ 5.02 กรัม 0.51 กรัม และ 36.66 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากการใช้เชื้อจุลินทรีย์ จะช่วยในเรื่องการปรับปรุงโครงสร้างของดินแล้วยังพบว่าในเชื้อบางชนิดสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นพืชได้ จากการศึกษาของ Noreen และคณะ (2012) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อ *Pseudomonas* spp. ต่อการแสดงออกของ Auxin ในถั่วดำ (*Vigna mungo* (L.)) โดยผลการทดลอง พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าว สามารถเพิ่มการสร้างสาร Auxin ของพืชได้ โดยสารดังกล่าวส่งเสริมการ

เจริญเติบโตของต้นพืช (Noreen *et al.*, 2012) โดย Auxin มีสมบัติส่งเสริมในการเจริญเติบโตของพืชทางส่วนของลำต้นและส่วนของราก (Khadr *et al.*, 2020)

ตารางที่ 17 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความยาวรากของต้นกวาดำตั้งอายุ 37 วัน ที่ปลูกในสภาพโรงเรือน

ดำรับการทดลอง	น้ำหนักสด ของราก (กรัม)	น้ำหนัก แห้งของราก (กรัม)	ความยาว ราก (เซนติเมตร)
ดำรับที่ 1 ชุดควบคุม	5.02	0.51	36.66
ดำรับที่ 2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	5.60	0.63	35.00
ดำรับที่ 3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	5.45	0.64	43.66
ดำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง	6.68	0.70	41.75
ดำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 2 ครั้ง	6.31	0.91	39.00
ดำรับที่ 6 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 3 ครั้ง	8.66	0.67	45.00
CV (%)	26.84345	40.04752	11.27415
F-test	ns	ns	ns

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดย

วิธีการ LSD ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

10. การเจริญเติบโตของต้นกวาดำตั้งในสภาพแปลงทดลอง

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลิแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกวาดำตั้งในสภาพแปลงทดลอง ให้ผลการทดลองดังนี้

10.1 สมบัติทางเคมีของดินปลูก

จากการสุ่มตัวอย่างดินในแปลงทดลองที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่า

10.1.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูก

จากการสุ่มตัวอย่างดินก่อนปลูกเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่า ค่าพีเอช เท่ากับ 6.5 อยู่ในระดับกรดเล็กน้อย ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ จัดอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน มีค่าเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับสูงมาก และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินพบว่ามีค่าเท่ากับ 27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับที่ต่ำมาก

10.1.2 สมบัติทางเคมีหลังปลูก

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินหลังปลูกภายในแปลงต้นกวาวตั่งที่ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีในด้านต่าง ๆ พบว่า

1) ความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีค่าอยู่ระหว่าง 5.9-6.8 จัดอยู่ในระดับกรดเล็กน้อยถึงกลาง และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการทดลอง เนื่องจากการใส่เชื้อจุลินทรีย์ไม่มีผลต่อการเพิ่มความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

2) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 1.3-2.8 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการทดลอง โดยดำรับที่ 6 การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุด ทั้งนี้เชื้อที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ไม่ได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นในดิน แต่เป็นผลจากการใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก สอดคล้องกับการทดลองของอรประภา (2560) ที่พบว่าการให้ปุ๋ยมูลไก่ที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินหลังปลูกของทุกรอบการเก็บเกี่ยวจึงจួយมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับการให้ปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณปุ๋ยหมักลงไปในดินในจำนวนที่มากพอสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้ โดยการเพิ่มอินทรีย์วัตถุนี้นำผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

3) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า มีปริมาณอยู่ระหว่าง 342-433 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถึงแม้ว่าปริมาณดังกล่าวจะอยู่ในระดับสูง แต่ก็มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์เพื่อสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

4) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 23-54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก และมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก โดยดำรับที่ 4 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและ 1 เปอร์เซ็นต์ รำข้าว อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด เป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยหมักและรำข้าว ซึ่งโพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีอยู่ในวัสดุอินทรีย์และเป็นอาหารสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูกของต้นกล้วยตุงในสภาพแปลงทดลอง

ดำรับการทดลอง	pH (1:1)	OM (%)	P (มก./กก.)	K (มก./กก.)
ดินก่อนทดลอง	6.50	1.00	500	27
ดินหลังการทดลอง				
ดำรับที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์)	6.80	2.00	430	30
ดำรับที่ 2 ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน	6.40	2.20	368	27
ดำรับที่ 3 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่	6.50	2.00	412	40
ดำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	6.40	1.80	410	54
ดำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 1 ลิตรต่อไร่	6.60	2.20	403	23
ดำรับที่ 6 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยาย ในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	6.50	2.80	373	39
ดำรับที่ 7 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยาย ในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่	5.90	1.80	400	40
ดำรับที่ 8 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยาย ในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่ง ของค่าวิเคราะห์ดิน	6.10	1.70	433	44
ดำรับที่ 9 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยาย ในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่ง ของค่าวิเคราะห์ดิน	6.10	1.30	342	41

หมายเหตุ : เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

10.2 สมบัติทางกายภาพของดิน

จากตารางที่ 19 การสุ่มตัวอย่างดินและนำไปวิเคราะห์เสถียรภาพของดินในแปลงทดลอง การปลูกต้นกล้วยตุง พบว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์ลงในดินมีแนวโน้มที่สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินได้ โดยที่ขนาดเม็ดดินที่ขนาด 1-2 มิลลิเมตร พบว่า ดำรับที่ 5 การใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ดำรับที่ 7 การใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ดำรับที่ 8 การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน และดำรับที่ 9 การใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยเฉพาะดำรับการทดลองที่ 5 ซึ่งสามารถเปลี่ยนระดับเสถียรภาพของเม็ดดินจากระดับต่ำมากในชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 9.81 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับต่ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ

13.29 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Caesar-TonThat *et al* (2007) ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการปรับปรุงคุณภาพของดิน โดยทำการแยกเชื้อจากดินที่มีการทำการเกษตรมาเป็นเวลานาน และทดสอบเชื้อดังกล่าวในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ผลการทดลองพบว่า เชื้อ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Stenotrophomonas*, *Sphingobacterium*, *Bacillus* และ *Pseudomonas* species สามารถทำให้เสถียรภาพของเม็ดดินและการเกิดของเม็ดดินมีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นมานั้น มีสมบัติในการเชื่อมเม็ดดินเข้าด้วยกัน (Caesar-TonThat *et al.*, 2007)

ตารางที่ 19 เปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดิน หลังการทดลองการปลูกต้นกวางตุ้งในสภาพแปลงทดลอง
หน่วย : % โดยมวล

ขนาดเม็ดดิน (มิลลิเมตร)	ดินก่อน ปลูก	ตำรับ ที่ 1	ตำรับ ที่ 2	ตำรับ ที่ 3	ตำรับ ที่ 4	ตำรับ ที่ 5	ตำรับ ที่ 6	ตำรับ ที่ 7	ตำรับ ที่ 8	ตำรับ ที่ 9
8.0-5.0	0	0.7	0	0.39	0	0.11	0.42	0	0	0
5.0-3.15	0.62	0	0.72	0.32	0.19	1.73	0.28	0.14	0.26	0.07
3.15-2.0	1.48	0.69	1.62	0.75	1	5.28	1.21	1.47	0.94	1.02
2.0-1.0	9.44	9.81	13.06	9.33	8.73	13.29	9.54	10.14	10.67	10.85
1.0-0.5	34.27	28.3	34.24	30.58	28.05	30.7	27.7	30.61	26.92	28
0.5-0.25	23.32	24.66	20.29	24.54	22.93	21.19	24.29	24.84	24.19	24.35
<0.25	69.13	64.17	69.92	65.9	60.9	72.29	63.45	67.19	62.99	64.29

ตารางที่ 20 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดินหลังปลูกกวางตุ้งในสภาพแปลงทดลอง ผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดินมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 13.50-35.99 เปอร์เซ็นต์ และการใส่เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มเข้าไปในดินสามารถทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดินมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นได้ โดยที่ตำรับที่ 5 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ มีเปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดินมากที่สุด เท่ากับ 35.99 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของงานวิจัยก่อนหน้านี้ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์บริเวณโซนรากของต้นทานตะวัน ผลการทดลอง พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวมีผลทำให้ดินมีเปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดินเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ที่เชื้อจุลินทรีย์สร้างขึ้นมา (Alami *et al.*, 2000)

ตารางที่ 20 เปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดินหลังปลุกกว้างตั้งในสภาพแปลงทดลอง

ดำรับการทดลอง	DA (%)
ดินก่อนการทดลอง	13.97
ดินหลังการทดลอง	
ดำรับที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์)	13.84
ดำรับที่ 2 ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน	30.96
ดำรับที่ 3 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ต้นต่อไร่	24.21
ดำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	14.68
ดำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 1 ลิตรต่อไร่	35.99
ดำรับที่ 6 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ต้นต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	13.50
ดำรับที่ 7 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ต้นต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่	28.74
ดำรับที่ 8 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ต้นต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	17.66
ดำรับที่ 9 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ต้นต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	19.69

หมายเหตุ : เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

10.3 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในดินหลังทดลอง

ผลการนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ภายในแปลงหลังการปลุกกว้างตั้ง พบว่า ในทุกดำรับ การทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในทุกดำรับการทดลอง แม้ว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์จะไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการใส่เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มใส่ดิน โดยดำรับที่ 8 การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ต้นต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยเคมี ครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุด เท่ากับ 6.06 log no./กรัม

ตารางที่ 21 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในดินหลังทดลอง

หน่วย : log no./กรัม

ดำรับการทดลอง	ปริมาณแบคทีเรียสร้าง เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในดิน
ดินก่อนปลูก	5.95
ดำรับที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์)	5.84
ดำรับที่ 2 ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน	6.27
ดำรับที่ 3 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ต้นต่อไร่	5.90

ตารางที่ 21 (ต่อ)

หน่วย : log no./กรัม

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแบคทีเรียสร้าง เอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในดิน
ตำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	5.90
ตำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 1 ลิตรต่อไร่	5.65
ตำรับที่ 6 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	6.28 [*]
ตำรับที่ 7 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายใน สารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่	5.69
ตำรับที่ 8 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายใน ปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	6.06
ตำรับที่ 9 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายใน สารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	5.95
F-test	ns
CV(%)	69.78

หมายเหตุ : เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

10.4 การเจริญเติบโตของต้นกวาดั่งในสภาพแปลงทดลอง

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกวาดั่งในสภาพแปลงทดลองให้ผลการทดลอง ดังนี้

1) ความสูงของต้น

จากผลการทดลอง พบว่า ความสูงต้นกวาดั่งอายุ 31 และ 39 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละตำรับการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่เชื้อจุลินทรีย์มีแนวโน้มทำให้ความสูงของต้นกวาดั่งเพิ่มมากขึ้นโดยต้นกวาดั่งอายุ 31 วัน มีความสูงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 14.33 - 20.88 เซนติเมตร ตำรับที่ 8 การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีความสูงของต้นกวาดั่งมากที่สุด คือ 20.9 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ กับตำรับที่ 6 การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีความสูงเท่ากับ 20.88 เซนติเมตร รองลงมาคือ ตำรับที่ 5 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ มีความสูง เท่ากับ 18.75 เซนติเมตร ในขณะที่ตำรับที่ 1 ชุดควบคุมซึ่งไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ มีความสูง เท่ากับ 16.33 เซนติเมตร เป็นไปในทางเดียวกันกับต้นกวาดั่งอายุ 39 วัน ซึ่งมีความสูงเฉลี่ยระหว่าง 24.41 - 32.72 เซนติเมตร โดยตำรับที่ 6 การใช้ปุ๋ยหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีความสูงต้นสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 32.72 เซนติเมตร ซึ่งไม่มี

ความแตกต่างกับ ตำรับที่ 8 การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งมีความสูงเท่ากับ 32.31 เซนติเมตร ในขณะที่ ตำรับที่ 1 ชุดควบคุมซึ่งไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ มีความสูงเพียง 24.41 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของความสูงต้น พบว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความสูงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมโดยที่มีการเพิ่มขึ้นมากถึง 65 เปอร์เซ็นต์ ในตำรับการทดลองที่ 5 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ในขณะที่ชุดควบคุมความสูงเพิ่มขึ้นเพียง 49 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังกล่าว สอดคล้องกับการใช้สารโพลีแซคคาไรด์จากแบคทีเรียที่มีประโยชน์ *Pseudomonas fluorescens* ในสภาพแปลงนาของเกษตรกร พบว่า สารโพลีแซคคาไรด์ทุกความเข้มข้น มีประสิทธิภาพส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นข้าวอายุ 14 วัน ได้แก่ ความสูง ความยาวราก จำนวนราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง และส่งผลให้ต้นข้าวมีการแตกกอเพิ่มขึ้น ความรุนแรงโรคขอบใบแห้งลดลง จำนวนเมล็ดเสียลดลง จำนวนเมล็ดดีเพิ่มขึ้น และน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด เพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งชี้ได้ว่า สารโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดมาจาก *Pseudomonas fluorescens* มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นข้าว (พันศักดิ์, 2558)

ตารางที่ 22 ความสูงต้นของต้นกวางตุ้งที่อายุ 31 และ 39 วัน ปลูกในสภาพแปลงทดลอง

ตำรับการทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)		
	31 วัน	39 วัน	% การเพิ่มขึ้น ของความสูงต้น
ตำรับที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์)	16.33 c	24.41 c	49
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน	14.33 d	25.63 c	78
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่	14.45 d	25.40 c	75
ตำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	18.46 b	27.2 bc	47
ตำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 1 ลิตรต่อไร่	18.75 b	30.95 ab	65
ตำรับที่ 6 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	20.88 a	32.72 a	56
ตำรับที่ 7 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่	15.08 cd	24.50 c	62

ตารางที่ 22 (ต่อ)

ตำรับการทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)		
	31 วัน	39 วัน	% การเพิ่มขึ้น ของความสูงต้น
ตำรับที่ 8 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่ง ของค่าวิเคราะห์ดิน	20.90	32.31	54
ตำรับที่ 9 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่ง ของค่าวิเคราะห์ดิน	15.13	24.44	61
CV (%)	3.779	7.445	
F-test	***	*	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ
LSD ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
: เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

2) จำนวนใบ

จากการเก็บข้อมูลจำนวนใบของต้นกวาดำตั้งที่ 31 และ 39 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า ทั้ง 2 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ 31 วันหลังเพาะเมล็ด มีจำนวนใบระหว่าง 5-7 ใบ และที่ 39 วัน หลังเพาะเมล็ด มีจำนวนใบอยู่ระหว่าง 7-11 ใบ โดยที่ตำรับที่ 6 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับ เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีจำนวนใบมากที่สุด คือ 11 ใบ ในขณะที่ตำรับที่ 2 ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน มีจำนวนใบน้อยที่สุด คือ 7 ใบ เมื่อพิจารณา เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของจำนวนใบ พบว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ มีแนวโน้มที่สามารถเพิ่มจำนวนใบได้ โดยในตำรับที่ 4 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลาย กากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ตำรับที่ 6 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับ เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตำรับที่ 8 การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน และตำรับที่ 9 การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับ เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่ง ของค่าวิเคราะห์ดิน มีการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 51.53 เปอร์เซ็นต์ 54.78 เปอร์เซ็นต์ 46.74 เปอร์เซ็นต์ 38.07 เปอร์เซ็นต์ และ 59.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยตำรับที่ 1 ชุดควบคุมซึ่งไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนใบเพียง 38 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 23 จำนวนใบของต้นกวาดั่งที่อายุ 31 และ 39 วัน ที่ปลูกในสภาพแปลงทดลอง

ตำรับการทดลอง	จำนวน (ใบ)		
	31 วัน	39 วัน	% การเพิ่มขึ้น ของจำนวนใบ
ตำรับที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์)	6 cd	8 cd	38.00
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน	6 cd	7 d	28.17
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่	6 cd	9 bc	50.41
ตำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	5 e	8 cd	51.53
ตำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 1 ลิตรต่อไร่	6 b	10 ab	54.78
ตำรับที่ 6 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยาย ในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	7 a	11 a	46.74
ตำรับที่ 7 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยาย ในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่	6 cd	8 cd	35.26
ตำรับที่ 8 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยาย ในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่ง ของค่าวิเคราะห์ดิน	6 bc	9 cd	38.07
ตำรับที่ 9 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยาย ในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่ง ของค่าวิเคราะห์ดิน	6 de	9 bc	59.21
CV (%)	2.83	5.68	
F-test	***	**	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ

LSD ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

3) ขนาดของลำต้น

จากตารางที่ 24 พบว่า ขนาดของลำต้นอายุ 31 วันหลังเพาะเมล็ด และอายุ 39 วันหลังเพาะเมล็ด มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยอายุ 31 วันหลังเพาะเมล็ด ต้นกวางตุ้งมีขนาดลำต้นเฉลี่ยระหว่าง 11.22-18.18 มิลลิเมตร ในขณะที่ 39 วันหลังเพาะเมล็ด ต้นกวางตุ้งมีขนาดของลำต้นอยู่ระหว่าง 24.56-35.15 มิลลิเมตร ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกันกับจำนวนของใบ คือ การใช้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเพิ่มขนาดของลำต้นต้นกวางตุ้งได้ โดยที่อายุ 39 วัน พบว่าตำรับที่ 4 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตำรับที่ 5 การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ตำรับที่ 6 การใช้ปุ๋ยหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตำรับที่ 8 การใช้ปุ๋ยหมักอัตรา 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ตำรับที่ 9 การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีขนาดของลำต้นเท่ากับ 25.49 มิลลิเมตร 31.27 มิลลิเมตร 35.15 มิลลิเมตร 34.30 มิลลิเมตร และ 28.57 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ตำรับการทดลองในชุดควบคุมมีขนาดของลำต้นเพียง 24.93 มิลลิเมตร การเพิ่มขึ้นของขนาดลำต้น พบว่า การใช้เชื้อจุลินทรีย์มีผลทำให้ขนาดของลำต้นเพิ่มขึ้นมากที่สุดถึง 163.85 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ชุดควบคุมมีการเพิ่มขึ้นของลำต้นเพียง 87.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ohana (2018) พบว่า สารโพลีเมอร์นอกเซลล์ของจุลินทรีย์มีบทบาททางนิเวศวิทยาและผลกระทบต่อกระบวนการรวมตัวของดิน สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ เป็นพื้นฐานสำหรับชีวิตของจุลินทรีย์และเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเคมี การกักเก็บสารอาหารและป้องกันความเครียดจากสิ่งแวดล้อม เช่น ความเค็มและความแห้งแล้ง สารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ของจุลินทรีย์สามารถเพิ่มการรวมตัวของอนุภาคดินและเป็นประโยชน์ต่อพืชโดยรักษาความชื้นของสิ่งแวดล้อม เป็นแหล่งอาหารของพืช ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช (Ohana *et al.*, 2018)

ตารางที่ 24 ขนาดของลำต้นของต้นกวางตุ้งอายุ 31 และ 39 วัน ที่ปลูกในสภาพแปลงทดลอง

ตำรับการทดลอง	ขนาดของลำต้น (มิลลิเมตร)		% การเปลี่ยนแปลงของขนาดลำต้น
	31 วัน	39 วัน	
ตำรับที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์)	13.30 bc	24.93 d	87.44
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน	13.29 bc	27.51 cd	107.00
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่	14.89 b	34.25 ab	130.02
ตำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	11.22 c	25.49 cd	127.18
ตำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 1 ลิตรต่อไร่	14.80 b	31.27 abc	111.28

ตารางที่ 24 (ต่อ)

ตำรับการทดลอง	ขนาดของลำต้น (มิลลิเมตร)		% การเปลี่ยนแปลงของขนาดลำต้น
	31 วัน	39 วัน	
ตำรับที่ 6 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	18.18 a	35.15 a	93.34
ตำรับที่ 7 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่	12.33 bc	24.56 d	99.19
ตำรับที่ 8 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมักและรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	13.00 bc	34.30 ab	163.85
ตำรับที่ 9 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	15.14 b	28.57 bcd	88.71
CV (%)	8.77	8.49	
F-test	*	*	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ

LSD ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

4) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้น

ผลการทดลอง พบว่า น้ำหนักสดของต้นมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่น้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่น้ำหนักสดของต้นมีค่าอยู่ระหว่าง 37.37-102.91 กรัมต่อต้น โดยที่ตำรับที่ 6 การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีน้ำหนักสดมากที่สุดคือ 102.91 กรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกับตำรับที่ 2 การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน และ ตำรับที่ 8 การใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งมีน้ำหนักสดเท่ากับ 102.06 กรัม และ 95.06 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมมีน้ำหนักสดของลำต้นเท่ากับ 61.24 กรัมต่อต้น อีกทั้งยังพบว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายเชื้อแบบแห้งทำให้น้ำหนักสดของต้นเพิ่มมากกว่าการใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว แม้ว่าน้ำหนักแห้งของต้นจะไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผลการทดลองก็เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับน้ำหนักสดของต้นกล่าวคือ ตำรับที่ 6 การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีน้ำหนักแห้งมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ

กับในทุกตำรับการทดลอง คือ 6.74 กรัมต่อต้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้า ซึ่งพบว่า การใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในบริเวณของรากพืช สามารถปรับปรุงโครงสร้างของดินให้มีการจับตัวกันได้ดี อีกทั้งยังปกป้องและป้องกันรากพืชจากความเครียดต่าง ๆ ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้บริเวณรากพืช ให้สามารถอุ้มน้ำได้มาก (Alami *et al.*, 2000; Bezzate *et al.*, 2000; Sandhya *et al.*, 2009) นอกจากนี้ ยังพบอีกว่า *Pseudomonas* strains เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งสมบัติดังกล่าวจะช่วยให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต (Cipriano *et al.*, 2016)

ตารางที่ 25 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นกวาวตุ้งอายุ 31 และ 39 วัน ปลูกในสภาพแปลงทดลอง

หน่วย : กรัม

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักสดต้น	น้ำหนักแห้งต้น
ตำรับที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์)	61.24 bc	4.04
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน	102.06 a	3.67
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่	59.68 bc	4.62
ตำรับที่ 4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	56.06 c	3.54
ตำรับที่ 5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 1 ลิตรต่อไร่	80.86 ab	5.19
ตำรับที่ 6 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	102.91 a	6.74
ตำรับที่ 7 ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายใน สารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่	37.37 c	3.01
ตำรับที่ 8 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	95.06 a	3.75
ตำรับที่ 9 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1 ตันต่อไร่ + เชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายใน สารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	47.79 c	4.78
CV (%)	14.93	23.21
F-test	**	ns

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ

LSD ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

: เชื้อจุลินทรีย์ คือ เชื้อไอโซเลท EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05

สรุปผลการทดลอง

ดินทราย เป็นปัญหาที่พบได้ในหลายพื้นที่ของประเทศไทย เนื่องจากสมบัติของดินไม่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื้อดินมีอนุภาคของเม็ดทรายสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้เนื้อดินมีการยึดเกาะกันแบบหลวม ๆ การระบายน้ำและอากาศดีมาก แต่ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ โดยในปัจจุบันมีการศึกษาการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีสมบัติในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์มาช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน

ในการทดลองนี้ได้ทำการเก็บดินในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลเขาหินซ้อน อำเภอนมสามัคคี จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีสภาพพื้นที่เป็นดินทราย (ชุดดินมาบอบน) เพื่อนำมาคัดแยกเชื้อที่มีสมบัติในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ จากนั้นจึงนำเชื้อดังกล่าวมาทดสอบการเกิดเสถียรภาพของเม็ดดิน จำแนกเชื้อดังกล่าวด้วยลำดับนิวคลีโอไทด์ และนำเชื้อมาทดสอบประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกวาดำตั้งทั้งในสภาพโรงเรือนและในสภาพแปลงทดลอง

จากการวิจัยการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีสมบัติในการปรับปรุงสมบัติกายภาพของดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกวาดำตั้ง สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์โดยเก็บตัวอย่างดินจำนวน 100 จุดภายในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน บริเวณลุ่มน้ำโจนและอ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความชื้นสูงและคาดว่าจะพบกลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ สามารถคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีลักษณะแตกต่างกันได้ทั้งหมด 341 ไอโซเลท และสามารถแยกโคลนที่มีเมือกและเป็นเมือกเหนียวยึดเป็นสายยึดติดปลายลู่เมื่อยกขึ้นมาได้ทั้งหมด 10 ไอโซเลท จากนั้นคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีการแสดงออกของยีน *rpsL* ซึ่งเป็นยีนที่มีความเกี่ยวข้องกับการสร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ประสิทธิภาพในการสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ความสามารถในการเพิ่มเสถียรภาพของการเกิดเม็ดดิน และประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อ จนได้เชื้อจุลินทรีย์ทั้งสิ้น 2 ไอโซเลท ได้แก่ EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05 เมื่อจำแนกชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าเป็น *Pseudomonas* sp.

2. ในการเพิ่มเสถียรภาพของเม็ดดิน พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ EPS-NJ-1/02 และ EPS-NJ-2/05 สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินได้เท่ากับ 10.66 เปอร์เซ็นต์ และ 11.85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมซึ่งไม่มีการใส่เชื้อจุลินทรีย์มีเปอร์เซ็นต์เสถียรภาพของเม็ดดินเพียง 8.86 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 มีประสิทธิภาพในการสร้างเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งช่วยในการยึดจับอนุภาคของเม็ดดินให้ดียิ่งขึ้น

3. รูปแบบการขยายเชื้อจากเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 รูปแบบ คือ การขยายเชื้อแบบแห้ง และการขยายเชื้อแบบเหลว มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่แตกต่างกันเมื่อขยายเชื้อที่ 3 วัน และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยพบว่า มีปริมาณเชื้อไม่น้อยกว่า 10^{12} cfu/กรัม ในการขยายเชื้อแบบแห้ง และ 10^{12} cfu/มิลลิลิตร ในการขยายเชื้อแบบเหลว

4. เชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์นอกจากช่วยในการเพิ่มเสถียรภาพของเม็ดดินโดยตรงแล้ว ในทางอ้อมยังสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกวาดำตั้งได้อีกด้วย จากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตของต้นกวาดำตั้งในสภาพโรงเรือนและแปลงทดลอง พบว่า การใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบเหลวที่ขยายในสารละลายกากน้ำตาล 2 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 100 ลิตรต่อไร่ ฉีดพ่น 1 ครั้ง ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกวาดำตั้ง

ในสภาพโรงเรือนซึ่งสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ โดยมีน้ำหนักรวมผลผลิตมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับการทดลอง โดยมีน้ำหนักของผลผลิตเท่ากับ 34.73 กรัมต่อต้น ในสภาพแปลงทดลอง พบว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบแห้งที่ใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 2 ต้นต่อไร่ ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายในปุ๋ยหมัก และ รำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีน้ำหนักของผลผลิตมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับการทดลอง โดยที่มีน้ำหนักของผลผลิตกับ 102.91 กรัมต่อต้น และให้ผลไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีสมบัติทำให้เม็ดดินมีการจับตัวกันมากขึ้น ทำให้ความชื้นของหน้าดินมีมากขึ้น เพิ่มความชุ่มชื้นให้บริเวณรากพืช ให้สามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น (Alami *et al.*, 2000; Bezzate *et al.*, 2000; Sandhya *et al.*, 2009) ป้องกันสภาวะเครียดเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม จึงสามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ (Cipriano *et al.*, 2016)

ข้อเสนอแนะ

1. การนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.1 การศึกษาและใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ในท้องถิ่นซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม พัฒนากระบวนการเรียนรู้ของนักวิชาการ และเกิดการพัฒนาตามภูมิสังคม

1.2 องค์กรความรู้เรื่องจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตรและการปรับปรุงดิน ถ่ายทอดให้กับเกษตรกร นักเรียน นักศึกษา และผู้สนใจ

2. การประยุกต์พัฒนางานวิจัยในอนาคตเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาที่ดินอย่างยั่งยืน

2.1 ควรศึกษาการใช้เชื้อสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ในการปรับปรุงดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชกับพืชชนิดอื่นเพิ่มเติม

2.2 ควรศึกษาการใช้เชื้อสร้างสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ร่วมกับพืชปุ๋ยสดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจากการปรับปรุงดินร่วมกัน

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการฟื้นฟูพื้นที่ดินทรายเพื่อให้มีสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น

2. ทราบอัตราและวิธีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิตของพืช และสามารถนำองค์ความรู้ดังกล่าวถ่ายทอดให้แก่เกษตรกรที่ผลิตพืชแบบอินทรีย์ได้

3. เพิ่มทางเลือกในการปรับปรุงพื้นที่ดินทรายให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2551. **ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพกรมพัฒนาที่ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2556. **ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2558. **คู่มือการพัฒนาที่ดิน สำหรับหมอดินอาสาและเกษตรกร.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- _____. 2561. **การจัดการพื้นที่ดินทราย.** แหล่งที่มา : <http://worldsoilday.ddd.go.th/Data/Knowledge/SandySoil.pdf>
- _____. 2564. **การจัดการดินทรายและดินตื้น.** แหล่งที่มา: https://www.ddd.go.th/www/lek_web/web.jsp?id=18959, 25 มิถุนายน 2564.
- _____. ม.ป.ป. **การจัดการปัญหาดินทราย.** แหล่งที่มา https://www.ddd.go.th/Web_Soil/sandy.htm
- กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ปุ๋ยชีวภาพและผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ
- กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. ม.ป.ป. **การแจกกระจายพื้นที่ดิน.** กลุ่มวิจัยและพัฒนาการจัดการดินเสื่อมโทรม กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน.กรมพัฒนาที่ดิน. แหล่งที่มา: https://www.ddd.go.th/Web_Soil/sandy.htm
- กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2559. **รายงานการสำรวจดินและสภาพการใช้ที่ดินศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน.** กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ. เอกสารวิชาการ ฉบับ 02/1/2559 : 11-18.
- กัลยณัฐ์ ตฤาสมบัติ, พิมลรัตน์ เปรี๊ยะสุข และ จารุณศรี พุ่มเทียน. 2559. **การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ผลิตเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์จากเกสรดอกไม้น.** 306 - 311. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, สมุทรปราการ.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศรีสุทนต์ หนูพรม. 2558. **การผลิตผักอินทรีย์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** 23(6) (ฉบับพิเศษ): 955-969.
- จิระศักดิ์ น้อยสะปุ่น และ อาภิรักษ์ หกพันนา. 2562. **โรงเรือนความร้อนต่ำเพื่อการเกษตรอินทรีย์,** น. 669-677. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- นวลจันทร์ ชะบา, จันจิรา แสงสีเมือง, พนิดา ปรีเปรมโมทย์, และ วุฒิชัย จันทรมสมบัติ. 2559. **วิจัยคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโซโพลีแซคคาไรด์ เพื่อใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินเค็ม ดินกรด.** กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.
- เนตรดาว ปาลี. ม.ป.ป. **การประเมินบทบาทบางส่วนของธาตุอาหารหลักของพืชที่ปลูกในระบบปลอดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท).** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

- ปิยะศักดิ์ ชุ่มพฤษ. 2563. คู่มือดำเนินการเกี่ยวกับเชื้อบำรุงดินและการจัดการเกี่ยวกับเชื้อ. ห้องปฏิบัติการทรานเจนิกเทคโนโลยีในพืชและไบโอเซ็นเซอร์, ภาควิชาพฤกษศาสตร์, พนิตา เทียมชัยบุตร. 2551. การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับผลิตเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์โดย *Enterobacter cloacae* สายพันธุ์ EN02. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ
- พันศักดิ์ จิตสว่าง, วิลาวรรณ เชื้อบุญ และ ดุสิต อธิวัฒน์. 2558. สารพอลิแซ็กคาไรด์ของ *Pseudomonas fluorescens* ส่งเสริมการเจริญเติบโตของยางชำถุงภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง. Thai Journal of Science and Technology, 4 (2): 194-204.
- พริณัฐ ตั้งธรรม, สุจยา ฤทธิศร, ณัฐวดี ลาพรหมมา, และ อัจฉรา ไชยองค์การ. 2560. การคัดแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์กลุ่มแลคติกแอซิดแบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์จากอาหารหมักดองในประเทศไทย. Rajamangala University of Technology Thanyaburi Journal, 7(1): 1-8.
- มนตรี เรืองสิงห์, อนุสรณ์ วิเศษสิงห์ และ จินตนา เพชรหมื่นโชติ. 2550. การเก็บรักษาจุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์ชีวภาพ. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททั่วไปประจำปีงบประมาณ 2549. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ.
- ยงยุทธ โอสภสภา. 2561. สิ่งมีชีวิตและอินทรีย์วัตถุในดินกับโครงสร้างของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัตนารณ์ คำสุขดี และ จิรภัทร จันทมาลี. 2556. การคัดแยกและศึกษาแบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ จากพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันพืชฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์. การประชุมวิชาการชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สธ. “ทรัพยากรไทย : นำสิ่งดีงามสู่ทั่วโลก” ครั้งที่ 6: 368-376.
- วันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล และชนิดา เกิดชนะ. 2559. คู่มือการวิเคราะห์ดินทางกายภาพและการแปรผลเพื่อการสำรวจและจำแนกดิน. สำนักวิทยาศาสตร์ เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.
- ศตวรรษ ใจซื่อ. 2558. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีวภาพจากสารพอลิแซ็กคาไรด์ของเชื้อ *Pseudomonas fluorescens* เพื่อควบคุมโรครากและหัวเน่าและเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังอินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ศิริณี วงศ์กระจำ และบัญชา รัตน์ทุ. 2556. การจัดการดินทรายจัด เพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์.
- สมชาย ชดตระกูล และ อัญชลี จาละ. ม.ป.ป. การเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกวางตุ้งดอกบนวัสดุปลูกที่เติมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. Thai Journal of Science and Technology. 4: 236-243.
- สำนักงานเศรษฐกิจภาคที่ 6. 2562. การวิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจสินค้าเกษตร เพื่อเป็นทางเลือกปรับเปลี่ยนกิจกรรมการผลิตในพื้นที่ไม่เหมาะสมตามแผนที่ Agri-map จังหวัดฉะเชิงเทรา. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ชลบุรี. 83-86.
- สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2548. มหัศจรรย์พันธุ์ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ
- สุพรรณษา ชันธโสภ. 2550. การศึกษาสมบัติสารปรับโครงสร้างของดินจากสาหร่าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุมาลี สุวรรณบุตร. 2539. ทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพ EM ต่อการให้ผลผลิต และคุณภาพของมะเขือเทศ. ว. เกษตรศาสตร์ (วิทย.) ปีที่30 : 171-178.

- สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์. 2560. เสถียรภาพเม็ดดิน : การเกิด การพังทลาย และการประเมน. วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 48(1): 1-10.
- อรประภา เทพศิลาปะวิสุทธิ. 2560. การศึกษาเปรียบเทียบผลของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อ ความสามารถในการผลิตจิงจูฉ่าย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 25 (4) : 615-626.
- เอิบ เขียววีรณมย์. (2533). ดินของประเทศไทย ลักษณะ การกระจาย และการใช้. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Alami, Y., W. Achouak, C. Marol and T. Heulin. 2000. **Rhizosphere soil aggregation and plant growth promotion of sunflowers by an exopolysaccharide-producing Rhizobium sp. strain isolated from sunflower roots.** Applied and Environmental Microbiology 66(8): 3393-3398.
- Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., and Lipman, D. J. 1990. **Basic Local Alignment Search Tool.** Journal of Molecular Biology 215: 403-410.
- Amézqueta, E. 1999. **Soil aggregate stability: a review.** J. Sustainable Agric. 14: 83-151.
- Arthi, K., B. Appalaraju, and S. Parvathi. 2003. **Vancomycin sensitivity and KOH string test as an alternative to gram staining of bacteria.** Indian Journal of Medical Microbiology 21(2): 121-123.
- Aslanzadeh, J. 2006. **Biochemical Profile-Based Microbial Identification Systems.** In Y.-W. Tang and C. W. Stratton., eds. Advanced Techniques in Diagnostic Microbiology 84-116..
- Awad,N. M., A. S. Turkey, and M. Attia. 2012. **Ameliorate of Environmental Salt Stress on the Growth of Zea mays L. Plants By Exopolysaccharides Producing Bacteria.** Journal of Applied Sciences Research 8(4): 2033-2044.
- Bashan, Y., G. Holguin and L. E. de-Bashan 2004. **Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003).** Canadian Journal of Microbiology 50(8): 521-577.
- Bertol, I., E. L. Mello, J. C. Guadagnin, A. L. V. Zapparoli and M. R. Carrafa. 2003. **Nutrient losses by water erosion.** Scientia Agricola 60(3): 581-586.
- Bezzate, S., S. Aymerich, R. Chambert, S. Czarnes, O. Berge and T. Heulin. 2000. **Disruption of the Paenibacillus polymyxa levansucrase gene impairs its ability to aggregate soil in the wheat rhizosphere.** Environmental Microbiology 2: 333-342.
- Bohn, J.A. and J.N. BeMiller. 1995, **(1→3)-β-d-Glucans as biological response modifiers: a review of structure-functional activity relationships.** Carbohydrate Polymers 28(1): 3-14.
- Boonchai, R., J. Kaewsuk and G. Seo. 2015. **Effect of nutrient starvation on nutrient uptake and extracellular polymeric substance for microalgae cultivation and separation.** Desalination and Water Treatment. 55(2): 360-367.

- Bourgoin, F., A. Pluvinet, B. Gintz, B. Decaris, and G. Guedon. 1999. **Are horizontal transfers involved in the evolution of the *Streptococcus thermophilus* exopolysaccharide synthesis loci?** Gene. 233: 151-161.
- Bronick, C. J., and R. Lal. 2005. **Soil structure and management : a review.** Geoderma. 124(1): 3-22.
- Caesar-TonThat, T., A. Caesar, J. askin, U. Sainju, and W. Busscher. 2007. **Taxonomic diversity of predominant culturable bacteria associated with microaggregates from two different agroecosystems and their ability to aggregate soil in vitro.** Applied soil ecology 36(1): 10-21.
- Cantarel B. L., P. M. Coutinho, C. Rancurel, T. Bernard, V. Lombard and B. Henrissat 2009. **The Carbohydrate-Active EnZymes database (CAZy): an expert resource for Glycogenomics.** Nucleic Acids Research 37: 233–238.
- Cheng, C., W. Shang-Guan, L. He and X. Sheng. 2020. **Effect of Exopolysaccharide-Producing Bacteria on Water-Stable Macro Aggregate Formation in Soil.** Geomicrobiology Journal 37(8): 738-745.
- Chenu C. 1995. **“Extracellular polysaccharides: an interface between microorganisms and soil constituents,”** in **Environmental Impact of Soil Component Interactions.** Natural and Anthropogenic Organics, eds Huang P. M., Berthelin J., Bollag J. M., McGill W. B., Page A. L. Boca Raton, FL: CRC Lewis Publishers.
- Chong B. F., L. M. Blank, R. McLaughlin and L. K. Nielsen. 2005. **Microbial hyaluronic acid production.** Applied Microbiology and Biotechnology. 66: 341–351.
- Cipriano, M. A., M. Lupatini, L. Lopes-Santos, M. J. da Silva, L.F. Roesch, S. A. Destefano, S.S. Freitas and E.E. Kuramae. 2016. **Lettuce and rhizosphere microbiome responses to growth promoting *Pseudomonas* species under field conditions.** FEMS microbiology ecology 92: 1-13.
- Clarridge, J. E., 3rd. 2004. **Impact of 16S rRNA gene sequence analysis for identification of bacteria on clinical microbiology and infectious diseases.** Clinical Microbiology Reviews. 17(4): 840-862.
- Cuthbertson L., I.L. Mainprize and J.H. Naismith. 2009. **Pivotal roles of the outer membrane polysaccharide export and polysaccharide copolymerase protein families in export of extracellular polysaccharides in Gram-negative bacteria.** Microbiology and Molecular Biology Reviews 73:155–177.
- Dexter, A.R. 1988. **Advances in characterization of soil structure.** Soil and Tillage Res. 11: 199–238.
- Dinel, H., P. Levesque, P. Jambu and D. Righi. 1992. **Microbial activity and long-chain aliphatics in the formation of stable soil aggregates.** Soil Science Society of America Journal, 56(5), 1455-1463.

- Dudman, W.F. 1977. **Role of surface polysaccharides in natural environments**, pp. 357-3414. In 1 W. Sutherland, ed. *Surface Carbohydrates of the Prokaryotic Cell*. Academic Press, New York.
- Elisashvili, V., E. Kachlishvili and S. Wasser. 2009. **Carbon and nitrogen source effects on basidiomycetes exopolysaccharide production**. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 45(5): 531-535.
- Flemming H.-C., j. Wingender, C. Mayer, V. Korstgens and W. Borchard. 2000. **“Cohesiveness in biofilm matrix polymers,”** in *Symposium of the Society for General Microbiology 59*, eds Allison D., Gilbert P. (Cambridge: Cambridge University Press;), 87–105.
- Forster, S. M. 1979. **Microbial aggregation of sand in an embryo dune system**. *Soil Biology and Biochemistry*. 11(5): 537-543.
- Francois, Z., N. Ahmed, M. Félicité and M. El Soda. 2004. **Effect of ropy and capsular exopolysaccharides producing strain of Lactobacillus plantarum 162RM on characteristics and functionality of fermented milk and soft Kareish type cheese**. *African Journal of Biotechnology*. 3 (10): 512-518.
- Fukuda, M., H. Koga, H. Ohno, B. Yang, Y. Hirakata, S. Maesaki, K. Tomono, T. Tashiro, S. Kohno. 1999. **Relationship between genetic alteration of the rpsL gene and streptomycin susceptibility of Mycobacterium tuberculosis in Japan**. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 43(2): 281-284.
- Fusconi, R., and M.J.L. Godinho. 2002. **Screening for exopolysaccharide-producing bacteria from sub-tropical polluted groundwater**. *Brazilian Journal of Biology* 62: 363-369.
- Griffin, A. M., V. J. Morris and M. J. Gasson. 1996a. **The cpsABCDE genes involved in polysaccharide production in Streptococcus salivarius spp. thermophilus strain NCFB 2393**. *Gene* 183: 23–27.
- Griffin, A. M., V. Morris J. and, M. Gasson. J. 1996b. **Identification, cloning and sequencing the aceA gene involved in acetan biosynthesis in Acetobacter xylinum**. *FEMS microbiology letters*. 137: 115-121.
- Grizzle, W.E., J. Fredenburgh, R.B. Myers. 2007. **Fixation of tissues**. In: **Bancroft, J.; Gamble, M., editors**. *Theory and Practice of Histological Techniques*. 6th ed.. Edinburgh, UK: Churchill Livingstone. 53-74.
- Hafsa Naseem and Asghari Bano. 2014. **Role of plant growth-promoting rhizobacteria and their exopolysaccharide in drought tolerance of maize**. Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Quaid-i-Azam University, Islamabad, Pakistan.

- Harahap, N., D. Santosa, and, N. Gofar. 2018. **The potential of exopolysaccharide-producing bacteria from rhizosphere of rubber plants for improving soil aggregate.** Journal of Degraded and Mining Lands Management. 5: 1275-1281.
- Hazelton, P.A. and B.W. Murphy. 2007 **Interpreting Soil Test Results.** CSIRO Publishing, Australia.
- Holthusen, D., S. Peth and R. Horn. 2010. **Impact of potassium concentration and matric potential on soil stability derived from rheological parameters.** Soil Tillage Research. 111: 75–85.
- Hood, R.C.. 2001. **The effect of soil temperature and moisture on organic matter decomposition and plant growth.** Isotopes in Environmental and Health Studies, 37: 25-41.
- Hwang, H., S. Kim, C. Xu, J. Choi and J. Yun. 2004. **Morphological and rheological properties of the three different species of basidiomycetes Phellinus in submerged cultures.** Journal of applied microbiology. 96(6):1296-1305.
- Islam STand JS Lam. 2014 **Synthesis of bacterial polysaccharides via the Wzx/Wzy-dependent pathway.** Canadian Journal Microbiology. 60:697–716
- Jain, R., S. Raghukumar, R. Tharanathan and N. Bhosle. 2005. **Extracellular polysaccharide production by thraustochytrid protists.** Marine biotechnology. 7: 184-192.
- Jansson, Per-erik, L. Kenne and B. Lindberg. 1975. **Structure of the extracellular polysaccharide from xanthomonas campestris.** Carbohydrate Research. 45(1): 275-282.
- Kay, B.D. and A.R. Dexter. 1990. **Influence of aggregate diameter, surface area and antecedent Water content on the dispersibility of clay.** Canadian Journal of Soil Science. 70: 655–671.
- Khadr, A., , G.-L. Wang, Y.-H. Wang, R.-R. Zhang, X.-R. Wang, Z.-S. Xu, Y.-S. Tian, and A.-S. Xiong. 2020. **Effects of auxin (indole-3 - butyric acid) on growth characteristics, lignification, and expression profiles of genes involved in lignin biosynthesis in carrot taproot.** Peer Journal. 8: 1-17.
- Kimmel, S. A. and R. F. Roberts. 1998. **Development of a growth medium suitable for exopolysaccharide production by *Lactobacillus delbrueckii* ssp. bulgaricus RR.** Internationnal Journal of Food Microbiology. 40(1-2): 87-92.
- Kumar, A. S., K. Mody and B. Jha. 2007. **Bacterial exopolysaccharides-a perception.** Journal of Basic Microbiology. 47(2): 103-117.
- Le Bissonnais, Y. 2016. **Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology.** European Journal of Soil Science. 67: 1–21.
- Levy, G.J. and J.R. Torrento. 1995. **Clay dispersion and macroaggregate stability as affected byexchangeable potassium and sodium.** Soil Science. 160: 352–358.

- Lynch, J. M., and E. Bragg. 1985a, 1985b. **Microorganisms and Soil Aggregate Stability**. Advances in Soil Science. New York.
- Manoj Kaushal and Suhas P. Wani. 2015. **Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg and the University of Milan.
- Murphy, B. W., P. Hazelton and Pa. 2007. Hazelton, P.A. and B.W. Murphy. 2007. **'What Do All the Numbers Mean? - A Guide to the Interpretation of Soil Test Results'**. CSIRO Publishing, Melbourne.
- Naseem, H. and A. Bano. 2014. **Role of plant growth-promoting rhizobacteria and their exopolysaccharide in drought tolerance of maize**. Journal of Plant Interactions. 9(1): 689-701.
- Neeta Bhagat, Meenu Raghav, Sonali Dubey, and Namita Bedi. 2021. **BediBacterial Exopolysaccharides: Insight into Their Role in Plant Abiotic Stress Tolerance**. Indian Journal Microbiology Biotechnology. 31(8): 1045–1059.
- Ngoufack FZ, El-Noda AN, Tchouanguep FM, and El-Soda M. 2004. **Effect of ropy and capsular exopolysaccharides producing strain of Lactobacillus plantarum 162RM on characteristics and functionality of fermented milk and soft Kareish type cheese**. African Journal Biotechnology. 3: 512-8.
- Noreen, S., B. Ali and S. Hasnain. 2012. **Growth promotion of Vigna mungo (L.) by Pseudomonas spp. exhibiting auxin production and ACC-deaminase activity**. Annals of Microbiology. 62(1), 411-417.
- Obuekwe, C. O. and E. M. Al-Muttawa. 2001. **Self-immobilized bacterial cultures with potential for application as ready-to-use seeds for petroleum bioremediation**. Biotechnology letters. 23: 1025-1032.
- Ohana Y. A. Costa, Jos M. Raaijmakers, and Eiko E. Kuramae. 2018. **Microbial Extracellular Polymeric Substances Ecological Function and Impact on Soil Aggregation**. Department of Microbial Ecology, Netherlands Institute of Ecology (NIOO-KNAW), Wageningen, Netherlands, 2 Institute of Biology, Leiden University, Leiden, Netherlands.
- Parikh, A. and D. Madamwar. 2006. **Partial characterization of extracellular polysaccharides from cyanobacteria**. Bioresource Technology. 97(15): 1822-1827.
- Pavlova, K., and D. Grigorova. 1999. **Production and properties of exopolysaccharide by Rhodotorula acheniorum MC**. Food research international. 32(7): 473-477.
- Provencher, C., G. LaPointe, S. Sirois, M. R. Van Calsteren and D. Roy. 2003. **Consensus-degenerate hybrid oligonucleotide primers for amplification of priming glycosyltransferase genes of the exopolysaccharide locus in strains of the Lactobacillus casei group**. Applied and Environmental Microbiology 69: 3299-3307.

- Qurashi, A. W., and A. N. Sabri. 2012. **Bacterial exopolysaccharide and biofilm formation stimulate chickpea growth and soil aggregation under salt stress.** Brazilian Journal of Microbiology, 43, 1183-1191.
- Rafael J., L. Morcillo and M. Manzanera. 2021. **The Effects of Plant-Associated Bacterial Exopolysaccharides on Plant Abiotic Stress Tolerance.** Institute for Water Research, Department of Microbiology, University of Granada, Spain.
- Rehm B., S. Valla. 1997. **Bacterial alginates: biosynthesis and applications.** Applied and Environmental Microbiology. 48: 281 –288.
- Relman, D. A. 1999. **The search for unrecognized pathogens.** Science, 284: 1308-1310.
- Roberson, E. B., and M. K. Firestone. 1992. **Relationship between Desiccation and Exopolysaccharide Production in a Soil *Pseudomonas* sp.** Applied and Environmental Microbiology. 58(4): 1284-1291.
- Roberts, I. S. 1996. **The biochemistry and genetics of capsular polysaccharide production in bacteria.** Annual review of microbiology 50: 285-315.
- Rosas-Castor, J. M. 2014. **Methylene blue biosorption by pericarp of corn, alfalfa, and agave bagasse wastes.** Environmental technology 35: 1077-1090.
- Ruas-Madiedo, P. and C. De los Reyes-Gavilán. 2005. **Invited Review: Methods for the Screening, Isolation, and Characterization of Exopolysaccharides Produced by Lactic Acid Bacteria.** Journal of Dairy Science, 88, 843-856.
- Sambrook, J., E. R. Fritsch and T. Maniatis. 1989. **Molecular Cloning: A Laboratory Manual (2nd ed.).** Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Sanders, E. R. 2012. **Aseptic laboratory techniques: plating methods.** Journal of visualized experiments : JoVE journal. (63), 3064-3064.
- Sandhya, V., A. SK Z, , M. Grover, G. Reddy and B. Venkateswarlu, 2009. **Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by the exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain GAP-P45.** Biology and fertility of soils. 46(1): 17-26.
- Sandhya, V., and S. Z. Ali. 2015. **The production of exopolysaccharide by *Pseudomonas putida* GAP-P45 under various abiotic stress conditions and its role in soil aggregation.** Microbiology. 84(4): 512-519.
- Schmid, J., V. Sieber and B. Rehm. 2015. **Bacterial exopolysaccharides: biosynthesis pathways and engineering strategies [Review].** Frontiers in Microbiology. 6(496): 1-24.
- Sinha, J., J.T. Bae, J.P. Park, K.H. Kim, C.H. Song, and J.W. Yun. 2001. **Changes in morphology of *Paecilomyces japonica* and their effect on broth rheology during production of exo-biopolymers.** Applied Microbiology and Biotechnology 56: 88–92.

- Skillman, L. C., I.W. Sutherland and M.V. Jones. 1998. **The role of exopolysaccharides in dual species biofilm development.** *Journal of Applied Microbiology* 85(1): 135 -185.
- Stingele, F., J.R. Neeser and B. Mollet. 1996. **Identification and characterization of the eps (exopolysaccharide) gene cluster of *Streptococcus thermophilus* Sfi6.** *Journal of Bacteriology* 178: 1680–1690.
- Sutherland, I. W. 1972. **Bacterial exopolysaccharides.** *Advances in Microbial Physiology* 8: 143-213.
- Sutherland, I. W. 1982. **Biosynthesis of microbial exopolysaccharides.** *Advances in Microbial Physiology* 23:79–150.
- Sutherland, I. W. 1990. **Biotechnology of microbial exopolysaccharides.** Cambridge University Press, Cambridge.
- Suwanwijit, W. 2003. **Effects of some supplemented foods on yield and nutritional value of abalone mushroom (*Pleurotus cystidiosus* O.K. miller.).** M.S. Thesis, Kasetsart University.
- Tan, W. K., Goenadie, V., Lee, H. W., Liang, X., Loh, C. S., Ong, C. N., and Tan, H. T. W. 2020. **Growth and glucosinolate profiles of a common Asian green leafy vegetable, *Brassica rapa* subsp. *chinensis* var. *parachinensis* (choy sum), under LED lighting.** *Scientia Horticulturae* 261.
- Tisdall, J. M. and J. M. Oades. (1982). **Organic matter and water-stable aggregates in soils.** *Journal of Soil Science* 33(2): 141-163.
- Wang, L., D. Liu, and P. R. Reeves. 1996. **C-terminal half of *Salmonella enterica* WbaP (RfbP) is the galactosyl-1-phosphate transferase domain catalyzing the first step of O-antigen synthesis.** *Journal of Bacteriology* 178:2598–2604.
- Willis, L. and C. Whitfield. 2013. **Structure, biosynthesis, and function of bacterial capsular polysaccharides synthesized by ABC transporter-dependent pathways.** *Carbohydrate research* 378: 35-44.
- Wingender, J., T. R. Neu, and H.-C. Flemming. 1999. **What are Bacterial Extracellular Polymeric Substances.** Springer, Berlin.
- Yinong, L., X. Jiazheng, H. Jin, Z. Tianyu, W. Xuefeng and Y. Yurong. 2022. **Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Glomalin Play a Crucial Role in Soil Aggregate Stability in Pb-Contaminated Soil.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19 (9): 5029.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

1. การสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเชื้อที่คัดเลือกได้

เพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเป้าหมายเพื่อการสร้างสารพันธุกรรมโดยนำเชื้อที่คัดเลือกได้ จาก inocular มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ TB (Terrific broth) ตามวิธีการของ Sambrook *et al.* (1989) โดยบ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง พร้อมเขย่าด้วยความเร็ว 150 rpm เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วสกัดดีเอ็นเอจากเชื้อที่แยกได้ โดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ phenol extraction ตามที่รายงานใน Sambrook *et al.*, (1989) โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่ประกอบไปด้วย 10 mM Tris (pH 8.0), 1mM EDTA, 200 mM NaCl และ 1% SDS สารสกัดตัวทำละลายอินทรีย์ชนิด phenol ตามด้วย phenol chloroform และ chloroform isoamyl alcohol เป็นลำดับ ดีเอ็นเอที่สกัดได้จะตกตะกอนด้วยสารละลายเกลือ sodium acetate และเอธิลแอลกอฮอล์ตามที่รายงาน (Sambrook *et al.*, 1989) และทำให้บริสุทธิ์โดยผ่านคอลัมน์ High Yield Gel DNA extraction Kit (RBC, USA) ตรวจสอบปริมาณดีเอ็นเอที่ได้โดยการวัดการดูดกลืนแสงที่ 260 280 320 นาโนเมตร วัดส่วนของค่า OD ที่ 280/260 nm และคำนวณหาปริมาณดีเอ็นเอของแต่ละตัวอย่างตามที่ได้รายงานไว้เช่นกัน (Sambrook *et al.*, 1989) จากนั้นปรับความเข้มข้นของดีเอ็นเอที่สกัดได้ให้เป็น 1 µg/µl และเก็บรักษาดีเอ็นเอที่สกัดได้ไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อใช้ในการทดลองหาลำดับนิวคลีโอไทด์ต่อไป

2. การศึกษานิวคลีโอไทด์ ลายพิมพ์ดีเอ็นเอและวิเคราะห์ข้อมูลสารพันธุกรรม

ตรวจสอบคุณสมบัติของนิวคลีโอไทด์ของบริเวณของยีนเป้าหมาย ได้แก่ การวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์จำเพาะของบริเวณยีน 16S rRNA เริ่มจากการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมดำเนินการด้วยเทคนิค PCR ในสารละลายที่ประกอบด้วย 100 mM KCl, 10 mM Tris-HCl (pH 7.4), 0.1 mM EDTA, 1 mM dithiothreitol, 0.5% Tween® 20, 0.5% IGEPAL® CA-630, 50% glycerol, 200 µM dNTP และ 10 pmole ของไพรเมอร์ ใช้ไพรเมอร์จำเพาะ forward 5'-ATTGGGTTTAAAGGTCC-3', reverse 5'-CCGTCAGTTCCTTTGCGTTT-3' โดยมีเงื่อนไขการเริ่มปฏิกิริยาเป็นอุณหภูมิ denature ที่ 93°C 40 วินาที อุณหภูมิ annealing ที่ 55°C เป็นเวลา 30 วินาทีและอุณหภูมิ extension ที่ 73°C เป็นเวลา 30 วินาที จำนวน 40 รอบ

เพื่อการตรวจสอบลำดับพันธุกรรมของเชื้อตัวอย่าง นำแถบผลิตภัณฑ์ดีเอ็นเอของส่วนของยีนเป้าหมายชนิด 16S rRNA ยีนที่เพิ่มปริมาณได้ โคลนเข้าสู่พลาสมิด pSC-A โดยวิธีการโคลนยีน TA cloning มาตรฐาน (Holton and Graham, 1991, Zhou *et al.*, 2000) ด้วยวิธีการคัดเลือกโคลนตามที่รายงานโดย Sambrook *et al.*, (1989) โดยใช้ E. coli สายพันธุ์ SG13009 เป็นเซลล์เจ้าบ้าน

คัดเลือกและตรวจสอบโคลนที่ได้ โดยการคัดเลือกเฉพาะเซลล์ด้านทานยาปฏิชีวนะและตรวจสอบยืนยันขนาดของพลาสมิด โดยการแยกขนาดพลาสมิดดีเอ็นเอจากโคลนที่ได้ด้วยสนามไฟฟ้า (gel electrophoresis) ในวุ้นอะกาโรส 1% ในสารละลาย TAE และแยกด้วยสนามไฟฟ้าขนาด 100 Vt เป็นเวลา 30 นาที ก่อนย้อมด้วยสารละลาย Ethidium bromide 20 mg/L เพิ่มปริมาณพลาสมิดที่ได้และสกัดสารพันธุกรรมของพลาสมิด ด้วย Midi scale plasmid preparation ด้วยชุดสกัดสำเร็จรูป Wizard® Plus Minipreps DNA Purification System (Promega Corporation, USA)

การหาลำดับพันธุกรรมของโคลนของยีนเป้าหมายดำเนินการด้วยวิธี dideoxy termination (Sanger, 1975) เริ่มจากการนำพลาสมิดที่ได้มาเพิ่มปริมาณโดยการเลี้ยงในอาหาร LB ที่มี ยาปฏิชีวนะ ampicillin 50 ppm สกัดดีเอ็นเอโดยวิธี small scale plasmid preparation ตรวจสอบคุณภาพของดีเอ็นเอที่ได้โดยการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 260 280 320 และสัดส่วนค่าดูดกลืนแสง 260/280 ตามที่รายงาน (Sambrook *et al*, 1989) และส่งดีเอ็นเอ ตรวจหาลำดับนิวคลีโอไทด์ไปยังบริษัทที่ให้บริการ (Proligos, Singapore) ข้อมูลลำดับพันธุกรรมจะ นำมาเก็บในรูปแบบของ Fasta Format เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลลำดับพันธุกรรมโดยการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลดีเอ็นเอ (DNA databank) โดยการทำ Local Alignment Search ด้วยโปรแกรม Blastn (Altschul *et al.*, 1990) โดยตรวจสอบค่า Percent identity Query Covered และ ค่า Expected Value เปรียบเทียบกับรายการข้อมูลที่ค้นหาได้จาก 16S rRNA ในฐานข้อมูล ncbi (www.ncbi.nlm.nih.gov)

ภาคผนวก ข

ลำดับพันธุกรรมของยีน 16S rRNA และการวิเคราะห์ลำดับพันธุกรรมเปรียบเทียบ

ผลการดำเนินการหาลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยวิธี Dye Termination ของตัวแทนของโคลนที่เกี่ยวข้องกับ ยีน 16S rRNA ของแบคทีเรียเป้าหมาย และนำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ปรากฏในฐานข้อมูล DNA databank ด้วยอัลกอริทึม Blastn

อัลกอริทึม Blastn เป็นอัลกอริทึมในโปรแกรมที่ออกแบบมาเพื่อสืบค้นลำดับนิวคลีโอไทด์ที่มีอยู่ในฐานข้อมูลที่เปรียบเทียบกับข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ที่สนใจศึกษา (query sequence) โดยผลการสืบค้นจะเทียบรูปแบบของลำดับนิวคลีโอไทด์ในหลากหลายมิติ (Altschul *et al.*, 1990) ใน algorithms ลำดับนิวคลีโอไทด์ที่สนใจศึกษา หรือ query จะแตกเป็น fragment ย่อย และใช้เป็นต้นเชื้อ (seed) ในการเปรียบเทียบไปยังเป้าหมายในฐานข้อมูล ไปทั้ง 2 ทิศทาง โดยค่าในการเปรียบเทียบอยู่ในรูป T-score ที่จะไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไป นั้นหมายถึงมุ่งหาค่าสูงสุดขณะนั้น ซึ่งเป็นการแสดงภาวะเหมือน (ที่สอดคล้อง หรือ match) กับผลลัพธ์ของลำดับนิวคลีโอไทด์เป้าหมายจากฐานข้อมูล

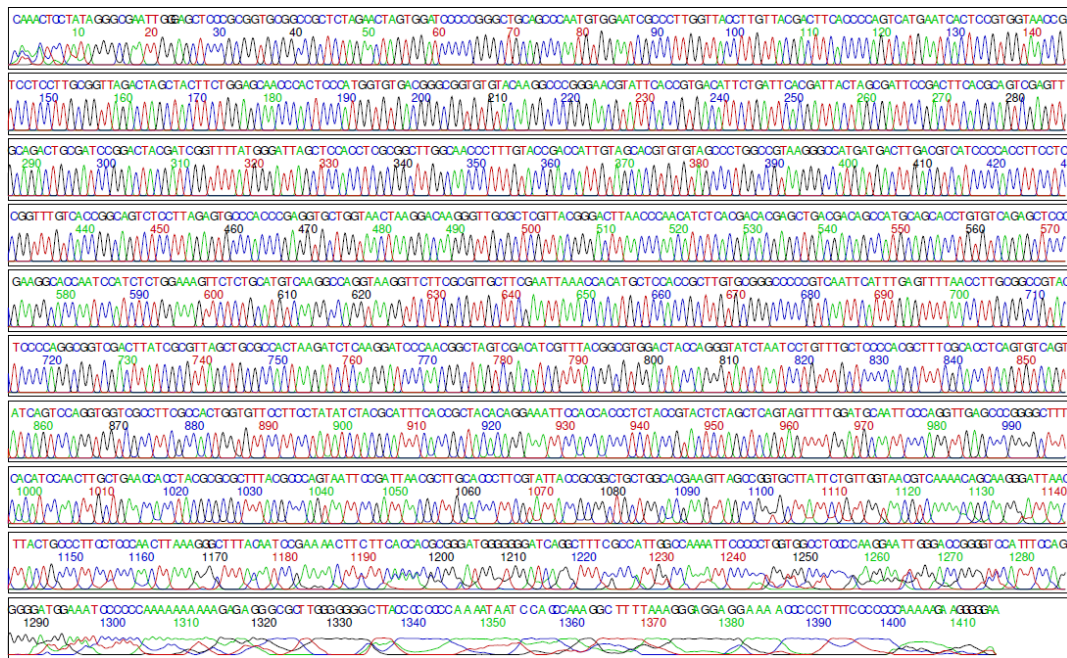
ค่า T-value ได้จากการใช้ตารางค่าคะแนนในรูป scoring matrix โดยปกติ หากเป็น global alignment จะใช้ตารางมาตรฐาน identity matrix ผลรวม (SUM score หรือ T-score) จะถูกเปลี่ยนเป็นค่า bits score ขณะเดียวกัน ในทางสถิติจะนำค่า expect value (E-value) มาเป็น parameter ในการพิจารณา โดยค่า E-value แทนจำนวนที่ผลการเทียบที่ตรง (hit) กับผลที่คาดว่าจะพบโดยบังเอิญ เมื่อค้นหาในฐานข้อมูล

ค่า E-value จะลดลงด้วยค่าสมการเลขยกกำลัง exponential ในทุกครั้งที่ค่าเทียบแล้วตรงกัน (S) และหากค่า E-value ยังมีค่าต่ำมาก (กำลังติดลบ) หรือค่าเข้าใกล้ “0” จะแสดงถึงการเปรียบเทียบจนได้ subject sequence ที่ตรงกันและมีค่าเป็นนัยยะ (significant) (Altschul *et al.*, 1990)

จากการตรวจสอบและวิเคราะห์พบว่าได้ภาพสรุปของข้อมูลรวมเป็นดังต่อไปนี้

1. ลำดับนิวคลีโอไทด์ของแบคทีเรียตัวอย่างจากเชื้อ EPS-NJ-1/02

ยีน 16S rRNA ที่ได้ มีขนาด 1,416 นิวคลีโอไทด์ มีสัดส่วนขององค์ประกอบย่อยของลำดับนิวคลีโอไทด์เป็น A:T:G:C เท่ากับ 335:309:430:342 ขึ้นยีน มีค่า GC content เป็น 54.50% (ภาพภาคผนวกที่ 1 และ 2)



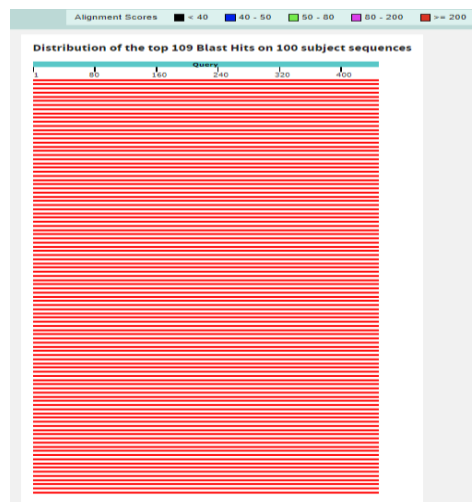
ภาพภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลผลการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ

EPS-NJ-1/02

```
TCCCCCTTCTTTTGGGGGGGAAAGGGGGTTTCTCTCCCTTTAAAGCCCTTTGGGTGGATTATTTGGGGGGGTAAGCCCCC
AAGCGCCCTCTCTTTTGGGGGGGATTTCCATCCCCCTGGAATGGACCCCGTCCCAATTCTTGGGGAGGCCACCGGGGGAA
TTTGGCCAATGGCGAAAGCCTGATCCCCCCATCCCGGTGGTGAAGAAGTTTCGGATTGTAAAGCCCTTTAAGTTGGGAGGAAGGG
CAGTAAGTTAATCCCTTGCTGTTTGGACGTACCAACAGAATAAGCACCGCTAATCTCGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACGAAGGGTG
CAAGCGTTAATCGGAATTACTGGGCGTAAAGCGCGCGTAGGTGGTTTCAGCAAGTTGGATGTGAAAGCCCCGGGCTCAACCTGGGAATTG
CATCCAAAATCTACTGAGCTAGAGTACGGGTAGAGGGTGGTGGAAATTTCTGTGTAGCGGTGAAATGCGTAGATATAGGAAGGAACACCAG
TGGCGAAGGCGACCACTGGACTGATACTGACACTGAGGTGCGAAAGCGTGGGGAGCAACAGGATTAGATACCCTGGTAGTCCACGCC
GTAAACGATGTCGACTAGCCGTTGGGATCCTTGTAGATCTTGTAGTGGCGCAGCTAACCGGATAAGTCGACCGCTGGGGAGTACGGCCGCA
AGGTTAAAATCTCAATGAATTGACGGGGGCGCCGACAAGCGGTGGAGCATGTGGTTTAAATTCGAAGCAACGCGAAGAACCTTACCTGGC
CTTGACATGACAGAGAATTTCCAGAGATGGATTGGTGCCTTCGGGAGCTCTGACACAGGTGCTGCATGGCTGCTGTCGACCTCGTGTGTCGT
GAGATGTTGGGTAAAGTCCCCTAACGAGCGCAACCTTGTCTTAGTTACCAGCACCTCGGGTGGGCACTCTAAGGAGACTGCCGGTGA
CAAACCGGAGGAAGGTGGGGATGACGTCAAGTCATCATGGCCCTTACGGCCAGGGCTACACAGTGTACAAATGGTGGTACAAAGGGT
TGCCAAGCCGCGAGGTGGAGCTAATCCATAAAACCGATCGTAGTCCGGATCGCAGTCTGCAACTCGACTGCGTGAAGTCGGAATCGCT
AGTAATCGTGAATCAGAATGTCAGGTGAATACGTTCCCGGGCTTGTACACACCGCCGTCACACCATGGGAGTGGGTTGCTCCAGAA
GTAGCTAGTCTAACCGCAAGGAGGACGGTTACCACGGAGTGATTATGACTGGGGTGAAGTCGTAACAAGGTAACCAAGGGCGATTCCA
CATTGGGCTGCAGCCCGGGGATCCACTAGTCTTAGAGCGCCGACCGCGGGAGCTCCCAATTGCGCCTATAGGAGTTTG
```

ภาพภาคผนวกที่ 2 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-1/02 และบริเวณ
ที่นำไปใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบ (บริเวณสีเหลือง)

ลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้ไปวิเคราะห์ basic local alignment search tool (Blastn) กับ
ฐานข้อมูลของ ncbi พบว่า ข้อมูลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสิ่งมีชีวิตเป้าหมายได้ค่า total score
เสมอกัน และเป็นไปในรูปแบบเดียวกันหมด โดยลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้มีความคล้ายคลึงกับลำดับ
นิวคลีโอไทด์ของแบคทีเรียในจีนัส *Pseudomonas* ทุกสายการ ด้วยค่า Maximum Similarity
Score 822 ค่า Query Cover 100% ค่า Expected Value 0.0 ซึ่งจัดว่ามีความจำเพาะสูงมาก
(ภาพภาคผนวกที่ 3 และ 4)



ภาพภาคผนวกที่ 3 ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-1/02 ด้วยโปรแกรม Basic Local Alignment Search Tool (BLAST)

จากการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยรูปแบบ local alignment พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-1/02 มีความคล้ายกันกับตัวอย่างดีเอ็นเอเป้าหมายที่ได้จากฐานข้อมูลในทุก ๆ รายการ ซึ่งจะเห็นได้จากแถบบาร์สีแดงแนวนอนที่เรียงตัวกันอยู่ มีค่า color key ที่มีขนาดเดียวกันโดยตลอดทุกรายการ

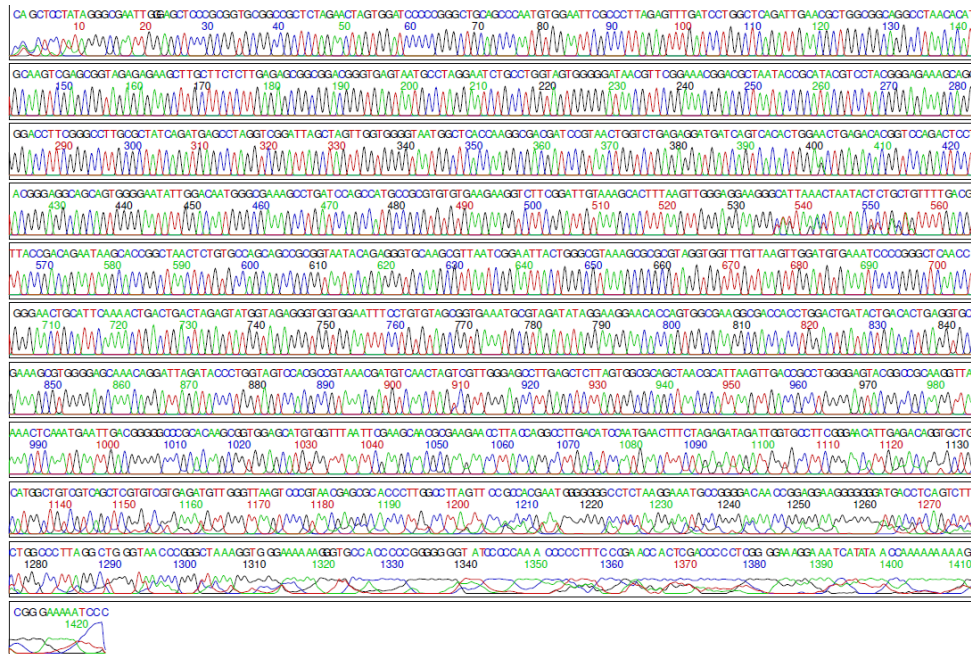
	Description	Scientific Name	Max Score	Total Score	Query Cover	E value	Per. Ident	Acc. Len	Accession
✓	Pseudomonas otitidis strain HR-2 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas otitidis	822	822	100%	0.0	100.00%	1388	MT645611.1
✓	Pseudomonas otitidis strain XT219 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas otitidis	822	822	100%	0.0	100.00%	1398	MT424801.1
✓	Pseudomonas otitidis strain XT216 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas otitidis	822	822	100%	0.0	100.00%	1399	MT424799.1
✓	Pseudomonas otitidis strain XT212 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas otitidis	822	822	100%	0.0	100.00%	1386	MT424785.1
✓	Pseudomonas putida strain TIM1011 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas putida	822	822	100%	0.0	100.00%	1374	MT424787.1
✓	Pseudomonas putida strain XT811 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas putida	822	822	100%	0.0	100.00%	1395	MT424785.1
✓	Pseudomonas aeruginosa strain XT311 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas aeruginosa	822	822	100%	0.0	100.00%	1412	MT424780.1
✓	Pseudomonas aeruginosa strain XT211 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas aeruginosa	822	822	100%	0.0	100.00%	1396	MT424778.1
✓	Pseudomonas otitidis MrB4 DNA, complete genome	Pseudomonas otitidis	822	3291	100%	0.0	100.00%	8089454	AP022642.1
✓	Pseudomonas otitidis strain G-2 FAY 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas otitidis	822	822	100%	0.0	100.00%	1361	MT023419.1
✓	Pseudomonas otitidis strain NKD4 10-2 C 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas otitidis	822	822	100%	0.0	100.00%	1444	MN305916.1
✓	Pseudomonas sp. FJFR621 gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence	Pseudomonas sp.	822	822	100%	0.0	100.00%	1462	LC484693.1
✓	Pseudomonas aeruginosa strain PSEAS5 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas aeruginosa	822	822	100%	0.0	100.00%	957	MN006385.1
✓	Pseudomonas sp. strain BJTNXUAD012 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas sp.	822	822	100%	0.0	100.00%	1391	MK024661.1
✓	Pseudomonas sp. strain BJTNXUAD011 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas sp.	822	822	100%	0.0	100.00%	1379	MK024660.1

ภาพภาคผนวกที่ 4 ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-1/02 กับดีเอ็นเอในฐานข้อมูล

จากภาพภาคผนวกที่ 4 พบว่า ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อ EPS-NJ-1/02 มีความสัมพันธ์กับข้อมูลของ *P. otitidis* *P. putida* และ *P. aeruginosa* ด้วยค่าคะแนนที่เท่ากัน ค่า percent identity ที่เท่ากัน และค่า Expected Value ในระดับ 0.0 ซึ่งแสดงความจำเพาะที่สูงแบบมีนัยสำคัญ ในขั้นต้นสามารถสรุปได้ว่า เชื้อหมายเลข 1 เป็นได้ทั้ง *P. otitidis* *P. putida* หรือ *P. aeruginosa* อย่างใดอย่างหนึ่ง

2. ลำดับนิวคลีโอไทด์ของแบคทีเรียของเชื้อ EPS-NJ-2/05

ยีน 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-2/05 ที่ได้มีขนาด ขนาด 1,426 นิวคลีโอไทด์ มีสัดส่วนขององค์ประกอบย่อยของลำดับนิวคลีโอไทด์เป็น A:T:G:C เท่ากับ 290:362:327:447 มีค่า GC content เป็น 54.30% (ภาพภาคผนวกที่ 5 และ 6)



ภาพภาคผนวกที่ 5 ข้อมูลผลการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-2/05

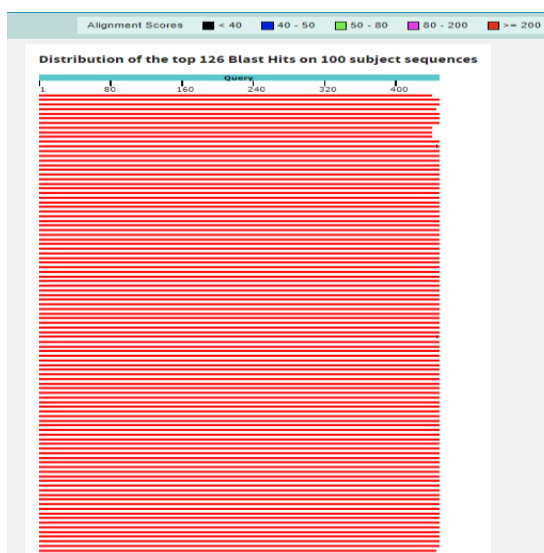
```

GGATTTTCCCGCCTTTTTTTTGGTTATATGATTTCCTTTCCCCGAGGGGTCGAGTGGTTCGGGAAAGGGGTTTGGGGGATACCCC
CCCCGGGGTGGCACCTTTTTTCCCACCTTTAGCCCGGGTTACCCAGCCTAAGGGCCAGAAGACTGAGGTCATCCCCCCTTCCTCCGG
TTGTCCCCGGCATTTCCTTAGAGGCCCCCATTTCGTGGCGGAACCTAAGGCCAAGGGTGCCTCGTACGGGACTTAACCCACATCTC
ACGACACGAGCTGACGACAGCCATGCAGCACCTGTCTCAATGTTCCCGAAGGCACCAATCTATCTCTAGAAAGTTCAATTGGATGTCAAG
GCCTGGTAAGGTTCTTCGCGTTGCTTCGAATTAACCACACATGCTCCACCGCTTGTGCGGGCCCCCGTCAATTCATTGAGTTTAACTT
TGCGGCGGTACTCCCCAGGCGGTCAACTTAATGCGTTAGCTGCGCCACTAAGAGCTCAAGGCTCCCAACGACTAGTTGACATCGTTTAC
GGCGTGGACTACCAGGGTATCTAATCCTGTGTGCTCCCCACGCTTTCGCACCTCAGTGTGAGTATCAGTCCAGGTGGTCGCTTCGCCA
CTGGTGTTCCTTCCTATATCTACGCAATTTACCGGTACACAGGAAATTCACCAACCTCTACCATACTCTAGTCAGTCAGTTTGAATG
CAGTTCACAGGTTGAGCCCGGGGATTTACATCCAACTTAACAAACACCTACGCGCGCTTTACGCCCCAGTAATTCGATTACGCTTG
CACCCTCTGTATTACCGCGGTGCTGGCACAGAGTTAGCCGGTGCTTATTCTGTGCGTAACGTCAAAAACAGCAGATATTAGTTTAATG
CCCTTCCTCCCAACTTAAAGTGCTTTACAATCCGAAGACCTTCTTACACACGCGGCATGGCTGGATCAGGCTTTCGCCCATTTGTCCAA
TATTCCTCCACTGCTGCCTCCCGTAGGAGTCTGGACCGTGTCTCAGTTCAGTGTGACTGATCATCCTCTCAGACAGTTACGGATCGTC
GCCTTGGGTAGCCATTACCCACCACTAGCTAATCCGACCTAGGCTCATCTGATAGCGCAAGGCCGAAGGTCCCTGCTTCTCCCG
TAGGACGTATGCGGTATTAGCGTCCGTTTCCGAACGTTATCCCCACTACCAGGCAGATTCTAGGCATTACTACCCGTCGCCGCTC
TCAAGAGAAGCAAGCTTCTCTACCGCTCGACTTGCATGTGTTAGGCCTGCCGCCAGCGTCAATCTGAGCCAGGATCAAACTCTAAG
GGCGAATTCACATTTGGGCTGCAGCCCGGGGATCCACTAGTTCCTAGAGCGGCCGACCGCGGGAGCTCCCAATTCGCCCTATAGGAGC
TG

```

ภาพภาคผนวกที่ 6 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อตัวอย่างหมายเลข 2 และบริเวณที่นำไปใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบ (บริเวณสีเหลือง)

เมื่อนำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของ ncbi โดยใช้ อัลกอริธึม basic local alignment search tool (Blastn) พบว่า ข้อมูลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสิ่งมีชีวิตเป้าหมาย ได้ค่า total score ในรูปแบบเดียวกัน โดยลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้มีความคล้ายคลึงกับลำดับนิวคลีโอไทด์ของแบคทีเรียในจีนัส *Pseudomonas* ทุกรายการ ด้วยค่า Maximum Similarity Score 802-791 ค่า Query Cover 100-98% ค่า Expected Value 0.0 ซึ่งจัดว่ามีความจำเพาะสูงมาก (ภาพภาคผนวกที่ 7 และ 8)



ภาพภาคผนวกที่ 7 ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-2/05 ด้วยโปรแกรม Basic Local Alignment Search Tool (BLAST)

จากการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยรูปแบบ local alignment พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน 16S rRNA จากเชื้อ EPS-NJ-2/05 มีความคล้ายคลึงกับตัวอย่างดีเอ็นเอเป้าหมายที่ได้จากฐานข้อมูลในทุก ๆ รายการ ซึ่งจะเห็นได้จากแถบบาร์สีแดงแนวนอนที่เรียงตัวกันอยู่ มีค่า color key ที่มีขนาดเดียวกัน ตลอดทุกรายการ

	Description	Scientific Name	Max Score	Total Score	Query Cover	E value	Per. Ident	Acc. Len	Accession
✓	Uncultured bacterium clone LY-20-8 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	uncultured bacterium	802	802	98%	0.0	99.77%	1459	KR107434.1
✓	Pseudomonas sp. CB 286334 partial 16S rRNA gene, strain CB 286334	Pseudomonas sp. CB 286334	797	797	98%	0.0	99.54%	995	LN833215.1
✓	Pseudomonas proteolytica strain MCCC1A07707 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas proteolytica	797	797	98%	0.0	99.54%	742	JX861584.1
✓	Pseudomonas sp. E10 ICE16 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas sp. E10 ICE16	797	797	98%	0.0	99.54%	762	JN201572.1
✓	Pseudomonas sp. SJTE-2 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas sp. SJTE-2	800	800	99%	0.0	99.32%	1465	JQ95149.1
✓	Pseudomonas sp. strain SMW16Z20 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas sp.	800	800	100%	0.0	99.10%	1090	MH231487.1
✓	Pseudomonas fluorescens strain D16 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas fluorescens	800	800	100%	0.0	99.10%	1441	KT767764.1
✓	Pseudomonas sp. 2I-28(2010) 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas sp. 2I-28(2010)	800	800	100%	0.0	99.10%	1026	HQ403186.1
✓	Uncultured bacterium clone rRNA143 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	uncultured bacterium	800	800	100%	0.0	99.10%	1467	AY958916.1
✓	Pseudomonas sp. TB2-2-II 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas sp. TB2-2-II	800	800	100%	0.0	99.10%	1456	AY969713.1
✓	Pseudomonas sp. ADAK21 chromosome, complete genome	Pseudomonas sp. ADAK21	795	4771	100%	0.0	99.10%	8003883	CP052857.1
✓	Pseudomonas brenneri strain BS2771 genome assembly, chromosome I	Pseudomonas brenneri	795	5158	100%	0.0	99.10%	8032706	LT629800.1
✓	Pseudomonas sp. ADAK20 chromosome, complete genome	Pseudomonas sp. ADAK20	795	4771	100%	0.0	98.88%	8003946	CP052858.1
✓	Pseudomonas sp. strain C14-9 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas sp.	795	795	100%	0.0	98.88%	1326	MT255245.1
✓	Pseudomonas sp. strain SYMB27 16S ribosomal RNA gene, partial sequence	Pseudomonas sp.	795	795	100%	0.0	98.88%	1266	MK590240.1

ภาพภาคผนวกที่ 8 ผลการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนบริเวณ 16S rRNA ของเชื้อ EPS-NJ-2/05 กับดีเอ็นเอในฐานข้อมูล

จากภาพภาคผนวกที่ 8 พบว่า ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของเชื้อ EPS-NJ-2/05 มีความสัมพันธ์กับข้อมูลของ *P. fluorescens* *P. proteolytica* *P. brenneri* และ *P. panacis* ด้วยค่า Expected Value ในระดับต่ำมาก 0.0 ซึ่งแสดงความจำเพาะที่สูงมาก อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาจากค่า Query cover ที่ไม่เต็ม 100% รวมถึงลักษณะโคโลนีที่ไม่เรืองแสง จึงทำให้โอกาสที่จะเป็นเชื้อ *P. fluorescens* จึงเป็นไปได้น้อยกว่า ทำนองเดียวกัน ค่า Query cover ที่ไม่เต็ม 100% และค่า Percent identity ที่ไม่เต็ม 100% ทำให้โอกาสในการเลือกข้อสรุปเชื้อ *P. proteolytica* ลดลง ดังนั้นในขั้นต้นสามารถสรุปได้ว่า เชื้อ EPS-NJ-2/05 น่าจะเป็น *P. brenneri* มากกว่าโอกาสที่จะเป็นเชื้อชนิดอื่น

เชื้อชนิด *P. brenneri* นี้ มีรายงานว่าสามารถพบได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม (Baida et al., 2001, Weon. 2006) อย่างไรก็ตาม ในทางอนุกรมวิธานเป็นการจัดชนิดขึ้นใหม่ โดย *P. brenneri* มีแนวโน้มว่ามีความใกล้ชิดกับ *P. fluorescens* ค่อนข้างมาก และที่สำคัญยังขาดข้อมูลการศึกษาสมบัติของเชื้ออยู่เป็นอันมาก

ตารางภาคผนวกที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างดินในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน

ลำดับ	ตำแหน่งเก็บ	ชุดดิน	ลักษณะเนื้อดิน	pH	แหล่งน้ำ	ชนิดพืชพันธุ์ ที่ปลูก
1	พื้นที่ป่าไม้ ข้างอ่าง14	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.14	ป่าไม้
2	พื้นที่ป่าไม้ ข้างอ่าง14	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.14	ป่าไม้
3	พื้นที่ป่าไม้ ข้างอ่าง14	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.14	ป่าไม้
4	พื้นที่เพาะชำกล้าไม้	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.12	เพาะชำกล้าไม้
5	พื้นที่ป่าไม้ ข้างห้วยเจ็ก	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.12	ป่าไม้
6	สวนหย่อม	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.12	สวนหย่อม
7	พื้นที่นาข้าว (งานวิชาการเกษตร)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	นาข้าว
8	มะนาว (งานส่งเสริมการเกษตร)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	มะนาว
9	พืชผัก (งานส่งเสริมการเกษตร)	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	พืชผัก
10	แปลงไม้ดอก	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	ไม้ดอก
11	พื้นที่นาข้าว (แปลงเกษตรทฤษฎีใหม่)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.12	นาข้าว
12	พืชผัก (แปลงเกษตรทฤษฎีใหม่)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	พืชผัก
13	แปลงพืชผัก ข้างสำนักงาน	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	พืชผัก
14	บัว (งานส่งเสริมการเกษตร)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	บัว
15	แปลงข้าวโพด	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	ข้าวโพด
16	เสาวรส (งานส่งเสริมการเกษตร)	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	เสาวรส
17	แปลงไม้ดอก	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	ไม้ดอก
18	เตยเปี้ยก	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	เตยเปี้ยก
19	ขอบบ่อปลา งานประมง	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	นจ.	บ่อปลา

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่งเก็บ	ชุดดิน	ลักษณะเนื้อดิน	pH	แหล่งน้ำ	ชนิดพืชพันธุ์ที่ปลูก
20	พืชผัก (แปลงผลิตเมล็ดพันธุ์พืช)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	นจ.	มะเขือ
21	สวนหย่อม	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	สวนหย่อม
22	พืชผัก (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	ผักกูด
23	พืชผัก (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	ผักกูด
24	พื้นที่นาข้าว (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	นาข้าว
25	มะม่วง (งานส่งเสริมการเกษตร)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	มะม่วง
26	พื้นที่นาข้าว แนวตะเคียน	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	นาข้าว
27	พื้นที่นาข้าว แนวตะเคียน	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	นาข้าว
28	พื้นที่นาข้าว แนวตะเคียน	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	นาข้าว
29	พื้นที่นาข้าว แนวตะเคียน	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	นาข้าว
30	แปลงหญ้าแฝก	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	หญ้าแฝก
31	พืชผัก (แปลงผลิตเมล็ดพันธุ์พืช)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	มะเขือ
32	แปลงหญ้าแฝก	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	หญ้าแฝก
33	พื้นที่นาข้าว (โครงการ ส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	นาข้าว
34	พื้นที่นาข้าว (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	นาข้าว
35	พื้นที่นาข้าว (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.10	นาข้าว
36	พื้นที่นาข้าว (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.10	นาข้าว
37	พื้นที่นาข้าว (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.10	นาข้าว

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่งเก็บ	ชุดดิน	ลักษณะเนื้อดิน	pH	แหล่งน้ำ	ชนิดพืชพันธุ์ ที่ปลูก
38	พื้นที่นาข้าว (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.10	นาข้าว
39	อ้อย (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.10	อ้อย
40	พื้นที่นาข้าว (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.10	นาข้าว
41	พื้นที่ป่าไม้ (โครงการส่วนพระองค์)	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	ป่าไม้
42	มะม่วง (โครงการส่วนพระองค์)	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	มะม่วง
43	พื้นที่ป่าไม้ (โครงการส่วนพระองค์)	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	ป่าไม้
44	พื้นที่ป่าไม้ (โครงการส่วนพระองค์)	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	ป่าไม้
45	ยางพารา	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	ยางพารา
46	พื้นที่ป่าไม้ (โครงการส่วนพระองค์)	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	ป่าไม้
47	พื้นที่ป่าไม้ (โครงการส่วนพระองค์)	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	ป่าไม้
48	พื้นที่ป่าไม้ (โครงการส่วนพระองค์)	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	ป่าไม้
49	ส้มโอ	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	ส้มโอ
50	พื้นที่นาข้าว (งานวิชาการเกษตร)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	นาข้าว
51	พื้นที่นาข้าว (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.10	นาข้าว
52	พืชผัก (แปลงเกษตรทฤษฎีใหม่)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.12	พืชผัก
53	หม่อน (โครงการส่วนพระองค์)	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	หม่อน
54	มะม่วง	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	มะม่วง
55	ไม้ยืนต้นผสม	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	ไม้ยืนต้นผสม
56	ระกำ สละ	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	สระ 4	สละ

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่งเก็บ	ชุดดิน	ลักษณะเนื้อดิน	pH	แหล่งน้ำ	ชนิดพืชพันธุ์ ที่ปลูก
57	ส้ม	สัตหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	สระ 4	ส้ม
58	พื้นที่ป่าไม้ (โครงการสวนพระองค์)	สัตหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	สระ 4	ป่าไม้
59	แปลงข้าวโพด	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	ข้าวโพด
60	แปลงข้าวโพด	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	ข้าวโพด
61	พืชผัก	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	พืชผัก
62	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (งานปศุสัตว์)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์
63	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (งานปศุสัตว์)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์
64	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (งานปศุสัตว์)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์
65	ไม้ยืนต้นผสม	สัตหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	ไม้ยืนต้นผสม
66	พื้นที่เพาะซากลำไย	สัตหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.13	เพาะซากลำไย
67	พื้นที่ป่าไม้ ข้างอ่าง13	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.13	ป่าไม้
68	พื้นที่ป่าไม้ ข้างอ่าง13	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.13	ป่าไม้
69	พื้นที่ป่าไม้ ข้างอ่าง13	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.13	ป่าไม้
70	พื้นที่ป่าไม้ ข้างอ่าง14	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.14	ป่าไม้
71	พื้นที่นาข้าว (แปลงเกษตรทฤษฎีใหม่)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	นาข้าว
72	ไม้ผลผสม (แปลงเกษตรทฤษฎีใหม่)	สัตหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.12	ไม้ผลผสม
73	สวนหย่อม	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	สวนหย่อม
74	พื้นที่ป่าไม้ ข้างห้วยเจ็ก	สัตหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.12	ป่าไม้
75	พื้นที่ป่าไม้ ข้างห้วยเจ็ก	สัตหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.12	ป่าไม้

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่งเก็บ	ชุดดิน	ลักษณะเนื้อดิน	pH	แหล่งน้ำ	ชนิดพืชพันธุ์ ที่ปลูก
76	มันสำปะหลัง (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.10	มันสำปะหลัง
77	มะพร้าว	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.10	มะพร้าว
78	พื้นที่ป่าไม้ ข้างอ่าง14	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.14	ป่าไม้
79	แปลงข้าวโพด	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.12	ข้าวโพด
80	สวนหย่อม	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	สวนหย่อม
81	แปลงหญ้าแฝก	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	หญ้าแฝก
82	แปลงหญ้าแฝก	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	หญ้าแฝก
83	พื้นที่นาข้าว (แปลงเกษตรทฤษฎีใหม่)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.83	นาข้าว
84	เตยเปี้ยก	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	เตยเปี้ยก
85	ตะกู่	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	ตะกู่
86	ไม้ยืนต้นผสม	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	ไม้ยืนต้นผสม
87	พื้นที่นาข้าว (งานวิชาการเกษตร)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	นาข้าว
88	หวาย (งานส่งเสริมการเกษตร)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	หวาย
89	มะม่วง (งานส่งเสริมการเกษตร)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	มะม่วง
90	มะละกอ (งานส่งเสริมการเกษตร)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	มะละกอ
91	พืชสมุนไพร (งานส่งเสริมการเกษตร)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	นจ.	พืชสมุนไพร
92	พื้นที่ป่าไม้ ข้างอ่าง14	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	อ.14	ป่าไม้
93	มันสำปะหลัง (โครงการส่วนพระองค์)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	นจ.	มันสำปะหลัง
94	มันสำปะหลัง (โครงการส่วนพระองค์)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	นจ.	มันสำปะหลัง

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่งเก็บ	ชุดดิน	ลักษณะเนื้อดิน	pH	แหล่งน้ำ	ชนิดพืชพันธุ์ที่ปลูก
95	มันสำปะหลัง (โครงการส่วนพระองค์)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	นจ.	มันสำปะหลัง
96	มันสำปะหลัง (โครงการส่วนพระองค์)	มาบบอน (Mb)	ดินทรายปน ดินร่วน	4.5	นจ.	มันสำปะหลัง
97	แปลงหญ้าแฝก	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	นจ.	หญ้าแฝก
98	พื้นที่นาข้าว (โครงการส่วนพระองค์)	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	อ.10	นาข้าว
99	พืชผัก (โครงการส่วนพระองค์)	สัดหีบ (Sh)	ดินทราย	4.5	อ.10	ผักหวานบ้าน
100	มะม่วงยกร่อง	โคกเคียน (Ko)	ดินร่วนปนทราย	4.5	นจ.	มะม่วง