ผลงานเรื่องที่ 1

ผลงานฉบับเต็ม

เรื่อง

วิจัยคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ เพื่อใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินเค็ม ดินกรด

Isolation of effective exopolysaccharide producing microorganisms for utilization in saline and acid soil

ของ

นางนวลจันทร์ ชะบา

ตำแหน่ง นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ตำแหน่งเลขที่ 7
กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
กรมพัฒนาที่ดิน

ขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ
ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน ตำแหน่งเลขที่ 7
กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน
กรมพัฒนาที่ดิน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(ก)
สารบัญตาราง	(ข)
สารบัญภาพ	(ง)
สารบัญตารางภาคผนวก	(จ)
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	4
ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ	17
วิธีดำเนินการ	17
อุปกรณ์	17
วิธีการ	17
แผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัย	27
ผลการทดลองและวิจารณ์	28
สรุปผลการทดลอง	74
ข้อเสนอแนะ	75
ประโยชน์ที่ได้รับ	75
เอกสารอ้างอิง	76
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก	90
ภาคผนวก ข	90
ภาคผนวก ค	91
ภาคผนวก ง	92
ตารางภาคผนวก	93

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยใช้ซับสเตรตต่างๆ	11
2	จำนวนไอโซเลตของแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่แยกจากดิน	28
3	ขนาดโคโลนีของแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงที่ความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ	29
4	ปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ ที่ระดับ pH 5.0 และ ความเค็ม 4 ระดับ	30
5	ปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ ที่ระดับ pH 5.5 และ ความเค็ม 4 ระดับ	31
6	ปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ ที่ระดับ pH 6.5 และ ความเค็ม 4 ระดับ	31
7	ปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ ที่ระดับ pH 7.0 และ ความเค็ม 4 ระดับ	32
8	ปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์สูงสุดที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ที่ระดับความเค็มต่างๆ	34
9	กิจกรรมสูงสุดของแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่คัดเลือกได้	34
10	เม็ดดินที่เสถียร (%) จากการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์	35
11	ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่ขยายเชื้อแบบแห้งในปุ๋ยหมักและรำข้าว	38
12	ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่ขยายเชื้อแบบเหลว	40
13	ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการทดลองการปลูกข้าวโพดในดินกรดสภาพโรงเรือนกระจก	42
14	เม็ดดินที่เสถียร (%) หลังการทดลองการปลูกข้าวโพดในดินกรดสภาพโรงเรือนกระจก	44
15	ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินกรดสภาพโรงเรือนกระจก	45
16	ความสูง น้ำหนักต้นสด และน้ำหนักต้นแห้งของข้าวโพด ที่อายุ 45 วัน ในดินกรดสภาพโรงเรือนกระจก	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินเค็ม สภาพโรงเรือนกระจก	49
18	เม็ดดินที่เสถียร (%) ก่อนและหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินเค็ม สภาพโรงเรือนกระจก	50
19	ความสูง น้ำหนักต้นสด และน้ำหนักต้นแห้งของข้าวโพด ที่อายุ 45 วัน ในดินเค็ม สภาพโรงเรือนกระจก	51
20	สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินกรด สภาพแปลงทดลอง	54
21	สมบัติทางกายภาพของดินก่อนการทดลองปลูกข้าวโพดในดินกรด สภาพแปลงทดลอง	55
22	สมบัติทางกายภาพของดินหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินกรด สภาพแปลงทดลอง	56
23	ความสูงของต้นข้าวโพดหวานที่อายุเก็บเกี่ยวในดินกรดสภาพแปลงทดลอง	59
24	ผลผลิตของข้าวโพดหวานในดินกรดสภาพแปลงทดลอง	61
25	ค่าความหวานของข้าวโพดหวานในดินกรด	62
26	ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการปลูกข้าวโพดหวานในดินกรด	63
27	สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการปลูกข้าวโพดในดินเค็มสภาพแปลงทดลอง	66
28	การประเมินเสถียรภาพเม็ดดินในดินเค็มสภาพแปลงทดลอง	68
29	ความสูงของต้นข้าวโพดหวานที่อายุเก็บเกี่ยวในพื้นที่ดินเค็ม	69
30	ผลผลิตของข้าวโพดหวานในดินเค็มสภาพแปลงทดลอง	71
31	ค่าความหวานของข้าวโพดหวานในดินเค็มสภาพแปลงทดลอง	72
32	ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการปลูกข้าวโพดหวานในดินเค็ม	73

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผังแปลงทดลอง	25
2	แสดงระยะปลูก พื้นที่เก็บข้อมูล และพื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานในแต่ละแปลงย่อย	26
3	ปริมาณแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 - 12 เดือน	37
4	ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินกรดสภาพแปลงทดลอง	58

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่		หน้า
1	ขนาดโคโลนีของแบคทีเรียที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ	93
2	ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 - 12 เดือน	95
3	ระดับความรุนแรงของความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH, ดิน : น้ำ = 1:1)	96
4	ค่าการนำไฟฟ้าและระดับความเค็มดิน	96
5	ระดับอินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter)	96
6	ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน	97
7	สมบัติของวัสดุรองรับในการผลิตผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์	97
8	สมบัติของปุ๋ยหมักที่ใช้ในการขยายเชื้อและปุ๋ยคอกจากมูลวัวที่ใช้ในการทดลองในภาคสนาม	97
9	การจำแนกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ปุ๋ยธาตุหลักสำหรับข้าวโพด	97
10	การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของข้าวโพดหวานในดินกรดแต่ละตำรับการทดลอง	98
11	การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของข้าวโพดหวานในดินเค็มแต่ละตำรับการทดลอง	99

วิจัยคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ เพื่อใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินเค็ม ดินกรด

นวลจันทร์ ชะบา จันจิรา แสงสีเหลือง พนิดา ปรีเปรมโมทย์
กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน

วุฒิชัย จันทรสมบัติ
สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต ๓ กรมพัฒนาที่ดิน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ทนเค็มและกรดที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ การใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ต่อการปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าวโพดหวาน ดำเนินการ ณ ห้องปฏิบัติการ และโรงเรือนกระจก กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน แปลงเกษตรกร จังหวัดนครราชสีมา และขอนแก่น ระหว่างปี 2557 - 2559 โดยเก็บตัวอย่างดินเค็ม และดินกรด ชุดดินต่างกันจากจังหวัดนครราชสีมา ขอนแก่น เพชรบุรี นครนายก ปทุมธานี และสมุทรสาคร นำมาแยกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0 5.5 6.5 และ 7.0 และความเข้มข้นของ NaCl 0 37.5 75.0 และ 150 มิลลิโมลาร์ ศึกษาผลของแบคทีเรียต่อค่าเม็ดดินที่เสถียร ศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์และอัตราการใช้ในสภาพโรงเรือนกระจก และแปลงทดลอง ในการปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ดำเนินการในชุดดินโคราชและกุลาร้องไห้ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) 9 ตำรับการทดลอง 3 ซ้ำ ประกอบด้วย ตำรับที่ 1 ควบคุม ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก ตำรับที่ 4 - 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ 300 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างเดียว ใช้ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ตามลำดับ และตำรับที่ 7 - 9 เช่นเดียวกับตำรับที่ 4 - 6 แต่เพิ่มอัตราการใช้เป็น 500 กิโลกรัมต่อไร่ โดยคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพได้ 2 ไอโซเลต ได้แก่ NK 16/3 และ NK 21/2 เป็นเชื้อ *Bacillus megaterium* ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงสุด 1.17 และ 1.78 กรัมต่อลิตร เพิ่มค่าเม็ดดินที่เสถียรในสภาพห้องปฏิบัติการจาก 35.59 เปอร์เซ็นต์ เป็น 51.81 และ 51.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการผลิตผลิตภัณฑ์แบคทีเรียโดยใช้วัสดุรองรับ ได้แก่ ปุ๋ยหมัก เพอร์ไลต์ และถ่านแกลบ สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ 5 - 6 เดือน และการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก ในดินกรดและดินเค็มสภาพแปลงทดลอง ให้ผลผลิตข้าวโพดหวาน 1,113 และ 724 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุม 68.19 และ 100.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และให้รายได้สุทธิ 5,267 และ 1,766 บาทต่อไร่ ตามลำดับ

คำสำคัญ : จุลินทรีย์ สารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ดินเค็ม ดินกรด และข้าวโพดหวาน
ทะเบียนวิจัย : 58 - 59 - 17 - 09 - 020001 - 005 - 105 - 03 - 23

Isolation of effective exopolysaccharide producing microorganisms for utilization in saline and acid soil

Nuanjun Chaba Junjira saengsileung Panida Prepremmote
Soil Biotechnology Division Land Development Department
Vuttichai Juntarasombat
Land Development Regional Office 3 Land Development Department

Abstract

The objectives of this research were to select effective exopolysaccharide (EPS) producing bateria in saline and acid conditions, study on the formulation of bacteria for soil improvement and increasing growth and yield of sweet corn. The experiments were conducted during 2014 - 2016 in Laboratory and green house at Soil Biotechnology Division, Land Development Department. Field experiment was conducted at farmer farms in Nakhon Ratchasima and Khon Kaen province. Soil samples were collected to select EPS producing bacteria at 4 pH levels such as 5.0, 5.5, 6.5 and 7.0 and 4 NaCl concentrations namely 0 , 37.5 , 75.0 and 150 mM. Then EPS producing bacteria on soil aggregate stability were evaluated in laboratory. Microbial formulation was studied. Finally the application rate of EPS producing bacteria on Insee 2 sweet corn hybrid were conducted in green house and field condition on Korat and Kula Ronghai Soil Series by using randomized complete block design with 3 replications of 9 treatments were including T1: control, T2: chemical fertilizers based on soil fertility analysis, T3: cow manure, T4 - T6: EPS producing bacteria at the rate of 300 kg per rai with cow manure and a haft rate of chemical fertilizers based on soil fertility analysis and T7 - T9: same as T4 - T6 but increasing EPS producing bacteria to 500 kg per rai. The results showed that two effective EPS producing bacteria isolates were NK 16/3 and NK 21/2. They were *Bacillus megaterium* 2 isolates which produced maximum EPS quantity 1.17 g l^{-1} and 1.78 g l^{-1} respectively and could increase soil aggregate stability from 35.59 to 51.81 and 51.83 % respectively. Compost, perlite and rice husk charcoal were suitable microbial carriers. They could preserve microbial products for 5 to 6 months. Finally the result in field experiment in acid soil and saline soil showed that 500 kg per rai of microbial product incorporated with cow manure had the highest corn yield. There was 1,113 and 724 kg per rai and increased from control 68.19 and 100.56 % respectively. Moreover net income was 5,267 and 1,766 baht per rai respectively.

Keywords : Microorganisms, Exopolysaccharide, Saline soil, Acid soil, Sweet corn
Research registration number : 58 - 59 - 17 - 09 - 020001 - 005 - 105 - 03 - 23

คำนำ

เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (exopolysaccharide, EPS) เป็นสารโพลิเมอร์อินทรีย์ (organic polymer) ที่จุลินทรีย์หลายชนิดซึ่งอาศัยอยู่บริเวณรากพืชผลิตออกมานอกเซลล์ในลักษณะเป็นเมือก (slime) หรืออยู่กับเซลล์ในรูปของแคปซูล (capsules) ซึ่งสารโพลิแซ็กคาไรด์มีลักษณะเป็นสารเหนียว มีความหนืด ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด เช่น น้ำตาลกาแลคโตส (galatose) กลูโคส (glucose) อาราบิโนส (arabinose) ไซโลส (xylose) แรมโนส (rhamnose) และกรดยูโรนิก (uronic acid) เป็นต้น (Berg *et al*., 1995; Hu *et al.,* 2003) สารดังกล่าวมีการนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน ทั้งด้านอุตสาหกรรมอาหาร และด้านการเกษตร ในด้านการเกษตรสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มีความสำคัญต่อการปรับปรุงบำรุงดิน จะช่วยทำให้ดินเกิดเม็ดดินและโครงสร้างดินได้ดีขึ้น รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Hu *et al.*, 2003) นอกจากนี้การนำเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มาใช้ในการปลูกพืชในพื้นที่ดินเค็มจะช่วยป้องกันความเป็นพิษและลดการนำโซเดียมไอออนเข้าสู่เซลล์พืช ส่งผลให้พืชทนทานต่อความเครียดออสโมติก (Qurashi and Sabri, 2012) จึงช่วยป้องกันผลกระทบของความเค็มสูงต่อพืชและจุลินทรีย์ดินด้วย โดยเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จะช่วยทำให้เกิดการยึดเกาะของดินกับรากพืช หรือมีลักษณะเป็นไรโซชีท (rhizosheath) ทำให้การลำเลียงโซเดียมไอออนเข้าสู่ชั้นสตีล (stele) ของรากพืชลดลง และจำกัดการลำเลียงโซเดียมไอออนจากรากสู่ใบพืชด้วย (Kasotia *et al*., 2016) จึงทำให้การสะสมของโซเดียมในราก และส่วนเหนือดินลดลง (Ashraf *et al*., 2004) นอกจากนี้เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ยังช่วยปกป้องแบคทีเรียจากสภาวะความเครียดที่เกิดจากความเป็นกรดได้ (Liu *et al*., 2015) จึงทำให้แบคทีเรียสามารถปกป้องเซลล์จากสภาวะที่เป็นกรด รวมทั้งแบคทีเรียสามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในสภาวะดังกล่าวได้ จึงช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินกรด ซึ่งดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นดินทรายและดินกรด จากข้อมูลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 4.6 - 5.5 ซึ่งเป็นดินกรดจัดมากถึงกรดจัดคิดเป็น 56.45 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนตัวอย่างดินที่เก็บข้อมูล (กรมพัฒนาที่ดิน, 2588) ดังนั้นแนวทางการใช้ประโยชน์ของสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในการปรับปรุงดินเค็มและดินกรด ที่เป็นดินปัญหาสำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินทราย ซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ มีการชะล้างธาตุอาหารสูง ทำให้บริเวณผิวดินแห้งเร็ว ในพื้นที่ดินเค็มจะมีผลทำให้เกลือใต้ดินสามารถแทรกซึมสู่ผิวดินได้มากขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อระบบรากพืชและการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ปัญหาการชะล้างธาตุอาหารพืชในดินส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยของพืชลดลง จึงทำให้ผลผลิตพืชลดลงตามไปด้วย จากสมบัติของสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ดินในบริเวณรากพืช จึงเป็นเทคโนโลยีชีวภาพที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน โดยเฉพาะพื้นที่ดินเค็ม และดินกรดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย อย่างไรก็ตามการนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในพื้นที่การเกษตรนั้น นอกจากการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่อยู่ในรูปแบบที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายและสะดวก รวมทั้งยังคงมีประสิทธิภาพ และมีการเก็บรักษาได้นาน ซึ่งการผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมีหลายรูปแบบแต่ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ และวัสดุรองรับจุลินทรีย์ เป็นต้น ปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลต่อการมีชีวิตรอดของเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งโดยทั่วไปวัสดุรองรับที่ใช้ส่วนใหญ่ ได้แก่ พีท มีคุณสมบัติเหมาะสมเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ แต่ในปัจจุบันการใช้พีทเป็นวัสดุรองรับมีต้นทุนในการผลิตสูง จึงมีการวิจัยชนิดของวัสดุที่เหมาะสมมาทดแทนการใช้พีท เช่น ขี้เลื่อย ทาลค์ ขุยมะพร้าว

ชานอ้อย ปุ๋ยหมัก ผงถ่านแกลบ (Muniruzzaman and Khan, 1992) โดยวัสดุเหล่านั้นควรจะมีคุณภาพที่คงที่ หาได้ง่ายภายในประเทศ มีปริมาณมากใช้ได้อย่างต่อเนื่อง ราคาไม่แพง และสิ่งที่สำคัญคือ ต้องคงสภาพความมีชีวิตของจุลินทรีย์จนถึงการนำไปใช้ประโยชน์ในแปลงได้ในปริมาณมากเพียงพอ และสามารถเกิดกิจกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งผลิตภัณฑ์จะเป็นที่ยอมรับของเกษตรกรหรือผู้ใช้ต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่ง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ด้วย ดังนั้นการศึกษาวิจัยคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ รวมทั้งพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์ไปแนะนำส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่การเกษตร จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาวิจัยทั้งการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพจากดินบริเวณรอบรากพืชที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างๆ ในประเทศไทย รวมทั้งวิจัยการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ และวิธีการใช้ประโยชน์ในพื้นที่การเกษตรอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1) เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ทนกรดและเค็มที่มีประสิทธิภาพในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์
2) ศึกษารูปแบบการผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์
3) ศึกษาผลของจุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อการปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าวโพดหวานในพื้นที่ดินกรด และดินเค็ม

การตรวจเอกสาร

1. ดินกรดและการจัดการ

ดินกรดเป็นดินที่มีปริมาณธาตุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cations) ส่วนใหญ่เป็นไฮโดรเจนอิออน และหรือไฮเดรตอะลูมินัมอิออนในรูปต่างๆ ซึ่งเมื่อธาตุประจุบวกที่เป็นกรดเหล่านี้แตกตัวออกมาจากดินที่ดูดซับไว้ก็จะให้อนุมูลอิสระของไฮโดรเจนออกมาในสารละลายดิน ทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า 7 เมื่อมีการแตกตัวออกมามาก อนุมูลอิสระของไฮโดรเจนในสารละลายดินก็ยิ่งมีมาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่วัดได้ก็จะยิ่งต่ำมาก (เจริญ และคณะ, 2540) ดินกรดพบกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย จากการรายงานของกรมพัฒนาที่ดิน (2558) พบว่าสถานภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดินบนในประเทศไทย สำรวจจากข้อมูลการตรวจวิเคราะห์ดินทั้งประเทศระหว่างปี 2548 ถึง 2552 จำนวน 76,237 จุด ความเป็นกรดเป็นด่างของดินในประเทศไทย ส่วนใหญ่กระจายอยู่ในช่วงเป็นกรดจัดถึงกรดจัดมาก มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 4.6 - 5.5 คิดเป็น 46.83 เปอร์เซ็นต์ ของข้อมูลทั้งหมด โดยค่าช่วงความเป็นกรดเป็นด่างของดินดังกล่าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ และภาคตะวันออก คิดเป็นสัดส่วนสูงถึง 47.17 - 58.17 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนข้อมูลในแต่ละภาค ดินกรดเกิดจากสาเหตุหลายประการ ไดแก่ เกิดจากการชะละลายธาตุที่เปนดางออกไปจากดิน เช่น แคลเซียม และแมกนีเซียม ทั้งจากน้ำฝนและน้ำทา การใช้ปุ๋ยเคมีต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานก็จะส่งผลให้ดินเป็นกรดได้ โดยปุ๋ยเคมีที่ก่อให้เกิดกรด ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียม และปุ๋ยยูเรีย เนื่องจากหลังการใส่ปุ๋ยกลุ่มนี้ลงไปในดินระยะหนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงของปุ๋ยในดินทำให้ไฮโดรเจนไอออนในดินสูงขึ้น เนื่องจากแอมโมเนียมไอออนจากปุ๋ยแอมโมเนียม หรือแอมโมเนียมไอออนจากการแปรสภาพของปุ๋ยยูเรียถูกจุลินทรีย์ดินออกซิไดส์ให้เป็นไนไทรต์ไอออนและไนเทรตไอออน ตามลำดับ เรียกว่ากระบวนการไนทริฟิเคชัน โดยปฏิกิริยาแรกของการเปลี่ยนแปลงจากแอมโมเนียมไอออนจำนวน 2 ไอออนไปเป็นไนไทรต์ไอออนจำนวน 2 ไอออนนั้น จะเกิดไฮโดรเจนไอออนจำนวน 4 ไอออน การเพิ่มไฮโดรเจน

ไอออนในดินนี้เองที่ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีแนวโน้มลดลง แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของยูเรียหรือแอมโมเนียมไอออนจนได้ไฮโดรเจนไอออนเกิดเฉพาะในดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี เช่น ดินไร่ สำหรับในดินนานั้น ยูเรียจะสลายให้แอมโมเนียมไอออนซึ่งแอมโมเนียมไอออนนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงเป็นไนเทรตจึงไม่มีไฮโดรเจนไอออนเกิดขึ้นและไม่มีผลกระทบต่อสภาพกรดของดินนาน้ำขัง สำหรับปริมาณของไฮโดรเจนไอออนที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการไนทริฟิเคชันนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ อัตราปุ๋ยแอมโมเนียม และปุ๋ยยูเรียที่ใส่ในดิน และความถี่ของการใส่ปุ๋ยนี้ในอัตราดังกล่าว รวมทั้งปริมาณของแอมโมเนียมที่คงเหลือในดิน และเข้าสู่กระบวนการออกซิเดชันโดยจุลินทรีย์ดิน ซึ่งการใส่ปุ๋ยดังกล่าวในอัตราที่สูงเกินไป ไม่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ดิน และใส่ในเวลาที่ไม่เหมาะสม จะเหลือแอมโมเนียมในดินซึ่งเข้าสู่กระบวนการไนทริฟิเคชันมาก จึงมีไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้นมาก และมีผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลงมากด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ปุ๋ยลักษณะเดียวกันในดินเนื้อหยาบและอินทรียวัตถุต่ำ จะทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงมากกว่าใส่ในดินเนื้อละเอียดและมีอินทรียวัตถุสูง (ยงยุทธ, 2560) และอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ดินเป็นกรด คือ การใชสารเคมีตางๆ ที่มีกำมะถันเปนองคประกอบและความเปนกรดที่มาจากอากาศในแหลงใกลเคียงกับโรงงานอุตสาหกรรมที่ใชถานหินหรือน้ำมันเตาเปนเชื้อเพลิงอยู่หนาแนน ซึ่งดินกรดที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอย่างรุนแรงในเขตร้อนชื้น มีลักษณะเฉพาะคือ มีระดับศักยภาพความเป็นพิษของไฮโดรเจน อะลูมินัม แมงกานีส และเหล็ก และมีแนวโน้มที่จะขาดแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมในสารละลายดิน ดินกรดโดยทั่วไปจึงเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ มีปัญหาทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ เช่น ด้านกายภาพของดิน มีการชะล้างพังทลายสูง อัตราการซาบซึมน้ำต่ำถึงสูง และง่ายต่อการแน่นทึบของดิน ด้านเคมีของดิน เช่น อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้สูง และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ เป็นต้น (Humpreys, 1990) ดังนั้น ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มักจะเป็นผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต สำหรับการจัดการดินกรดนั้น เนื่องจากปัญหาดินกรดส่งผลทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน จึงจำเป็นต้องเข้าใจปัญหาของดินกรดแต่ละชนิดเพื่อให้มีการจัดการที่ถูกต้องและเหมาะสม โดยทั่วไปเริ่มจากการแก้ปัญหาทางเคมีของดิน (ศุภมาศ และคณะ, 2559) การใช้ปูนทางการเกษตร เช่น ปูนมาร์ล โดโลไมต์ ก็จะช่วยลดสภาพความเป็นกรดได้ดี สำหรับการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน สามารถทำได้โดยการเติมธาตุอาหาร และการใช้อินทรียวัตถุในการปรับปรุงกายภาพของดิน เป็นต้น เนื่องจากดินกรดส่วนใหญ่มีอินทรียวัตถุต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) สำหรับแนวทางในการจัดการดินกรดอื่นๆ มีรายงานการวิจัยการใช้จุลินทรีย์ในดินกรด แต่เนื่องจากดินกรดเป็นปัจจัยที่จำกัดจำนวนและความหลากหลายของจุลินทรีย์ดิน (Goswami *et al.,* 2017) ดังนั้นจุลินทรีย์ที่จะนำมาใช้จึงต้องสามารถเจริญในสภาพที่เป็นกรดได้ด้วย ซึ่งจากรายงานการศึกษากลไกของจุลินทรีย์ที่ผลิตไบโอฟิล์มที่มีส่วนประกอบของเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มีผลทำให้จุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาวะความเครียดจากกรดได้ (Liu *et al*., 2015) ดังนั้นเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จึงมีความสำคัญที่จะช่วยทำให้แบคทีเรียสามารถอยู่รอดได้ในสภาวะเครียดจากความเป็นกรดของดิน จากการศึกษาของ Deka *et al*. (2019) ได้แยกและคัดเลือกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ทนกรดที่ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง 4.5 และ 5.0 พบว่า *Bacillus amyloliquefaciens* p16 สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด 219.66 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียสามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงในสภาพที่เป็นกรด รวมทั้งแบคทีเรียสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาพความเป็นกรดได้ จึงเป็นแนวทางในการนำแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถทนต่อกรดมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินกรด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อหยาบ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) สารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ช่วยทำให้เกิดเม็ดดิน เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ

และธาตุอาหารพืชในดิน รวมทั้งยัง เพิ่มกิจกรรมเอนไซม์ เช่น เบต้ากลูโคซิเดส (β - glucosidase) เอริลซัลฟาเทส (arylsulphatase) โปรติเอส (protease) ฟอสโฟโมโนเอสเทอเรส (phosphomonoesterase) และ ยูริเอส (urease) (Alami *et al*., 2000; Lynch and Bragg, 1985) ซึ่งจะส่งผลให้ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชด้วย มีรายงานการใช้จุลินทรีย์เพื่อการปรับปรุงดินทางกายภาพ โดยศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่าย *Nostoc muscorum* TISTR 9054 ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ พบว่า การเติมสารโพลิแซ็กคาไรด์ที่หลั่งออกนอกเซลล์ลงไปในดินจะช่วยฟื้นฟูโครงสร้างของดินได้มากกว่าการเติมชีวมวลสดของสาหร่าย โดยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ ความพรุนของดิน เม็ดดินที่มีความเสถียรต่อแรงกระทำของน้ำ และลดความหนาแน่นรวมของดิน (สุพรรณษา, 2550) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการศึกษาการใช้เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินโดยตรง

2. ดินเค็มและการจัดการ

ดินเค็มเป็นดินที่มีเกลือละลายได้ในสารละลายดินปริมาณมาก จนส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช จะพบคราบเกลือเป็นหย่อมๆ โดยเฉพาะในฤดูแล้ง พืชมักแสดงอาการใบไหม้ ลำต้นแคระแกร็น พืชตายเป็นหย่อมๆ ดินเค็มมีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำมากกว่า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร (dS m^{-1}) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่าสัดส่วนโซเดียมที่ดูดซับได้ (Sodium Adsorption Ratio, SAR) ต่ำกว่า 13 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558; Abrol *et al*., 1988) โดยกรมพัฒนาที่ดินได้ใช้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำมากกว่า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร จัดว่าเป็นดินเค็ม เนื่องจากปริมาณของเกลือในระดับดังกล่าวจะส่งผลที่เป็นอันตรายต่อพืช ซึ่งพืชที่ไวต่อเกลือจะมีการเจริญเติบโตลดลงมากเมื่อปลูกในดินซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเพียง 2 เดซิซีเมนต่อเมตร แต่พืชทนเค็มจะมีการเจริญเติบโตลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออยู่ในดินซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าตั้งแต่ 8 เดซิซีเมนต่อเมตรขึ้นไป (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้จัดระดับความเค็มตามการตอบสนองของพืช 4 ระดับ ซึ่งในแต่ละระดับความเค็มจะส่งผลกระทบต่อพืชที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย ค่าการนำไฟฟ้า 2 - 4 เดซิซีเมนต่อเมตร จัดเป็นดินเค็มน้อย พืชบางชนิดแสดงอาการ ค่าการนำไฟฟ้า 4 - 8 เดซิซีเมนต่อเมตร จัดเป็นดินเค็มปานกลาง พืชทั่วไปแสดงอาการ ค่าการนำไฟฟ้า 8 - 16 เดซิซีเมนต่อเมตร จัดเป็นดินเค็มมาก พืชทนเค็มบางชนิดเจริญเติบโตและให้ผลผลิต และค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 16 เดซิซีเมนต่อเมตร จัดเป็นดินเค็มจัด พืชชอบเค็มเท่านั้นที่เจริญเติบโตให้ผลผลิตได้ (สมศรี, 2539) ดินเค็มในประเทศไทยเกิดจากการสะสมของเกลือที่มาจากการละลายของโดมเกลือหรือจากน้ำใต้ดินที่มีเกลือละลายน้ำอยู่มาก หรือพื้นที่ที่เคยมีน้ำทะเลท่วมถึงมาก่อน และเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำทะเลและตะกอนน้ำกร่อยอยู่ใต้ตะกอนน้ำจืด หรือเกิดจากอิทธิพลของน้ำทะเลท่วมถึงหรือเคยท่วมมาก่อน กรมพัฒนาที่ดิน (2558) ได้รายงานประเภทดินเค็มในประเทศไทย ประกอบด้วยดินเค็มบก และดินเค็มชายทะเล สำหรับดินเค็มบก ได้แก่ ดินเค็มบกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นดินที่มีการสะสมเกลือจากการละลายเกลือของหินเกลือหรือจากน้ำใต้ดินที่มีเกลือละลายอยู่มาก ทำให้พบชั้นสะสมเกลือมาก มีเนื้อที่รวม 2,207,544 ไร่ ดินเค็มบกภาคกลาง เป็นพื้นที่ที่เคยมีน้ำทะเลท่วมถึงมาก่อน และเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำทะเลและตะกอนน้ำกร่อยอยู่ใต้ตะกอนน้ำจืด มีพื้นที่ประมาณ 54,644 ไร่ สำหรับดินเค็มชายทะเลได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลโดยตรง พบกระจัดกระจายทั่วไปในพื้นที่ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ รวมเนื้อที่ 1,955,131 ไร่ ผลกระทบของดินเค็มต่อการปลูกพืช ดินเค็มถือว่าเป็นดินที่มีศักยภาพในการผลิตต่ำ เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ส่งผลทำให้พืชขาดน้ำ ความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช และมีไอออนที่เป็นพิษสะสมในพืชมากเกินไป เช่น โซเดียม และคลอไรด์ (Luttge *et al*., 1984; Sharma, 1984) แต่อย่างไรก็ตาม ความรุนแรงของ

ผลกระทบจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดพืชพันธุ์ ระยะการเจริญเติบโต และปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (Ponnamperuma and Banyopadhya, 1980) นอกจากนี้ดินเค็มยังส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ เสถียรภาพเม็ดดิน ความหนาแน่นรวม การแพร่กระจายของน้ำในชั้นดิน และการซาบซึมน้ำของดิน เนื่องจากโซเดียมไอออนเป็นตัวการฟุ้งกระจาย (dispersing agent) เมื่อโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ถูกดูดซับด้วยอนุภาคดินเหนียวตั้งแต่ 15 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป อนุภาคดินเหนียวจะไม่เกาะยึดกันเป็นเม็ดดิน ทำให้เสถียรภาพของเม็ดดินต่ำ และทำให้ความหนาแน่นของดินสูงขึ้น ปริมาณช่องว่างในดินลดลง และส่งผลต่อการซาบซึมน้ำของดินลดลง (ศุภมาศ และคณะ, 2559) นอกจากนี้ปริมาณโซเดียมสูงในดินยังส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ดินโดยโซเดียมมากกว่า 0.15 โมลลาร์ มีผลทำให้มีแรงดันออสโมติกสูง น้ำแพร่กระจายออกนอกเซลล์ทำให้เซลล์เหี่ยว (Chookietwattana, 2003) สำหรับการจัดการดินเค็มโดยทั่วไป (สมศรี, 2539; Arunin and Pongwichian, 2015) ได้แก่ การปรับปรุงดินเค็มน้อยและปานกลาง เพื่อเพิ่มผลผลิตพืช โดยการปรับรูปแปลงนา และใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุ การใช้แกลบช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินทำให้ดินร่วนซุย เพิ่มความสามารถในการซาบซึมน้ำของดิน ลดผลกระทบของความเค็มต่อพืช (Chang and Sipio, 2002) การคลุมดินด้วยแกลบหรือฟางข้าวจะช่วยรักษาความชื้นในดิน ลดการสูญเสียความชื้นจากการระเหย และไม่ให้เกลือที่ละลายอยู่กับน้ำขึ้นมาสะสมที่ผิวดิน จึงส่งผลต่อการลดความเค็มของดินได้ (Dhawan and Mahajan, 1986) แต่มีข้อจำกัด คือ ปัจจุบันมีการนำแกลบไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ทำให้แกลบหายาก และมีราคาแพงขึ้น ทำให้เกษตรกรมีการใช้น้อยลง สำหรับการฟื้นฟูพื้นที่ดินเค็มจัด โดยการปลูกพืชชอบเกลือ พืชทนเค็มจัด เพื่อฟื้นฟูสภาพนิเวศน์ รวมทั้งการป้องกันการแพร่กระจายดินเค็มสามารถทำได้โดย การปลูกไม้โตเร็ว เช่น ยูคาลิปตัส สะเดา กระถิน ขี้เหล็ก ไผ่ เป็นต้น บนพื้นที่เนินที่เป็นพื้นที่รับน้ำ เพื่อลดระดับน้ำใต้ดินที่จะไหลไปเติมในที่ลุ่ม

นอกจากนี้ความเค็มของดินเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความหลากหลายของจุลินทรีย์ เป็นตัวควบคุมการแพร่กระจาย โครงสร้างประชากร และบทบาทหน้าที่ของจุลินทรีย์ (Ibekwe *et al*., 2010) แต่อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาวิจัยจุลินทรีย์ที่คัดเลือกจากพื้นที่ดินเค็มเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านสิ่งแวดล้อม มีการใช้จุลินทรีย์ทนเค็มในการกำจัดโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง โครเมียม ซีลีเนียม เวเนเดียม และ สังกะสี (Nieto *et al*., 1989) จากการายงานของ D'Souza *et al*. (2001) พบว่า แบคทีเรียชอบเค็มสกุล *Halomonas* สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีซีลีเนต ความเข้มข้น 2 โมลาร์ และ เกลือ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแบคทีเรียชอบเค็มปานกลางสามารถเปลี่ยนซีลีเนตไปเป็นสารไม่มีพิษ คือ Dimethylselenite โดยมีอัตราการเปลี่ยนซีลีเนตไปเป็นสารไม่มีพิษ เท่ากับ 1.65 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง นอกจากนี้แบคทีเรียชอบเค็มที่คัดแยกจากเหมืองบริเวณทะเลเดดซี (Dead sea) สามารถเจริญได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นของเกลือ 5 - 12 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้ 84 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีตะกั่วความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม (ppm) นาน 2 สัปดาห์ และการดูดซับแคดเมียม 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีแคดเมี่ยมความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม นาน 3 สัปดาห์ (Massadeh *et al*., 2005) สำหรับการนำจุลินทรีย์ชอบเค็มมาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรนั้น มีรายงานพบว่าจุลินทรีย์ชอบเค็มที่สามารถผลิตสารโพลิเมอร์ชีวภาพชนิดต่างๆ เช่น สารโพลิแซ็กคาไรด์ ที่มีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว สารช่วยตกตะกอน (Bioflocculant) (ศิริลักษณ์, 2553) และยังมีสมบัติเป็นสารเชื่อมอนุภาคดิน จึงส่งผลทำให้การเกิดเม็ดดินดีขึ้น (Nisha *et al*., 2007) จึงช่วยปรับปรุงดินทั้งทางด้านกายภาพและเคมี รวมทั้งการผลิตพืช (Ashraf *et al*., 2005; Batool and Hasnain, 2005) สำหรับบทบาทของสารโพลิแซ็กคาไรด์ต่อการลดผลกระทบจากโซเดียมไอออนในการปลูกพืชในดินเค็มนั้น กล่าวได้ว่าเมื่อพิจารณาถึงศักยภาพ

ของแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ในการจับกับแคทไอออนรวมทั้งโซเดียมไอออน อาจจะกล่าวได้ว่าการเพิ่มประชากรของแบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในพื้นที่อาณาเขตรากพืชจะลดปริมาณโซเดียมที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืช ซึ่งช่วยลดผลกระทบของความเครียดของพืชที่เกิดจากสภาวะความเค็ม (Geddie and Sutherland, 1993) จากการศึกษาของ Ashraf *et al.* (2004) โดยศึกษาการใช้แบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ จำนวน 5 สายพันธุ์ ที่อยู่ในสกุล *Aeromonas* และ *Bacillus* เพื่ออธิบายบทบาทของเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในการลดความเครียดของเกลือในต้นกล้าข้าวสาลีที่ปลูกในดินเค็มปานกลาง ต่อน้ำหนักแห้งของราก และการดูดใช้โพแทสเซียมไอออน โซเดียมไอออน และ แคลเซียมไอออน ซึ่งแบคทีเรียทั้ง 5 สายพันธุ์ได้แยกจากดินบริเวณรากของข้าวสาลีที่ปลูกในดินเค็ม ได้แก่ *Aeromonas hydrophila*/caviae (MAS-765) *B. insolitus* (MAS17) และ *Bacillus* sp. (MAS617, MAS620 และ MAS820) ผลการทดลองพบว่า การใช้แบคทีเรียทำให้ปริมาณโซเดียมไอออนในรากพืชน้อยกว่าตำรับการทดลองที่ไม่ใช้แบคทีเรีย ซึ่งอาจเกิดจากการลดการเคลื่อนย้ายโซเดียมไอออนไปยังชั้นสตีลของรากพืช เนื่องจากมีสิ่งห่อหุ้มรากพืช เรียกว่า ไรโซชีทต์ ที่เกิดจากเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่มีลักษณะเป็นเมือกเหนียวเชื่อมอนุภาคดินกับราก โดยจะช่วยในการเพิ่มสัดส่วนบริเวณรากให้กว้างขึ้น จึงทำให้จำกัดการเคลื่อนย้ายโซเดียมไอออนจากดินสู่รากพืชโดยวิถีอะโพพลาสต์ จึงส่งผลให้การเคลื่อนย้ายโซเดียมไอออนจากรากสู่ใบลดลง แต่จะไม่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายโพแทสเซียมไอออน ดังจะเห็นจากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมไอออนที่สะสมในรากและส่วนเหนือดินตำรับการทดลองที่มีการใช้แบคทีเรียไม่มีผลทำให้มีความแตกต่างจากตำรับการทดลองที่ไม่ใช้แบคทีเรีย สำหรับการสะสมโซเดียมไอออนในพืช พบว่าตำรับการทดลองที่ใช้แบคทีเรีย มีปริมาณโซเดียมไอออนในรากและส่วนเหนือดินน้อยกว่าตำรับการทดลองที่ไม่ใช้แบคทีเรีย 21 - 61 เปอร์เซ็นต์ และ 33 - 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองกล่าวได้ว่า การใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ส่วนใหญ่มีอัตราส่วนของโพแทสเซียมไอออนต่อโซเดียมไอออน (K^+/Na^+) ที่สะสมในพืช โดยเฉพาะส่วนเหนือดินมากกว่าตำรับการทดลองที่ไม่ใช้แบคทีเรีย ซึ่งอาจเกิดจากสภาพคัดเลือก (selectivity) ของไอออนเข้าสู่เซลล์พืช โดยจากผลการศึกษาการดูดโพแทสเซียมขอรากข้าวบาร์เลย์จากสารละลายที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอออน 0.005 - 0.02 มิลลิโมลาร์ ปรากฏว่าแม้ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์จะมีโซเดียมอยู่ 0.5 มิลลิโมลาร์ ก็ไม่มีผลต่อการดูดโพแทสเซียม เนื่องจากมีพาหะที่จำเพาะต่อโพแทสเซียมและมีสัมพรรคต่อโซเดียมต่ำ (Epstein, 1972) รวมทั้งในเซลลพืชโซเดียมไอออนจะเข่าสู่ไซโทพลาสซึมโดย Na^+ transporter และ K^+/Na^+ transporter ทำใหโซเดียมไอออนในไซโทพลาสซึมมีมาก พืชจะขับโซเดียมไอออนไปเก็บไวที่แวคิวโอลเพื่อไมใหเปนอันตรายตอเซลลโดยอาศัยแรงขับจากความตางศักยของโปรตอน H^+ - ATPases และ H^+ - PPiase จะขับไฮโดรเจนไอออนออกจากไซโทพลาสซึมไปสะสมไวที่ แวคิวโอ จากนั้น Na^+/H^+ antiporter จะขับโซเดียมไอออนออกจากไซโทพลาสซึมแลกกับไฮโดรเจนไอออนในแวคิวโอล (Apse and Blumwald, 2007; Blumwald, 2000) นอกจากนี้ การใช้แบคทีเรียยังช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวสาลีซึ่งวัดจากน้ำหนักแห้งของรากและส่วนเหนือดินอย่างมีนัยสำคัญ โดยเพิ่มขึ้น 149 - 527 เปอร์เซ็นต์ และ 85 - 281 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมทั้งเพิ่มอัตราส่วนของน้ำหนักดินบริเวณรอบรากพืชต่อน้ำหนักรากพืช 176 - 790 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักแห้งของรากและส่วนเหนือดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแบคทีเรียในบริเวณรากพืช และปริมาณแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้

3. ความหมายและความสำคัญของเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เป็นโพลิแซ็กคาไรด์ประเภทหนึ่งที่หลั่งและปล่อยออกมานอกเซลล์ของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดเพื่อปกป้องตัวเซลล์จากสิ่งอันตรายรอบนอกเซลล์ และเป็นแหล่งคาร์บอนและ

พลังงานสำรองให้เซลล์เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง การขาดธาตุอาหาร (Andhare *et al*., 2014; Kumar *et al*., 2007) ซึ่งเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ โดยมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 10^6 ดาลตัน (Agira *et al*., 1992) ประกอบด้วยน้ำตาลเชิงเดี่ยวมากกว่าหนึ่งชนิดเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกเป็นสายยาว และอาจมีการแตกแขนงหรือไม่แตกแขนงก็ได้ (Ying *et al*., 2006) โพลิแซ็กคาไรด์สามารถแบ่งตามชนิดของหน่วยที่ซ้ำกันในโมเลกุลได้ 2 ประเภท คือ ฮอโมโพลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) เป็นโพลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำกันของมอนอแซ็กคาไรด์เพียงหนึ่งชนิดมาเชื่อมต่อกัน ซึ่งจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถผลิตฮอโมโพลิแซ็กคาไรด์ เช่น *Aureobasidium pullulans Leuconostoc* sp. *Streptococcus* sp. และ *Acetobacter* sp. (Seo *et al*., 2004) สำหรับเฮเทอโรโพลิแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) ประกอบด้วยหน่วยซ้ำกันของมอนอแซ็กคาไรด์ต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อกัน เช่น แซนแทน ซึ่งสามารถผลิตได้จากแบคทีเรีย *Xanthomonas* sp. และเจลแลนที่สามารถผลิตได้โดยแบคทีเรีย *Sphingomonas* sp. เป็นต้น (Clementi, 1997; Pananiraj and Jayaraman, 2011; Yang *et al*., 2015)

4. จุลินทรีย์ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่อยู่ภายนอกเซลล์จุลินทรีย์ โดยพบว่าแบคทีเรียมีส่วนประกอบของเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 40 - 95 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (Flemming and Wingender, 2010) แบคทีเรียจะผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในช่วงการเจริญโดยผลิต 2 รูปแบบ คือ แบบสารเมือกเป็นโพลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นเมือกเหนียวเกาะกันอย่างหลวมๆ อยู่ภายนอกเซลล์ และแบบแคปซูล เป็นโพลิแซ็กคาไรด์ที่สะสมที่ผิวหน้าเซลล์ด้วยพันธะโควาเลนต์ (Vanhooren and Vandamme, 1998) โดยจะช่วยรักษาเซลล์จุลินทรีย์จากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง (Dudman, 1977) ซึ่งจุลินทรีย์จะสังเคราะห์เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ง่าย รวดเร็ว มีปริมาณมากกว่าสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ และยังสามารถควบคุมสภาวะที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์โพลิแซ็กคาไรด์ให้ได้ปริมาณมากอีกด้วย (Khan *et al*., 2007) นอกจากนี้เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์จะมีความปลอดภัยสูง ย่อยสลายได้ง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการศึกษาวิจัยและนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านต่างๆ เช่น อุตสาหกรรม อาหาร ยา การแพทย์ เครื่องสำอางค์ ด้านการเกษตร และสิ่งแวดล้อม (Kodali *et al*., 2009; Fan *et al*., 2007; Ashraf *et al*., 2005) จุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินมีหลายชนิด เช่น *A. hydrophila/caviae B. insolitus Anabaenopsis* sp. *Anabaena* sp. และ *N.* sp. เป็นต้น (Malam *et al*., 2001) โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีความสามารถในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่แตกต่างกัน โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์จุลินทรีย์ ระยะเวลา และอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งจากการศึกษาของ Bejar *et al*. (1998) ได้ทำการแยกแบคทีเรียชอบเค็ม (halophilic bacteria) *Halamonas eurihalina* 19 สายพันธุ์ พบว่า H. *eurihalina* H212 สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ในปริมาณมากที่สุดโดยมีปริมาณ 1.6 กรัมต่อลิตร สำหรับการศึกษาของ Quesada *et al*. (1993) ศึกษาการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรียชอบเค็มปานกลาง *Volcaniella eurihalina* สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุดหลังจากเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 8 วัน ในอาหาร MY มีปริมาณการผลิต 2.8 กรัมต่อลิตร และมีการศึกษาการแยกแบคทีเรียจากดินเค็มของพื้นที่บารามาติ (Baramati) ประเทศอินเดีย ได้ 5 ไอโซเลต และ 1 ไอโซเลตที่สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุดจัดอยู่ในกลุ่มอัลฟ่าโปรติโอแบคทีเรีย (Alpha Proteobacterium group) โดยเมื่อนำมาเลี้ยงในอาหารเชื้อที่มีความเข้มข้นของเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 3 วัน สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด 4.9 กรัมต่อลิตร (Sunil *et al*., 2013) นอกจากนี้ในประเทศไทย ลดาวัลย์ (2553) ได้แยกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากบริเวณชายฝั่งทะเลภาคใต้ของ

ประเทศไทย 3 สายพันธุ์ คือ *B. amyloliquefaciens* CNEP003 *Pseudoalteromonas ganghwensis* CNEP079 และ *B. subtilis* CNEP012 สามาถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ 3.07 2.87 และ 2.40 กรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง สำหรับเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะสามารถละลายน้ำได้ ทำให้ง่ายต่อการสกัด และแยกออกจากผนังเซลล์ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์โดยใช้วัตถุดิบที่หลากหลาย ดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับการนำจุลินทรีย์ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มาใช้ประโยชน์ในดินเค็มนั้น จะช่วยปกป้องพืชจากสภาพความเค็มได้ เนื่องจาก โดยทั่วไปแบคทีเรียที่อยู่บริเวณรอบรากพืชที่ปลูกในดินเค็ม จะสร้างมิวซิเจลซึ่งมีองค์ประกอบของโพลิแซ็กคาไรด์ (Vermeer and McCully, 1982) เพื่อปกป้องรากจากเกลือที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งจะเป็นลักษณะเดียวกันกับพืชที่เจริญในป่าชายเลน และพืชที่ชอบเค็มจะสร้างมิวซิเจล ในท่อลำเลียงน้ำของรากพืช และลำต้นพืช ซึ่งพบว่าการสร้างมิวซิเจลในพืชชอบเค็ม *Kosteletzkya virginica* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระดับของเกลือและองค์ประกอบของโพลิแซ็กคาไรด์ในส่วนต่างๆของพืช (Ghanem *et al*., 2010) สำหรับเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นนั้นจะพบในดินบริเวณรอบรากของพืชบกทั่วไป ซึ่งพบว่าแบคทีเรีย *A. hydrophilalcaviae* และ B. sp. ในดินบริเวณรอบรากข้าวสาลีที่ปลูกในดินเค็ม เมื่อนำมาใช้ในพื้นที่ดังกล่าวอีกครั้งจะสามารถยับยั้งการดูดใช้โซเดียมไอออนของรากพืชได้ (Ashraf *et al*., 2004) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Upadhyay *et al*. (2011) พบว่าการใช้แบคทีเรียบริเวณรอบรากพืชที่ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่แยกจากพื้นที่ดินเค็มปลูกข้าสาลี จะช่วยลดความเป็นประโยชน์ของโซเดียมไอออน และทำให้พืชทนต่อสภาพความเค็มที่ใช้ในการทดสอบได้

ตารางที่ 1 การผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยใช้ซับสเตรตต่างๆ

จุลินทรีย์	ซับสเตรต	ผลผลิต	เอกสารอ้างอิง
Alcaligenes faecalis var. *myxogenes* สายพันธุ์ 10C3LFO 13140	กลูโคส	เคอร์แลนด์	Harada, 1977
Azotobacter vinelandii สายพันธุ์ NBCI 9068	ซูโครส	อัลจิเนต	Deavin *et al*., 1977
Arthrobacter viscosus สายพันธุ์ NRRL B-1973	แลคโทส	โพลิเมอร์ของการแลคโทส กลูโคส และ กรดกลูคิวโรนิก	Stauffer and Leeder, 1978
Alcaligenes viscosud สายพันธุ์ NRRL B-1872	แลคโทส	ลีแวน	Stauffer and Leeder, 1978
Aureobasidium pullulans สายพันธุ์ S-1	ซูโครส	พูลลูแลน	Ono *et al.*, 1977
Erwine tahitica	แลคโทส ไฮโดรไลซิส สตาร์ช	เอวิเนียร์ กัม	Kang *et al*., 1977
Hansenular holstii	ไฮโดรไลซิส เวย์	ฟอสฟอแมนแนน	Stauffer and leeder, 1978
Leuconostoc mesenteroides สายพันธุ์ PCSIR-4 และ PCSIR-9	ซูโครส	เดกซ์แทรน	Qader *et al*., 2005
Pseudomonas viscogena สายพันธุ์ TS-1004	เมทานอล	โพลิเมอร์ของกาแลคโทส กลูโคส แมนโนส กรดกลูคิวโรนิก	Misaki *et al*., 1979
Sclerotium glucanicum	แป้ง	สแครอโรกลูแคน	Compere and Griffith, 1978
Serratia sp.	ซูโครส และกลูโคส	ลีแวน	Kojima *et al*., 1993
Xanthomonas fuscans	กลูโคส	โพลิเมอร์ของ ดี-กลูโคส ดี-แมนโนส 6-ดีออกซี-แอล-แมนโนส ดี-ไรโบส	Konicek *et al.*, 1977
X. campestris สายพันธุ์ NRRL B-1459	แลคโทส	แซนแทน	Stauffer and Leeder, 1978
Zymomonas mobilis สายพันธุ์ NCIB 8938	ซูโครส	ลีแวน	Dawes *et al*., 1966 ; Ribbons and Evans, 1962
Zoogloa ramigera สายพันธุ์ NRRL B-3669	แลคโทส	กาแลคโทกลูแคน	Stauffer and Leeder, 1978

ที่มา : ธิดารัตน์ (2552)

นอกจากนี้การผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์โดยจุลินทรีย์เพื่อให้มีประสิทธิภาพต่อการนำไปใช้ประโยชน์นั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ชนิดของจุลินทรีย์ และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ดังนี้

1) ชนิดของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ในธรรมชาติหลายกลุ่มสามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ แต่เมื่อมีการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องคัดเลือกจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ให้ได้ปริมาณมาก ใช้เวลาสั้น ทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี ใช้แหล่งคาร์บอนได้หลายชนิดโดยเฉพาะแหล่งคาร์บอนราคาถูก (Asai, 1968)

2) สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิต ได้แก่ แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน วิตามิน แร่ธาตุ อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง และออกซิเจน

2.1) แหล่งคาร์บอน (carbon source) เป็นแหล่งพลังงานและเป็นองค์ประกอบหลักของโพลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งแหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์สามารถใช้ได้ เช่น กลูโคส ฟรุกโทส กาแลกโทส แลกโทส มอลโทส และซูโครส เป็นต้น (Masaoka *et al*., 1993) จากการศึกษาของ Sunil *et al*. (2013) ศึกษาการแยกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากดินเค็ม พบว่า การใช้น้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งคาร์บอนมีผลทำให้แบคทีเรียสามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด และผลการศึกษาของ Celik *et al*. (2008) พบว่า แหล่งคาร์บอนที่ทำให้แบคทีเรีย *P. aeruginosa* G1 และ *P. putida* G12 สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด โดยใช้ไซเลส 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสามารถผลิตได้ 368 และ 262 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.2) แหล่งไนโตรเจน (nitrogen source) ไนโตรเจนมีความจำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ แต่ความต้องการไนโตรเจนของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน (BeMiller and Whistler, 1996) แหล่งไนโตรเจนของจุลินทรีย์มีทั้งอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น บีฟเอ็กซแทรกซ์ (beef extract) ยีสต์เอ็กซแทรกซ์ (yeast extract) และ เปบโตน (peptone) เป็นต้น และอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และแอมโมเนียมคลอไรด์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณไนโตรเจนมากเกินไปจะไปลดประสิทธิภาพการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็นโพลิแซ็กคาไรด์ (Behravan *et al*., 2003) ซึ่งจากการศึกษาของ Prasad *et al*. (2013) พบว่า แหล่งไนโตรเจนมีผลต่อการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรีย *B. amyloliquefaciens* โดย การใช้ยีสต์เอ็กซ์แทรกซ์ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารเลี้ยงเชื้อมีผลทำให้การผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 18.5 กรัมต่อลิตร เป็น 21.3 กรัมต่อลิตร และ การใช้ทริปโตน 1.0 กรัมต่อลิตร เป็นแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมในอาหารเลี้ยงเชื้อ *Sphingomonas paucimobilis* ATCC - 31461 สามารถผลิตเจลแลนได้ 13.814 กรัมต่อลิตร (Banik *et al*., 2007)

2.3) อุณหภูมิ (temperature) การผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรียส่วนใหญ่จะสูงขึ้นเมื่อมีแหล่งคาร์บอนในปริมาณมากและที่อุณหภูมิต่ำ (Sutherland, 1977; Souw and Demain, 1979; Shu and Yang, 1990) จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ พบว่า ในการเลี้ยงเชื้อ *B. amyloliquefaciens* ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แบคทีเรียมีการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 20 28 และ 50 องศาเซลเซียส (Prasad *et al*., 2013)

2.4) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เป็นกลาง (Roseiro, 1992) ซึ่งจากการศึกษาของ Bueno and Garcia-Cruz (2006) พบว่า *Pseudomonas* sp. และ *Arthrobacter* sp. จำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ 3B 4B 7B 21B 18E และ 21D ที่คัดแยกได้จากดิน สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นจาก 5.0 - 7.0 แต่เมื่อความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเป็น 8.0 ปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตได้มีค่าลดลง แต่จากการายงานของ Flemming *et al*. (1999) รายงานการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากการใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.1 มีผลทำให้การผลิตสูงสุด

2.5) ออกซิเจน (oxygen) จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศจะใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ของเซลล์ โดยจะต้องเป็นออกซิเจนที่ละลายได้ในของเหลว สำหรับการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ของจุลินทรีย์ พบว่า การให้อากาศและความเร็วในการกวนสามารถรักษาปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ได้ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (McNeely, 1967)

5. การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อการปรับปรุงบำรุงดินและการผลิตพืช

การผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากจุลินทรีย์จะมีสมบัติที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบ โดยมีรายงานพบว่าเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์มีน้ำตาลที่แตกต่างกันถึง 200 ชนิด (Linton *et al*., 1991) ทำให้มีคุณสมบัติที่หลากหลายและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน รวมทั้งด้านการปรับปรุงดิน สำหรับสมบัติของเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในด้านการปรับปรุงดินนั้น เนื่องจากเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มีคุณสมมบัติเป็นสารเชื่อมอนุภาคดิน ซึ่งช่วยในการจับตัวของอนุภาคดิน ทำให้การเกิดเม็ดดินและความเสถียรของเม็ดดินเพิ่มขึ้น ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ควบคุมการเคลื่อนย้ายของน้ำ และธาตุอาหารในดิน (Bashan *et al*., 2004; Roberson and Firestone, 1992) ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของพืช ช่วยป้องกันการถูกทำลายของเอนไซม์ไนโทรจีเนสในขบวนการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์จากการสัมผัสกับออกซิเจนจึงทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน (Leigh and Coplin, 1992; Mandal *et al*., 2008) รวมทั้งในพื้นที่ดินเค็มจะมีผลทำให้เกลือใต้ดินสามารถแทรกซึมสู่ผิวดินได้มากขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อระบบรากพืชและการเจริญเติบโตของพืช การใช้สารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นสารโพลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติข้างต้น ช่วยทำให้โซเดียมไอออนจับกับรากซึ่งส่งผลต่อการสะสมของโซเดียมในพืชลดลง จึงทำให้พืชสามารถทนต่อสภาพความเค็มและเจริญเติบโตได้ในสภาพดินเค็ม (Ashraf *et al*., 2004) นอกจากนี้สารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เพิ่มความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจน เป็นแหล่งอาหารและคาร์บอนให้แก่จุลินทรีย์ดิน (Hu *et al*., 2003) และทำให้พืชสามารถทนต่อสภาพแห้งแล้งและการขาดน้ำได้ (Bensalim *et al*., 1998) จากการรายงานของ Figreiredo *et al*. (2008) พบว่า การใช้ *Phaseolus vulgaris L*. ร่วมกับ *Rhizopus tropici* และ *Paenibacillus polymyza* ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช โดยทำให้พืชมีการสะสมไนโตรเจนมากขึ้น และยังช่วยส่งเสริมการสร้างปมในพืชตระกูลถั่วในสภาวะแล้งได้ โดยเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จะช่วยรักษาค่าศักย์ของน้ำรอบรากซึ่งจากการศึกษาของ Amellal *et al*. (1998) ได้ศึกษาการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ *Pantoe agglomerans* NAS206 ที่มีต่อการเกิดเม็ดดิน โดยแยกเชื้อแบคทีเรียจากดินบริเวณรากข้าวสาลีและใช้ในการเคลือบเมล็ดข้าวสาลีก่อนปลูก พบว่า สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ เพิ่มเสถียรภาพเม็ดดิน ช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำของดิน (water rentetion) เพิ่มความพรุนของดิน และยังช่วยเพิ่มการแตกรากของพืชด้วย รวมทั้ง Qurashi and Sabri (2012) ศึกษาการใช้แบคทีเรีย *Planococcus rifietoensis* (RT4) และ *H. variabilis* (HT1) ที่ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และไบโอฟิล์ม

ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของถั่วชิคพี (chickpea) และผลต่อการเกิดเม็ดดินในสภาวะความเค็มที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0 50 100 และ 200 มิลลิโมลาร์ โดยการนำเมล็ดของถั่วชิคพีแช่ในสารละลายแบคทีเรียแล้วนำไปปลูกในกระถางที่มีดินที่ใส่โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ผลการศึกษา พบว่า การใช้แบคทีเรีย *P. rifietoensis* (RT4) และ *H. variabilis* (HT1) เปรียบเทียบกับการไม่ใช้เชื้อแบคทีเรียมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 200 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้ความสูงของต้นเพิ่มขึ้น 114 และ 51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโมลาร์ การใช้แบคทีเรีย *P. rifietoensis* (RT4) และ *H. variabilis* (HT1) มีผลทำให้น้ำหนักสดของถั่วเพิ่มขึ้น 153 และ 177 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับผลการใช้แบคทีเรียต่อการเกิดเม็ดดิน พบว่า การใช้แบคทีเรีย *P. rifietoensis* (RT4) มีผลทำให้การเกิดเม็ดดินเพิ่มขึ้น 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 200 มิลลิโมลาร์

6. การพัฒนาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์

การนำจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาทั้งรูปแบบผลิตภัณฑ์ (formulation) และวิธีการใช้ (application) ที่เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไป ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์มีการนำไปใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ เช่น การใช้รองพื้น คลุกเมล็ด ใช้ในการเพาะกล้า และการฉีดพ่น เป็นต้น อย่างไรก็ตามการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้เกษตรกรสามารถนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ได้ประโยชน์อย่างง่าย สะดวก และผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังคงมีประสิทธิภาพในพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ อีกทั้งจุลินทรีย์สามารถเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้เป็นระยะเวลานาน ซึ่งรูปแบบของผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์มีหลายรูปแบบ ประกอบด้วย การคลุกเชื้อลงในวัสดุรองรับ (carrier) การผลิตเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบผงแห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) และ การทำแห้งแบบเยือกแข็งภายใต้สภาวะสูญญากาศ (freeze dry) รวมทั้งรูปแบบผลิตภัณฑ์ชนิดของเหลว (Burton, 1979; ศิริจรรยา, 2552) โดยในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์นั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาวิธีการผลิตและรูปแบบผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ (มนตรี และคณะ, 2550) ดังนี้

1) การคงสภาพการมีชีวิต (maintenance of viability) วิธีการผลิตและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์มีผลต่อการมีชีวิตของจุลินทรีย์ ดังนั้นควรเลือกใช้วิธีการและวัสดุรองรับที่มีผลทำให้จุลินทรีย์ตายในระหว่างกระบวนการน้อยที่สุด

2) การเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรจุลินทรีย์ (population change selection) ควรเลือกวิธีที่ทำให้จุลินทรีย์ที่มีชีวิต (viable cell) เหลืออยู่จำนวนมาก และมีจำนวนใกล้เคียงกับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตในตอนเริ่มต้น โดยผลิตภัณฑ์ควรมีปริมาณเชื้อ 10^7 โคโลนีต่อกรัม (colonyforming unit per gram) สามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลามากกว่า 6 เดือน และจุลินทรีย์ต้องไม่เป็นอันตรายต่อพืช และมนุษย์

3) การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (genetic change) วิธีการผลิตและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ไม่ควรทำให้เชื้อผ่าเหล่า (mutation) หรือการสูญหายของพลาสมิด (plasmid) ที่สามารถทำให้ลักษณะต่างๆ ของจุลินทรีย์เปลี่ยนไปและอาจมีลักษณะใหม่เกิดขึ้น

4) ความบริสุทธิ์ (purity) ต้องไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อชนิดอื่นๆ

5) ต้นทุนการผลิต ควรคำนึงถึงต้นทุนทั้งในด้านแรงงาน เครื่องมือ วัสดุรองรับ สถานที่เก็บ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตและเก็บรักษา ตลอดจนเวลาที่เชื้อเก็บได้นานแค่ไหน

6) จำนวนเชื้อที่ต้องการเก็บรักษา (number of culture) ควรเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับจำนวนสายพันธุ์ที่ต้องการผลิตและเก็บรักษา และพื้นที่ที่ใช้ในการเก็บรักษา (storage)

7) ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายพื้นที่ที่มีสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน

8) การขนส่งเชื้อไปยังผู้ใช้ (supply and transportation of culture)

นอกจากปัจจัยดังกล่าวแล้วการพัฒนาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์นั้นวัสดุรองรับเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่จะช่วยรักษาสภาพและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่รอดได้ รวมทั้งยังคงประสิทธิภาพได้นาน วัสดุหรือวัตถุดิบที่ใช้เป็นวัสดุรองรับจุลินทรีย์นั้นเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ หรือสารสังเคราะห์ การเลือกวัสดุรองรับที่มีความเหมาะสมต่อเชื้อ จำเป็นต้องพิจารณาความเหมาะสมทั้งในการรักษาสภาพทางเคมี และกายภาพให้กับเชื้อได้ดี ราคาถูก ดูดซับความชื้นได้ดี นำมาขึ้นรูปได้ง่าย ง่ายต่อการนำไปฆ่าเชื้อด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) การฉายรังสีแกมมา หรืออุลตราไวโอเลต เป็นต้น วัสดุที่สามารถผสมกับสารอื่นๆได้ เช่น ธาตุอาหาร หรือสารจับใบ ชนิดของวัสดุรองรับที่มีการนำมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ เช่น พีท ผงถ่าน ดินเหนียว ปุ๋ยหมัก กากถั่วเหลือง ขี้เลื่อย เวอร์มิคูไลต์ เพอร์ไลต์ เป็นต้น โดยวัสดุรองรับที่เป็นของแข็งจะมีขนาดมาตรฐานประมาณ 75 ไมครอน - 0.25 มิลลิเมตร สำหรับชนิดเม็ด จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 100 - 200 ไมครอน ไปจนถึง 3 - 4 มิลลิเมตร วัสดุรองรับชนิดที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบผงควรจะสามารถนำมาเคลือบเมล็ดหรือละลายในน้ำได้ ซึ่งมีการศึกษาการใช้วัสดุชนิดต่างๆ เป็นวัสดุรองรับในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ ดังนี้

พรรณลดา (2548) ศึกษาวัสดุรองรับเพื่อใช้สำหรับผลิตหัวเชื้อไรโซเบียม พบว่า หัวเชื้อไรโซเบียมทุกสายพันธุ์ในวัสดุรองรับที่เป็นพีทมีอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุดที่อุณหภูมิห้อง และหลังจากคลุกเมล็ดถั่วเหลืองกับเชื้อไรโซเบียมแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง สามารถเก็บรักษาปริมาณเชื้อไรโซเบียมให้มีชีวิตรอดบนเมล็ดได้มากที่สุดคือ 10^5 เซลล์ต่อเมล็ด

Muniruzzaman and Khan (1992) ทดสอบวัสดุรองรับที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ พีท ผงถ่าน ขี้เลื่อย อ้อย ชานอ้อย กากตะกอนหม้อกรองจากโรงงานน้ำตาล เพื่อศึกษาวัสดุรองรับที่มีศักยภาพในการมีชีวิตอยู่รอดของ *Sesbania rhizobia* ทำการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัสดุรองรับที่ใช้ในการศึกษาให้ได้ 6.8 และนึ่งฆ่าเชื้อวัสดุรองรับที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ก่อนทำการคลุกเชื้อ เก็บรักษาเชื้อที่คลุกกับวัสดุรองรับแล้วที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำมาเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 90 วัน แล้วนับจำนวน *S. rhizobia* ที่มีชีวิตในแต่ละวัสดุรองรับทุก 15 วัน ผลการศึกษา พบว่า เชื้อ *S. rhizobia* สามารถมีชีวิตได้นาน 60 วัน ในวัสดุรองรับทั้งหมด ยกเว้นขี้เลื่อย หลังจากนั้นความมีชีวิตจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ พีท ผงถ่าน และกากตะกอนหม้อกรองจากโรงงานน้ำตาล จุลินทรีย์สามารถอยู่รอดได้นาน 75 วัน โดยมีจำนวนมากกว่า 10^8 เซลล์ต่อกรัม

Andre *et al*. (2009) ศึกษาการใช้แป้งถั่วเหลืองเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ *B. sphaericus* เพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมลูกน้ำยุง *Culex quinquefasciatus* พบว่า การใช้จุลินทรีย์ *B. sphaericus* ที่ขยายเชื้อในแป้งถั่วเหลืองอัตรา 4 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถเจริญและสร้างสารที่เป็นพิษต่อลูกน้ำยุงลายระยะ 4 ได้ดีกว่าการขยายเชื้อในอาหารสูตร LB

7. ข้าวโพดหวาน

ข้าวโพดหวาน (Sweet corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays L. saccharata Sturt* เป็นพืชไร่ที่นิยม และต้องการของตลาดมากในขณะนี้ ปลูกง่าย โตเร็ว อายุสั้น และมีศักยภาพสูงในเชิงเศรษฐกิจ สามารถจำหน่ายได้ในตลาดบริโภค และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นพืชอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกโดยบรรจุกระป๋องแช่แข็งในรูปของเมล็ดและข้าวโพดครีม (กรมวิชาการเกษตร, 2547) เกษตรกรจะปลูกข้าวโพดหวานในฤดูฝนช่วงประมาณเดือนพฤษภาคม เก็บเกี่ยวเดือนกรกฎาคม และปลูกในเดือนสิงหาคม

เก็บเกี่ยวในเดือนตุลาคม นอกจากนี้ยังมีการปลูกในฤดูแล้งโดยส่วนใหญ่จะปลูกหลังนาในเดือนตุลาคม ถึงพฤศจิกายน และเก็บเกี่ยวในเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม สำหรับพื้นที่ปลูกในปี 2560 มีพื้นที่ปลูก 233,259 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2559 ซึ่งมีเนื้อที่เพาะปลูก 231,803 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) สำหรับความต้องการธาตุอาหารในการปลูกข้าวโพดหวาน ธาตุไนโตรเจนมีบทบาทในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตจนถึงการสร้างเมล็ด โดยเฉพาะในระยะออกดอกตัวผู้และตัวเมีย (สันติ, 2545) ฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญอย่างมากในช่วง 2 สัปดาห์แรกหลังการงอก และโพแทสเซียมจะช่วยความแข็งแรงของลำต้น โดยทั่วไปดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกข้าวโพดฝักสดควรมีความเป็นกรดเป็นด่าง 6.5 - 7.5 มีอินทรียวัตถุมากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) มากกว่า 25 มิลลิอีควิวาเล็นซ์ต่อ 100 กรัมของดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ปัญหาสำคัญในการปลูกข้าวโพดหวาน คือ ความเสื่อมสภาพดินอันเป็นผลเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นระยะเวลานานหลายปี โดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุทำให้สมบัติทางกายภาพของดินเสื่อมลง และการใช้ปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุไนโตรเจนบางชนิดในอัตราที่สูงทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด ซึ่งจะตรึงธาตุอาหารเอาไว้หรือทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดละลายออกมามากเกินไปจนเป็นพิษต่อข้าวโพดหวาน หรือไปรวมตัวกับธาตุอาหารอื่นทำให้ความเป็นประโยชน์ลดลง จนเกิดความไม่เหมาะสมกับการให้ผลผลิต (ยงยุทธ และคณะ, 2551) อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาการใช้จุลินทรีย์เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าวโพดหวาน เช่น พีจีพีอาร์ รวมทั้งการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ โดย Naseem and Bano (2014) ศึกษาการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในการคลุกเมล็ดข้าวโพดก่อนปลูก ซึ่งมีผลต่อความชื้นของดิน มวลชีวภาพของพืช ความยาวราก และพื้นที่ใบ นอกจากนี้การใช้แบคทีเรีย *Pseudomonas* ในการปลูกข้าวโพดส่งผลต่อการเพิ่มมวลชีวภาพของพืช การเกิดเม็ดดิน และลดการสูญเสียน้ำจากใบพืช และพบว่าเมื่อใช้ในสภาพแห้งแล้ง พืชจะมีการสะสมน้ำตาล กรดอะมิโน เช่น โพรลีนอีกด้วย (Chen and Dai, 1994)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ระดับความเค็มและความเป็นกรดเป็นเป็นด่างต่างๆ เพื่อจะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์และนำมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่การปลูกพืชในสภาพดินเค็มและดินกรด โดยการศึกษาวิจัยจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้มีงานวิจัยที่ดำเนินการทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศมาแล้ว แต่เป็นการศึกษาการแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในสภาพห้องปฏิบัติการ และการนำเชื้อสดไปทดสอบในกระถางและระดับแปลงทดลอง เพื่อศึกษาผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ผลผลิต และการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น การเกิดเม็ดดิน ความหนาแน่นของดิน และความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน เป็นต้น (Bashan *et al*., 2004; Roberson and Firestone, 1992; Qurashi and Sabri, 2012; Amellal *et al*., 1998) โดยส่วนใหญ่จะมีการศึกษาในดินเค็มเป็นหลัก เนื่องจากการศึกษาพบว่า แบคทีเรียชอบเค็มมีความสามารถในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูง (Bejar *et al*., 1998; Quesada *et al*., 1993) รวมทั้งดินเค็มซึ่งจัดเป็นดินปัญหาที่สำคัญต่อการทำการเกษตร แต่อย่างไรก็ตามการวิจัยในสภาพความเป็นกรดที่ระดับต่าง ๆ นั้น จะมีการศึกษาเฉพาะในห้องปฏิบัติการ (Deka *et al*., 2019) และยังไม่ได้มีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในระดับแปลงรวมทั้งในประเทศไทยนั้น หน่วยงานภาครัฐยังไม่มีการส่งเสริมการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์กลุ่มนี้สู่เกษตรกร ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้วิจัยเพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ศึกษาการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์เพื่อพัฒนาเป็นเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ ในการนำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินเค็ม และดินกรด

ซึ่งสอดคล้องกับภารกิจหนึ่งของกรมพัฒนาที่ดินในการศึกษาวิจัยด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน และเป็นต้นแบบการผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน ส่งเสริม และเผยแพร่สู่เกษตรกรต่อไป

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

ระยะเวลา เริ่มต้นเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2557 สิ้นสุดเดือน กันยายน พ.ศ. 2559

สถานที่ดำเนินการ 1) ห้องปฏิบัติการจุลินทรีย์ และโรงเรือนกระจก กรมพัฒนาที่ดิน

2) แปลงเกษตรกร อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

3) แปลงเกษตรกร อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

วิธีดำเนินการ

1. อุปกรณ์

1) สารเคมี อาหารเลี้ยงเชื้อ อุปกรณ์เครื่องแก้ว และเครื่องมือในการแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์

2) อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ถุงเก็บตัวอย่าง พลั่วตักขนาดเล็ก และกล่องบรรจุตัวอย่าง

3) เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทางเคมี ฟิสิกส์และชีวภาพของดิน

4) ปุ๋ยหมัก

5) เพอร์ไลต์

6) ขุยมะพร้าว

7) ถ่านแกลบ

8) รำข้าว

9) ปุ๋ยเคมี

10) เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน

11) กระถาง

2. วิธีการ

2.1 การคัดแยกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ตามวิธีของ Fusconi and Godinho (2002) รายละเอียดตามภาคผนวก ก ประกอบด้วย

2.1.1 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อแยกเชื้อจุลินทรีย์

เก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบรากพืชชนิดต่างๆ ในพื้นที่ดินเค็ม ดินกรด และพื้นที่ที่มีคราบเกลือในระดับความลึกของดิน 0 - 20 เซนติเมตร จาก 6 จังหวัด ประกอบด้วย นครราชสีมา ขอนแก่น เพชรบุรี นครนายก ปทุมธานี และสมุทรสาคร โดยตัวอย่างดินที่เก็บจากนครราชสีมา ได้แก่ ดินปลูกอ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด นาข้าว ไม้ยืนต้น และพื้นที่ที่มีคราบเกลือ ตัวอย่างดินที่เก็บจากจังหวัดขอนแก่น ได้แก่ ดินปลูกข้าว ไม้ยืนต้น และพื้นที่ที่มีคราบเกลือ ตัวอย่างดินที่เก็บจากจังหวัดเพชรบุรี ได้แก่ ดินบริเวณรอบรากหญ้าแฝก ตัวอย่างดินที่เก็บจากจังหวัดนครนายก ได้แก่ ดินปลูกข้าว ไม้ยืนต้น และหญ้าแฝก ตัวอย่างดินที่เก็บจากจังหวัดปทุมธานี ได้แก่ ดินนาข้าว และปาล์มน้ำมัน และตัวอย่างดินพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสมุทรสาคร ได้แก่ ดินรอบรากแสม โกงกาง และต้นจาก แล้วนำมาเก็บในตู้เย็นเพื่อใช้ในการแยกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อไป

2.1.2 การแยกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

ดำเนินการแยกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากตัวอย่างดินโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ P medium (Kolbel-Boelke *et al*., 1988) โดยคัดเลือกโคโลนีของแบคทีเรียที่มีการสร้างเมือกเหนียวบนอาหารแข็ง หรือยืดเป็นสายเมื่อใช้ลูป (loop) แตะที่ผิวของโคโลนีแล้วดึงขึ้น (Ruas-Madiedo and de los Reyes - Gavilan, 2005) แยกให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ (single colony) เพื่อใช้เป็นต้นตอเชื้อ (stock culture) โดยเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น เพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

2.2 การคัดเลือกแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

ดำเนินการคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ รายละเอียดตามภาคผนวก ข ประกอบด้วย

1) การคัดเลือกขั้นแรก คัดเลือกแบคทีเรียที่มีลักษณะการสร้างเมือกเหนียวบนอาหารเลี้ยงเชื้อ P medium

2) การคัดเลือกขั้นที่สอง คัดเลือกแบคทีเรียที่เจริญได้ดีบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งที่มีความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ ได้แก่ 0 มิลลิโมลาร์ (mM) หรือ 0 เดซิซีเมนต่อเมตร (dS m^{-1}) 37.5 มิลลิโมลาร์ หรือ 4 เดซิซีเมนต่อเมตร 75.0 มิลลิโมลาร์ หรือ 8 เดซิซีเมนต่อเมตร และ 150 มิลลิโมลาร์ หรือ 16 เดซิซีเมนต่อเมตร โดยคัดเลือกแบคทีเรียที่มีขนาดโคโลนีกว้าง เพื่อนำไปทดสอบกิจกรรมต่อไป

3) การคัดเลือกขั้นที่สาม ทดสอบกิจกรรมการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 4 ระดับ ได้แก่ 5.0 5.5 6.5 และ 7.0 ความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ เช่นเดียวกันกับการคัดเลือกขั้นที่สอง

2.3 การจำแนกชนิดของแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

นำเชื้อที่คัดเลือกได้ไปจำแนกเชื้อโดยเทคนิคทางชีวโมเลกุล รายละเอียดตามภาคผนวก ค ดังนี้

2.3.1 การสกัดดีเอนเอของแบคทีเรีย โดยใช้ชุดสกัด Wizard Genomic DNA Purification

2.3.2 การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอในส่วน 16S rRNA ด้วยเทคนิค Polymerase chain reaction (PCR)

2.4 การทดสอบผลของแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อเม็ดดินที่เสถียรในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยดำเนินการทดสอบในดินตัวแทนของดินปัญหา คือ ดินกรด

2.4.1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design,CRD) ประกอบด้วย 5 ตำรับ 3 ซ้ำ ดังนี้

ตำรับที่ 1 ควบคุม (ดินไม่ใส่เชื้อ และ เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์)

ตำรับที่ 2 ดิน + ตะกอนเซลล์ของแบคทีเรียชนิดที่ 1 (NK 16/3)

ตำรับที่ 3 ดิน + ตะกอนเซลล์ของแบคทีเรียชนิดที่ 2 (NK 21/2)

ตำรับที่ 4 ดิน + ตะกอนเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรียชนิดที่ 1 (NK 16/3)

ตำรับที่ 5 ดิน + ตะกอนเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรียชนิดที่ 2 (NK 21/2)

2.4.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน โดยทดสอบตามวิธีการของ Sandhya and Ali (2015)

1) เก็บตัวอย่างดิน ซึ่งจากการวิเคราะห์ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.2 เป็นดินกรดจัด แล้วนำดินมาร่อนแยกเศษรากพืช และชิ้นส่วนของวัสดุต่างๆ ที่ปนออก

2) เตรียมเชื้อแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ โดยนำแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ NK 16/3 และ NK 21/2 ไปเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน เลี้ยงใน

เครื่องเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างเชื้อนำไปวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรีย และวัดค่าโอดี (obtical density, OD) ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร แล้วปรับค่าโอดีให้ได้ 2.0 เพื่อนำไปทดสอบต่อไป

3) นำเชื้อแบคทีเรียที่ได้ ปริมาตร 22 มิลลิลิตร ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แยกตะกอนเซลล์และส่วนใสออกจากกัน

4) แยกตะกอนเซลล์แล้วนำไปใส่น้ำที่ปราศจากอิออน 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น รอเพื่อทดสอบในตำรับการทดลอง

5) สำหรับส่วนใสที่แยกออกจากตะกอนเซลล์นำไปใส่ลงในเอทานอลที่แช่เย็น อัตราส่วน 1 : 2 ทิ้งไว้ 1 วัน ในตู้เย็น จะเกิดตะกอนของสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ขึ้นนำไปเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนที่ความเร็วรอบ 9,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตะกอนที่ได้ คือ เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ นำตะกอนที่ได้ใส่ในน้ำที่ปราศจากอิออน 5 มิลลิลิตร นำไปแช่ตู้เย็น รอเพื่อใช้ทดสอบในตำรับการทดลองต่อไป

6) ชั่งดินบรรจุในภาชนะพลาสติก น้ำหนักดิน 220 กรัม

7) นำตะกอนเซลล์จากข้อ 4) และเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ จาก 5) ไปใช้ในการทดสอบตามตำรับการทดลอง ใส่ลงในดินที่บรรจุในภาชนะ ปรับความชื้นด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อ ให้ได้ความชื้นที่ระดับความจุความชื้นสนาม (field capacity) ปิดฝาภาชนะเจาะรูระบายอากาศ

8) นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วัน

9) การเก็บบันทึกผลการทดลอง

9.1) เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลอง เพื่อประเมินเสถียรภาพเม็ดดิน โดยวิเคราะห์ค่าเม็ดดินที่เสถียร (%) โดยใช้วิธี wet sieving (Grieve,1979)

9.2) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test

2.5 การศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ และวิธีการเลี้ยงขยายเชื้อจุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

2.5.1 ศึกษารูปแบบของผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

ศึกษาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบแห้ง โดยเปรียบเทียบวัสดุรองรับของจุลินทรีย์ (carrier) 4 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยหมัก เพอร์ไลต์ ขุยมะพร้าว และถ่านแกลบ

1) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 4 ตำรับการทดลอง 5 ซ้ำ ดังนี้

ตำรับที่ 1 ปุ๋ยหมัก + กล้าเชื้อแบคทีเรีย 10 เปอร์เซ็นต์
ตำรับที่ 2 เพอร์ไลต์ + กล้าเชื้อแบคทีเรีย 10 เปอร์เซ็นต์
ตำรับที่ 3 ขุยมะพร้าว + กล้าเชื้อแบคทีเรีย 10 เปอร์เซ็นต์
ตำรับที่ 4 ถ่านแกลบ + กล้าเชื้อแบคทีเรีย 10 เปอร์เซ็นต์

2) ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1) เลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว NB ประกอบด้วย peptone 5 กรัม beef extract 3 กรัม และน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร เลี้ยงเชื้อในเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อ ในการทดสอบ โดยนำกล้าเชื้อที่ได้ 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักวัสดุ (ตามวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ พด. ของกรมพัฒนาที่ดิน) มาคลุกเคล้ากับวัสดุรองรับทั้ง 4 ชนิดตาม

ตำรับการทดลอง แล้วนำไปผึ่งลมประมาณ 3 - 5 วัน ให้มีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุหภูมิห้อง

2.2) เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียโดยวิธี dilution plate count technique ที่ 0 วัน และทุกๆ 1 เดือน เป็นเวลา 1 ปี

2.5.2 ศึกษาวิธีการขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์

ศึกษาวิธีการขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 2 รูปแบบ คือ ขยายเชื้อแบบแห้ง และแบบเหลว โดยคัดเลือกผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในวัสดุรองรับที่สามารถเก็บรักษาจุลินทรีย์ได้ดีที่สุดซึ่งได้จากการทดลองศึกษาชนิดวัสดุรองรับซึ่งสามารถคัดเลือกได้ 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยหมัก เพอร์ไลต์ และถ่านแกลบ มีวิธีการดังนี้

1) การขยายเชื้อแบบแห้ง ใช้วิธีการตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดินในการขยายเชื้อผลิตภัณฑ์สารเร่งซุปเปอร์ พด.3 รายละเอียดตามภาคผนวก ง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) ดังนี้

1.1) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดลอง 3 ตำรับการทดลอง จำนวน 6 ซ้ำ ดังนี้

ตำรับที่ 1 ปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม + รำข้าวละเอียด 1 กิโลกรัม + ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมัก

ตำรับที่ 2 ปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม + รำข้าวละเอียด 1 กิโลกรัม + ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์

ตำรับที่ 3 ปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม + รำข้าวละเอียด 1 กิโลกรัม + ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบ

1.2) ขั้นตอนการดำเนินงาน

- นำผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 3 ชนิด ตามตำรับการทดลอง 100 กรัม ผสมในน้ำประมาณ 20 ลิตร คนประมาณ 10 นาที ผสมปุ๋ยหมักกับรำข้าวและคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วปรับความชื้นด้วยน้ำให้ได้ความชื้น 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ นำสารละลายแบคทีเรียรดลงในส่วนผสมของปุ๋ยหมัก ตั้งกองเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูงประมาณ 30 - 50 เซนติเมตร และขยายเชื้อไว้ในที่ร่ม

- เก็บตัวอย่างทุกๆ 1 วัน เป็นเวลา 7 วัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียโดยวิธี dilution plate count technique

2) การขยายเชื้อแบบเหลว

2.1) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดลอง 6 ตำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

ตำรับที่ 1 ซูโครส 5 % + ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมัก

ตำรับที่ 2 กากน้ำตาล 5 % + ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมัก

ตำรับที่ 3 ซูโครส 5 % + ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์

ตำรับที่ 4 กากน้ำตาล 5 % + ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์

ตำรับที่ 5 ซูโครส 5 % + ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบ

ตำรับที่ 6 กากน้ำตาล 5 % + ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบ

2.2) ขั้นตอนการดำเนินงาน

- นำผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 3 ชนิดตามลำดับการทดลอง จำนวน 100 กรัม ใส่ในสารละลายน้ำตาล แล้วคนให้เข้ากัน บ่มไว้อุณหภูมิห้อง และคนทุกๆ วัน

- เก็บตัวอย่างเชื้อทุกๆ 1 วัน เป็นเวลา 7 วัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียโดยวิธี dilution plate count technique

3) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test

2.6 ศึกษาการใช้แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวโพด

2.6.1) ศึกษาผลของแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ขยายเชื้อในรูปแบบต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินกรดและดินเค็ม สภาพโรงเรือนกระจก

1) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดลอง 8 ตำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

ตำรับที่ 1 ตำรับควบคุม (ไม่ใส่แบคทีเรีย)
ตำรับที่ 2 แบคทีเรียเชื้อสด
ตำรับที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบเหลว
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์จุแบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบเหลว

2) ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1) การเก็บตัวอย่างดิน และการเตรียมดิน

2.1.1) เก็บตัวอย่างดินโดยใช้ชุดดินโคราช เป็นดินกรดจัด ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.5 ชุดดินกุลาร้องไห้ ดินเค็มปานกลาง ค่าการนำไฟฟ้า 6.93 เดซิซีเมนต่อเมตร

2.1.2) การเตรียมตัวอย่างดิน นำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม และบดร่อนผ่านตะแกรงร่อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของตะแกรง 2 มิลลิเมตร ชั่งตัวอย่างดินใส่ถุงพลาสติกถุงละๆ 5 กิโลกรัม นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาบรรจุใส่กระถางทดลอง

2.2) การขยายเชื้อแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ นำผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ในวัสดุรองรับ 3 ชนิด ได้แก่ ถ่านแกลบ เพอร์ไลต์ และปุ๋ยหมัก นำมาขยายเชื้อแบบแห้งและแบบเหลวตามวิธีการที่ได้จากผลการทดลองศึกษาวิธีการขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนี้

2.2.1) การขยายเชื้อแบบแห้ง วัสดุที่ใช้ประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม รำข้าวละเอียด 1 กิโลกรัม ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 100 กรัม ขยายเชื้อเป็นเวลา 2 วัน

2.2.2) การขยายเชื้อแบบเหลว วัสดุที่ใช้ประกอบด้วย สารละลายกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 100 กรัม ขยายเชื้อเป็นเวลา 3 วัน

2.3) นำผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่ขยายเชื้อแบบแห้งและแบบเหลวมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากับดินในกระถางตามตำรับการทดลอง โดยใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และ 100 ลิตรต่อไร ตามลำดับ

2.4) การปลูกข้าวโพดหวานและเมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 จำนวน 2 เมล็ดต่อกระถาง เมื่อข้าวโพดอายุได้ 15 วันหลังปลูกทำการถอนแยกให้เหลือกระถางละ 1 ต้น

2.5) การเก็บข้อมูล

2.5.1) การเก็บข้อมูลพืช ได้แก่ วัดความสูงข้าวโพดที่ระยะการเจริญเติบโต 45 วัน

2.5.2) การเก็บข้อมูลดิน เก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังการทดลอง ดังนี้

- การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และค่าการนำไฟฟ้าที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (การทดลองในดินเค็ม)

- การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าเม็ดดินที่เสถียร (%) โดยวิธี Wet sieving (Grieve, 1979)

- การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (สำหรับการทดลองในดินกรด) โดยวิธี dilution plate count technique

2.6) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้ วิธี Duncan ’s New Multiple Range Test

2.6.2) ศึกษาผลของแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลีแซ็กคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินกรด ดินเค็ม ในสภาพแปลงทดลอง

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

ตำรับที่ 1 ตำรับควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียงในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน

2) ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1) การขยายเชื้อผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมัก โดยใช้วัสดุประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม รำข้าวละเอียด 1 กิโลกรัม ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 100 กรัม ขยายเชื้อเป็นเวลา 2 วัน ตามผลการทดลองการศึกษาวิธีการขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์

2.2) การเตรียมแปลงทดลอง

2.2.1) คัดเลือกพื้นที่ทดลอง

- ดำเนินการทดลองในพื้นที่ดินกรด ใช้ชุดดินโคราช กลุ่มชุดดินที่ 35 ซึ่งจากการวิเคราะห์ดินเป็นดินกรดจัด อ.เมือง จ. นครราชสีมา โดยข้อมูลดิน ชุดดินโคราช การจำแนกดิน Fine - loamy, siliceous, isohyperthermic Typic (Oxyaquic) Kandiustults เกิดจากตะกอนของหินตะกอนเนื้อหยาบชะมาทับถมบนพื้นผิวของการเกลี่ยผิวแผ่นดิน สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดชัน 2 - 5 เปอร์เซ็นต์ การระบายน้ำดีปานกลาง การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง การซึมผ่านได้ของน้ำปานกลาง พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ ป่าเต็งรังหรือป่าเบญจพรรณ พืชไร่ เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย และถั่วต่างๆ การแพร่กระจาย พบทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การจัดเรียงชั้น A-Bt โดยลักษณะและสมบัติดินเป็นดินลึก ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาล ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ส่วนใหญ่มีอนุภาคดินเหนียวไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง อาจพบสีเทาปนน้ำตาล สีเทาหรือสีเทาปนชมพูในดินล่างลึกลงไป พบจุดประสี น้ำตาลแก่หรือสีเหลืองปนแดง ภายในความลึกมากกว่า 100 ซม. จากผิวดิน อาจพบก้อนเหล็กสะสมในดินล่าง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5 - 6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5 - 5.0) ในดินล่าง

- ดำเนินการทดลองในพื้นที่ดินเค็ม ใช้ชุดดินกุลาร้องไห้ กลุ่มชุดดินที่ 20 ซึ่งจากการวิเคราะห์ดิน จัดเป็นดินเค็มปานกลาง อ.พระยืน จ. ขอนแก่น ข้อมูลชุดดิน การจำแนกดิน Fine - loamy, mixed, active, isohyperthermic Typic Natraqualfs สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชัน 0 - 2 เปอร์เซ็นต์ ภูมิสัณฐาน ตะพักลำน้ำ วัตถุต้นกำเนิดดิน ตะกอนน้ำพาท้องถิ่น การระบายน้ำค่อนข้างถึงเลว การซึมผ่านได้ของน้ำปานกลางถึงช้า การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า ลักษณะสมบัติของดินเป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทราย สีเทาหรือสีเทาปนชมพูซึ่งเป็นชั้นสะสมประจุโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ มักพบจุดประสีน้ำตาลสีเหลืองปนน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลืองตลอดหน้าตัดดิน ในฤดูแล้งจะมีคราบเกลือลอยหน้าที่ผิวดิน ในดินล่างลึกกว่า 1 เมตรลงไปเป็นดินร่วนสีเทาหรือสีเทาปนเขียว อาจพบดินร่วนปนทรายหรือทรายปนดินร่วนสีเทาปนชมพูหรือสีน้ำตาลอ่อน ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.0 - 7.0) ในดินบนและเป็นด่างเล็กน้อยถึงเป็นด่างจัด (pH 7.5 - 8.5) ในดินล่าง

2.2.2) เตรียมแปลงทดลองขนาดกว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร 500 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวนทั้งหมด 27 แปลง ระยะระหว่างแปลง 50 เซนติเมตร

2.3) การใส่ปัจจัยทดลอง

2.3.1) การใส่ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่ขยายเชื้อแล้วอัตรา 300 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ อัตราปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ (ผลวิเคราะห์ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกแสดงในตารางภาคผนวก 8) ใส่เพียงครั้งเดียวคลุกเคล้าลงดินให้ทั่วในแปลงก่อนปลูกข้าวโพดหวาน ตามตำรับการทดลอง

2.3.2) การใส่ปุ๋ยเคมี

- ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินทั้ง 2 พื้นที่ทดลอง ครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 18 - 46 - 0 อัตรา 21.74 กิโลกรัมต่อไร่ สูตร 46 - 0 - 0 อัตรา 34.98 กิโลกรัมต่อไร่ สูตร 0 - 0 - 60 อัตรา 16.67 กิโลกรัมต่อไร่ รองก้นร่องก่อนปลูก ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46 - 0 - 0 อัตรา 21.74 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อข้าวโพดหวานอายุ 30 วันหลังปลูก โดยโรยเป็นแถวข้างร่อง

- ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 18 - 46 - 0 อัตรา 10.87 กิโลกรัมต่อไร่ สูตร 46 - 0 - 0 อัตรา 17.49 กิโลกรัมต่อไร่ สูตร 0 - 0 - 60 อัตรา 8.34 กิโลกรัมต่อไร่ รองก้นร่องก่อนปลูก ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46 - 0 - 0 อัตรา 10.87 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อข้าวโพดหวานอายุ 30 วันหลังปลูกโดยโรยเป็นแถวข้างร่อง

2.4) การปลูกและการดูแลรักษาหลังปลูก

ปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 อัตรา 1.5 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีระยะห่างระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ปลูกข้าวโพดหวานหลุมละ 2 เมล็ด โดยแถวแรกปลูกห่างจากขอบแปลงย่อยทั้ง 2 ด้าน 25 เซนติเมตร จำนวน 7 แถวต่อแปลงย่อย ต้นแรกและต้นสุดท้ายของทุกแถวห่างจากขอบแปลง 12.5 เซนติเมตร จำนวน 20 ต้นต่อแถว เมื่อข้าวโพดหวานอายุได้ 15 วันหลังปลูกถอนแยกเหลือหลุมละ 1 ต้น และดูแลรดน้ำตลอดช่วงเจริญเติบโต พื้นที่เก็บข้อมูลในแต่ละแปลงขนาด 2.25 X 4 เมตร

2.5) การเก็บข้อมูล

2.5.1) การเก็บข้อมูลพืชที่ระยะเก็บเกี่ยว ได้แก่

- ความสูงข้าวโพด สุ่มวัด 10 ต้น โดยวัดจากโคนต้นติดพื้นดินถึงปลายใบ
- เปอร์เซ็นต์ความหวาน โดยใช้เครื่อง Refractometer วัดเป็นเปอร์เซ็นต์บริกซ์ (%brix) สุ่มวัด 10 ฝัก
- น้ำหนักผลผลิตข้าวโพด เก็บข้อมูลในพื้นที่ 2.25 X 4.00 เมตร 9 ตารางเมตร

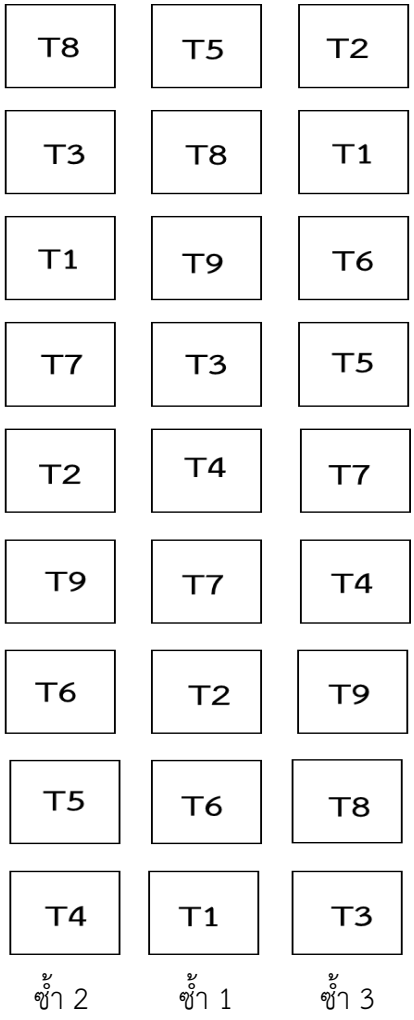
2.5.2) การเก็บข้อมูลดิน เก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทดลอง ดังนี้

- วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้
- การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าเม็ดดินที่เสถียร (%) โดยวิธี Wet sieving (Grieve, 1979)

2.5.3) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของปุ๋ยคอก ได้แก่ อินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมด ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และค่าการนำไฟฟ้าที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (การทดลองในดินเค็ม)

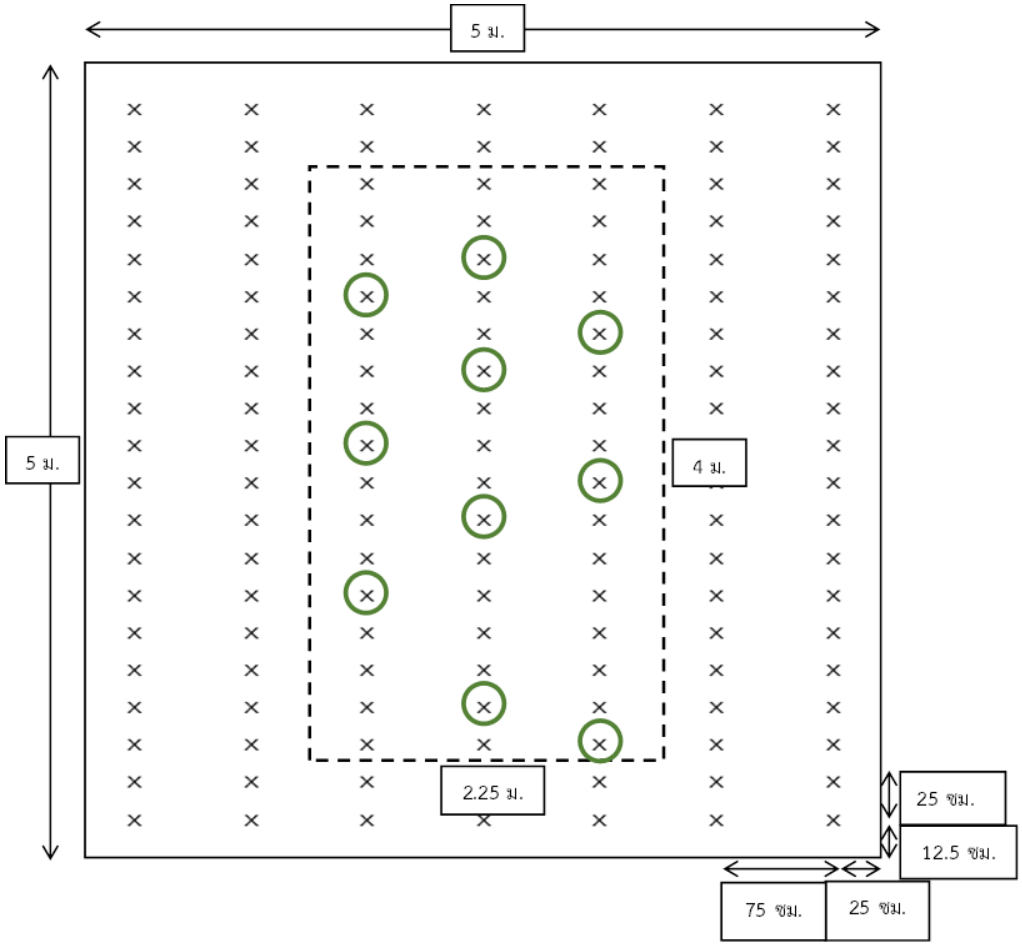
2.5.4) การเก็บข้อมูลผลตอบแทนทางเศรษฐกิจโดยบันทึกค่าใช้จ่ายต่างๆ เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าเตรียมแปลง

2.6) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้ วิธี Duncan ’s New Multiple Range Test



ภาพที่ 1 ผังแปลงทดลอง

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างแปลงย่อย 50 เซนติเมตร



ภาพที่ 2 แสดงระยะปลูก พื้นที่เก็บข้อมูล และพื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานในแต่ละแปลงย่อย

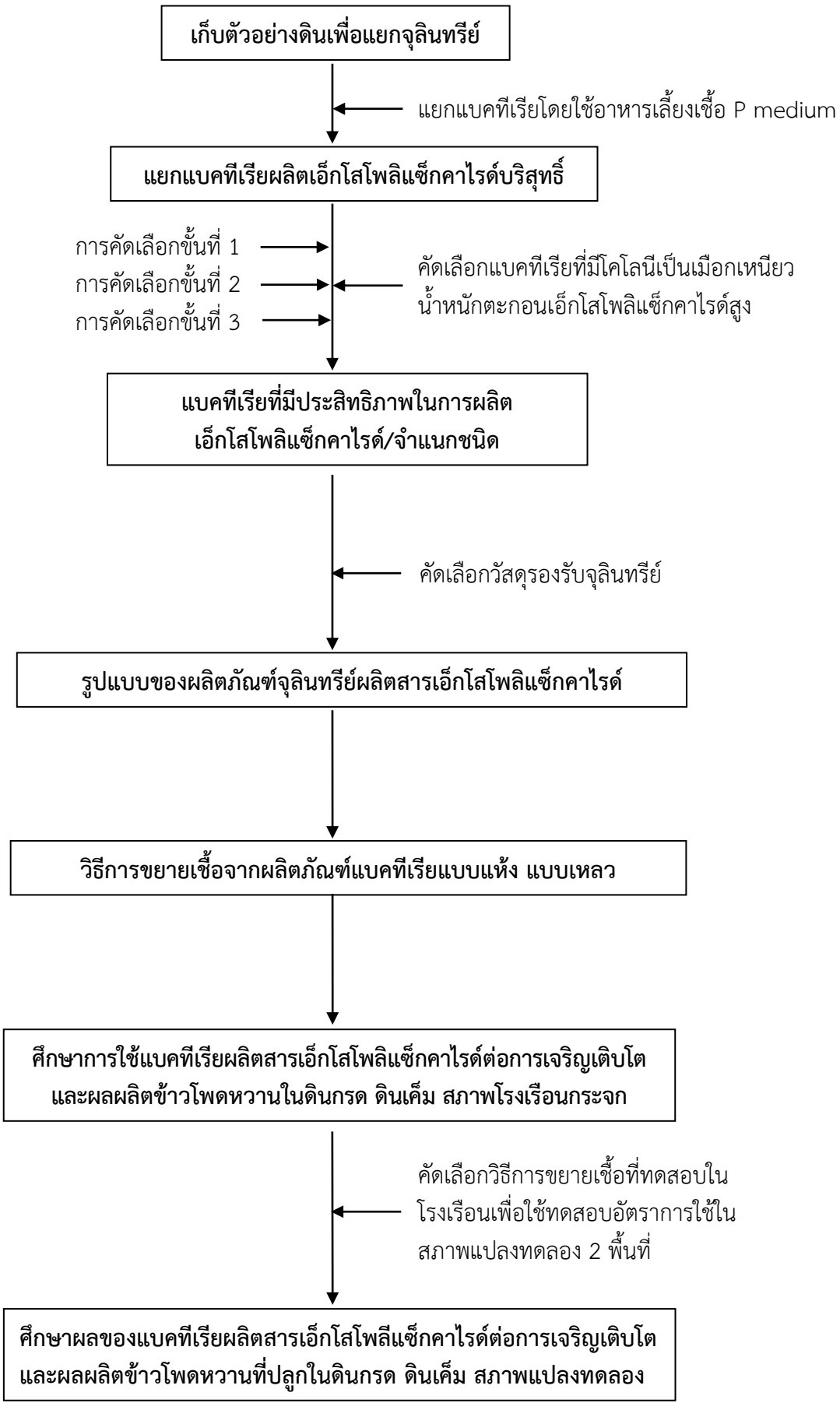
หมายเหตุ: 1. พื้นที่แปลงย่อยขนาด 5 x 5 เมตร

2. **X** หมายถึง ต้นข้าวโพดที่ปลูกในระยะ 75 X 25 เซนติเมตร

3. ------- หมายถึง พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดหวาน 2.25 X 4.0 เมตร

4. ◯ หมายถึง ตำแหน่งที่สุ่มเก็บข้อมูลความสูงต้นข้าวโพดหวาน

แผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัย



ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการวิจัยคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ เพื่อใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินเค็ม ดินกรด ได้ผลดังนี้

1. ผลการคัดแยกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

1.1 การเก็บตัวอย่างดินและแยกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

จากการดำเนินการเก็บตัวอย่างดินเพื่อแยกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากพื้นที่ต่างๆ จำนวน 101 ตัวอย่าง ประกอบด้วยพื้นที่ดินเค็ม ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 33 ตัวอย่าง มีค่าการนำไฟฟ้า 6 - 22 เดซิซีเมนต่อเมตร จังหวัดขอนแก่น จำนวน 24 ตัวอย่าง มีค่าการนำไฟฟ้า 8 - 12 เดซิซีเมนต่อเมตร ดินพื้นที่ป่าชายเลน จังหวัดสมุทรสาคร จำนวน 14 ตัวอย่าง มีค่าการนำไฟฟ้า 2.63 - 5.25 เดซิซีเมนต่อเมตร ดินเปรี้ยว ประกอบด้วย จังหวัดนครนายก จำนวน 10 ตัวอย่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 3.6 - 4.3 จังหวัดปทุมธานี จำนวน 6 ตัวอย่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 3.5 - 5.5 นอกจากนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบรากหญ้าแฝกมูลนิธิชัยพัฒนา จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 14 ตัวอย่าง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 6.50 - 7.61 ซึ่งดินบริเวณรอบรากหญ้าแฝก พบว่ามีความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินที่เกี่ยวข้องแปรสภาพและการหมุนเวียนธาตุอาหารในดินทั้งจุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ และจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (Leaungvutiviroj *et al*., 2010) จึงได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินเพื่อแยกจุลินทรีย์ด้วย ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ดินเค็มและดินกรด ซึ่งจากตัวอย่างดินที่เก็บได้สามารถแยกแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ 595 ไอโซเลต ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนไอโซเลตของแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่แยกจากดิน

แหล่งที่มาของตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่างดิน	จำนวนไอโซเลต
จ. นครราชสีมา	33	476
จ. ขอนแก่น	24	30
จ. เพชรบุรี	14	31
จ. นครนายก	10	10
จ. ปทุมธานี	6	8
จ. สมุทรสาคร	14	40
รวม	**101**	**595**

1.2 ผลการคัดเลือกแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

1.2.1 การคัดเลือกขั้นแรก

จากการนำแบคทีเรียที่แยกได้จำนวน 595 ไอโซเลต มาศึกษาการเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ P medium พบว่า มีแบคทีเรียจำนวน 65 ไอโซเลต ที่มีลักษณะโคโลนีเยิ้ม มีเมือกมาก ได้แก่ แบคทีเรียที่แยกจากดิน จังหวัดนครราชสีมา รหัส NK จำนวน 5 ไอโซเลต จังหวัดขอนแก่น รหัส KK จำนวน 6 ไอโซเลต จังหวัดเพชรบุรี รหัส VG จำนวน 20 ไอโซเลต จังหวัดนครนายก รหัส NY 8 ไอโซเลต จังหวัดปทุมธานี รหัส PT จำนวน 5 ไอโซเลต และ จังหวัดสมุทรสงคราม รหัส SSK จำนวน 21 ไอโซเลต ซึ่งลักษณะของโคโลนีของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ จะมี 2 ลักษณะ คือ การเกิดโคโลนีเมือกเยิ้มบนอาหารเลี้ยงเชื้อ และการยืดของโคโลนีเมื่อใช้เข็มเขี่ยเชื้อแตะ (กัลยณัฏฐ์ และคณะ, 2559;

Mu *et al*., 2015) โดยจุลินทรีย์จะผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในขณะที่เจริญและขับออกมานอกผนังเซลล์ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเมือก หรือติดอยู่กับเซลล์ในรูปของแคปซูล (Bhaskar and Bhosle, 2005; Schiano Moriello *et al*., 2003)

1.2.2 การคัดเลือกขั้นที่สอง

แบคทีเรียที่ได้จากการคัดเลือกขั้นแรก จำนวน 65 ไอโซเลต นำมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อทดสอบการเจริญในระดับความเค็มต่างๆ โดยมีความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ ซึ่งวัดการเจริญจากขนาดโคโลนีของแบคทีเรียที่ระยะเวลาการบ่มเชื้อ 7 วัน (ตารางภาคผนวกที่ 1) พบว่า เชื้อแบคทีเรียจำนวน 10 ไอโซเลต มีการเจริญได้ดีที่สุดที่ทุกระดับความเข้มข้นของ NaCl โดยมีขนาดโคโลนีมากกว่า 1.40 เซนติเมตร ได้แก่ แบคทีเรียที่แยกจากดินจังหวัดนครราชสีมา 4 ไอโซเลต รหัส NK 8/4 NK 16/3 NK 16/4 และ NK 21/2 แบคทีเรียที่แยกจากดินจังหวัดนครนายก 6 ไอโซเลต ได้แก่ NY 1 NY 3 NY 5 NY 6 NY 13 และ NY 14 ซึ่งขนาดโคโลนีที่มากกว่า 1.40 เซนติเมตร จัดเป็นกลุ่มที่ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในระดับสูง (high production) (ตารางที่ 3) ซึ่งมีการรายงานการศึกษาการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากแบคทีเรียในสภาวะความเค็มต่างๆ พบว่า แบคทีเรียเอนโดไฟต์ 3 ไอโซเลต ที่มีความสามารถในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูง ได้แก่ UAGAt33 UAGAt35 และ UAGAt71 ซึ่งมีขนาดโคโลนีมากกว่า 1.40 เซนติเมตร (Freitas *et al*., 2015) ดังนั้นจึงได้คัดเลือกแบคทีเรีย 10 ไอโซเลตดังกล่าวไปศึกษาการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง 4 ระดับ และความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ ต่อไป

ตารางที่ 3 ขนาดโคโลนีของแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงที่ความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ

ลำดับที่	รหัสเชื้อ	ขนาดโคโลนี (ซม.)			
		NaCl 0 mM	NaCl 37.5 mM	NaCl 75.0 mM	NaCl 150 mM
1	NK 8/4	1.8	1.50	1.65	1.50
2	NK 16/3	1.90	1.95	1.90	1.70
3	NK 16/4	1.60	1.55	1.50	1.50
4	NK 21/2	1.25	1.50	1.60	0.90
5	NY 1	1.00	1.70	1.70	1.60
6	NY 3	1.5	1.55	1.90	1.60
7	NY 5	1.5	1.70	1.60	1.60
8	NY 6	1.70	1.70	1.80	1.60
9	NY 13	1.60	1.00	1.80	1.50
10	NY 14	1.70	1.90	1.90	1.80

1.2.3 ผลการคัดเลือกขั้นที่สาม

แบคทีเรียที่ผ่านการคัดเลือกขั้นที่สอง จำนวน 10 ไอโซเลต นำมาทดสอบกิจกรรมการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0 5.5 6.5 และ 7.0 ความเข้มข้นของ NaCl หรือความเค็ม 4 ระดับ ได้แก่ 0 37.5 75.0 และ 150 มิลลิโมลาร์ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

1) การทดสอบกิจกรรมที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0 พบว่า เชื้อรหัส NK 16/4 สามารถสร้างสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มากที่สุด ที่ระดับความเค็ม 150 มิลลิโมลาร์ มีค่า 1.88 กรัมต่อลิตร รองลงมา คือ เชื้อรหัส NY 6 ที่ระดับความเค็ม 0 และ 75.0 มิลลิโมลาร์ มีค่าเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 1.05 และ 1.01 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ โดยเป็นค่าของอัตราส่วนของปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อน้ำหนักเซลล์ของจุลินทรีย์ เชื้อรหัส NK 16/4 มีค่าสูงสุด คือ 1.457 ที่ระดับความเค็ม 150 มิลลิโมลาร์ รองลงมา คือ NK 21/2 มีค่า 0.416 ที่ระดับความเค็ม 0 มิลลิโมลาร์ สำหรับ NY 6 มีค่าสูงสุดที่ 0.139 ระดับความเค็ม 0 มิลลิโมลาร์ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ ที่ระดับ pH 5.0 และ ความเค็ม 4 ระดับ

รหัสเชื้อ	เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (ก./ล.)				ค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์			
	0 mM	37.5 mM	75.0 mM	150 mM	0 mM	37.5 mM	75.0 mM	150 mM
NK 8/4	0.43	0.55	0.54	0.47	0.128	0.118	0.121	0.133
NK 16/3	0.87	0.91	0.69	0.63	0.233	0.211	0.198	0.243
NK 16/4	0.32	0.68	0.61	1.88	0.093	0.246	0.280	1.457
NK 21/2	0.62	0.96	0.60	0.48	0.416	0.277	0.144	0.086
NY 1	0.95	0.69	0.79	0.70	0.284	0.349	0.385	0.3140
NY 3	0.10	0.20	0.16	0.25	0.004	0.009	0.007	0.403
NY 5	0.37	0.36	0.94	0.67	0.019	0.030	0.119	0.118
NY 6	1.05	0.72	1.01	0.88	0.139	0.068	0.075	0.109
NY 13	0.65	0.50	0.44	0.63	0.218	0.156	0.114	0.217
NY 14	0.19	0.24	0.61	0.89	0.099	0.140	0.353	0.392

2) การทดสอบกิจกรรมที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.5 พบว่า เชื้อรหัส NK 21/2 สามารถสร้างสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มากที่สุด ที่ระดับความเค็ม 75.0 มิลลิโมลาร์ มีค่า 1.43 กรัมต่อลิตร รองลงมา NK 16/3 มีค่า 1.29 กรัมต่อลิตร ที่ระดับความเค็มเดียวกัน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ พบว่า เชื้อรหัส NK 21/2 ยังคงมีค่าสูงสุด คือ 0.506 ที่ระดับความเค็ม 150 มิลลิโมลาร์ และมีค่า 0.469 ที่ระดับความเค็ม 75.0 มิลลิโมลาร์ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ ที่ระดับ pH 5.5 และ ความเค็ม 4 ระดับ

รหัสเชื้อ	เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (ก./ล.)				ค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์			
	0 mM	37.5 mM	75.0 mM	150 mM	0 mM	37.5 mM	75.0 mM	150 mM
NK 8/4	0.00	0.25	0.46	0.50	0.000	0.114	0.096	0.150
NK 16/3	0.46	0.44	1.29	1.14	0.035	0.196	0.390	0.351
NK 16/4	0.08	0.31	0.67	0.70	0.005	0.084	0.250	0.249
NK 21/2	0.70	0.50	1.43	1.23	0.109	0.080	0.469	0.506
NY 1	0.00	0.29	0.31	0.48	0.000	0.171	0.081	0.152
NY 3	0.09	0.14	0.19	0.45	0.007	0.015	0.012	0.124
NY 5	0.26	0.22	0.42	1.12	0.018	0.016	0.086	0.450
NY 6	0.82	0.13	0.70	1.14	0.101	0.009	0.147	0.360
NY 13	0.31	0.31	0.49	0.54	0.244	0.079	0.259	0.139
NY 14	0.49	0.67	0.56	1.00	0.200	0.094	0.067	0.255

3) การทดสอบกิจกรรมที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 6.5 พบว่า เชื้อรหัส NK 16/3 สามารถสร้างสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์มากที่สุด โดยปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มากที่สุดที่ระดับความเค็ม 0 มิลลิลโมลาร์ และมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ระดับความเค็ม 75.0 มิลลิโมลาร์ มีค่า 1.17 และ 1.05 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้เชื้อรหัส NK 16/3 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ มีค่ามากที่สุดที่ระดับความเค็ม 75.0 มิลลิโมลาร์ มีค่า 0.502 รองลงมา คือ ที่ระดับความเค็ม 37.5 มิลลิโมลาร์ มีค่า 0.497 ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ ที่ระดับ pH 6.5 และ ความเค็ม 4 ระดับ

รหัสเชื้อ	เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (ก./ล.)				ค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์			
	0 mM	37.5 mM	75.0 mM	150 mM	0 mM	37.5 mM	75.0 mM	150 mM
NK 8/4	0.28	0.69	0.62	0.44	0.139	0.175	0.160	0.109
NK 16/3	1.17	0.93	1.05	0.85	0.409	0.497	0.502	0.248
NK 16/4	0.39	0.36	0.38	0.60	0.310	0.132	0.140	0.178
NK 21/2	0.29	0.38	0.50	0.56	0.109	0.197	0.163	0.143
NY 1	0.22	0.61	0.86	0.54	0.024	0.058	0.077	0.048
NY 3	0.26	0.39	0.43	0.28	0.011	0.014	0.015	0.009
NY 5	0.31	0.50	0.59	0.50	0.013	0.030	0.037	0.043
NY 6	0.68	0.23	0.81	0.85	0.0260	0.010	0.040	0.046
NY 13	0.34	0.38	0.42	0.46	0.074	0.152	0.141	0.216
NY 14	0.16	0.19	0.16	0.18	0.006	0.007	0.0060	0.006

4) การทดสอบกิจกรรมที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.0 พบว่า เชื้อรหัส NK 21/2 สามารถสร้างสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และมีค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ที่ระดับความเค็ม 37.5 มิลลิโมลาร์ มีค่า 1.78 กรัมต่อลิตร และ 0.448 ตามลำดับ รองลงมา คือ เชื้อรหัส NK 16/3 และ NK 16/4 ที่ระดับความเค็มเดียวกัน มีค่าเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เท่ากัน 1.02 กรัมต่อลิตร สำหรับสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ คือ 0.318 ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์ที่ระดับ pH 7.0 และ ความเค็ม 4 ระดับ

รหัสเชื้อ	เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (ก./ล.)				ค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์			
	0 mM	37.5 mM	75.0 mM	150 mM	0 mM	37.5 mM	75.0 mM	150 mM
NK 8/4	0.43	0.46	0.40	0.36	0.139	0.152	0.135	0.115
NK 16/3	0.44	1.02	0.38	0.51	0.144	0.318	0.195	0.232
NK 16/4	0.39	1.02	0.35	0.36	0.107	0.397	0.324	0.308
NK 21/2	0.43	1.78	0.48	0.38	0.080	0.448	0.163	0.205
NY 1	0.14	0.31	0.65	0.47	0.010	0.026	0.051	0.038
NY 3	0.20	0.27	0.36	0.35	0.010	0.011	0.011	0.010
NY 5	0.22	0.48	0.62	0.64	0.008	0.035	0.039	0.137
NY 6	0.65	0.75	0.86	0.93	0.027	0.048	0.025	0.118
NY 13	0.26	0.41	0.51	0.59	0.070	0.162	0.125	0.118
NY 14	0.31	0.47	0.92	0.39	0.022	0.037	0.039	0.016

จากการทดสอบกิจกรรมการสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ระดับความเค็ม หรือความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ พบว่า แบคทีเรีย 3 ไอโซเลต ที่สามารถสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และมีค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์มากที่สุด ได้แก่ เชื้อรหัส NK 16/3 NK 16/4 และ NK 21/2 (ตารางที่ 8) โดยแบคทีเรีย ทั้ง 3 ไอโซเลต มีการสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์และมีค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ระดับความเค็มที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม จะครอบคลุมระดับความเค็มระหว่าง 0 - 150 มิลลิโมลาร์ และความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0 - 7.0 โดยเชื้อรหัส NK 16/3 สามารถสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ระดับความเค็ม 0 มิลลิโมลาร์ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ระดับความเค็ม 75.0 มิลลิโมลาร์ โดยมีปริมาณ 1.17 กรัมต่อลิตร และค่าสัมประสิทธิ์ 0.502 เชื้อรหัส NK 16/4 สร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์และมีค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ระดับความเค็ม 150 มิลลิโมลาร์ โดยมีปริมาณ 1.88 กรัมต่อลิตร และค่าสัมประสิทธิ์ 1.457 สำหรับเชื้อรหัส NK21/2 สร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ระดับความเค็ม 37.5 มิลลิโมลาร์ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ระดับความเค็ม 0 มิลลิโมลาร์ โดยมีปริมาณ 1.78 กรัมต่อลิตร และค่าสัมประสิทธิ์ 0.416

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการคัดเลือกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ประกอบด้วยการคัดเลือกขั้นแรก โดยดูจากลักษณะโคโลนีที่มีเมือกเยิ้ม การคัดเลือกขั้นที่สอง การเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ และการคัดเลือขั้นที่สาม ทดสอบกิจกรรมการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีค่าความเป็นกรดเป็น 4 ระดับ และความเข้มข้นของ NaCl

4 ระดับ พบว่า แบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 3 ไอโซเลต ประกอบด้วย รหัส NK16/3 NK16/4 และ NK 21/2 ซึ่งแยกได้จากตัวอย่างดินที่เก็บจากจังหวัดนครราชสีมา มีลักษณะโคโลนีเป็นเมือกเยิ้ม ขนาดโคโลนีสูงสุด 1.95 1.60 และ 1.60 เซนติเมตร ตามลำดับ สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด 1.17 1.88 และ 1.43 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ รวมทั้งมีค่าสัมประสิทธิการสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงสุด 0.416 1.457 และ 0.502 ตามลำดับ (ตารางที่ 9) โดยสอดคล้องกับรายงานการวิจัยต่างๆ ที่ได้ศึกษาคัดเลือกจุลินทรีย์จากดินทั่วไป ในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ เช่น รายงานการวิจัยของ Hereher *et al*. (2018) พบว่า แบคทีเรียในสกุล *Baciilus* ได้แก่ *B. cereus B. subtilis Baciilus* sp. 1 *Baciilus* sp. 2 *Baciilus* sp. 3 และ *Baciilus* sp. 4 มีปริมาณการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ 1.238 1.450 1.058 1.690 0.56 และ 1.55 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และยังพบว่าแบคทีเรีย *Micrococcus roseus* สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด 1.805 กรัมต่อลิตร การศึกษาของ Mu *et al*. (2015) ได้ทำการคัดแยกแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากดินบริเวณรากของมันฝรั่ง พบว่า แบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ มีจำนวน 15 ไอโซเลต มีค่าอยู่ในช่วง 0.1 - 2.24 กรัมต่อลิตร และรายงานของสมฤดี (2551) ได้ศึกษาการคัดแยกแบคทีเรียจากแหล่งต่างๆ พบว่า *Enterobacter cloacae* สายพันธุ์ EN02 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการปรับปรุงสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ ประกอบด้วย ซูโครสความเข้มข้น 4.0 เปอร์เซ็นต์ $(NH4)_2SO_4$ ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ และยีสต์สกัดความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน สามารถผลิตโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด 0.93 กรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกและคัดเลือกแบคทีรียในสภาวะความเค็มต่างๆ Quesada *et al.* (1993) ได้ศึกษาการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรียในสกุล *Halomonas* ซึ่งเป็นแบคทีเรียชอบเค็มปานกลาง (Prado *et al*., 1991) พบว่า ในสภาวะที่เหมาะสมในการเลี้ยงเชื้อ *H. eurihalina* สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด 2.8 กรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามปริมาณการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ของแบคทีเรียในสกุลนี้แต่ต่างสายพันธุ์จะมีปริมาณการผลิตที่แตกต่างกัน เช่น *H. maura* S - 30 (Arias *et al*., 2003) ผลิตได้ 3.8 กรัมต่อลิตร *H. almeriensis H. ventosae* และ *H. anticariensis* ผลิตได้ 1.70 0.28 และ 0.49 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Mata *et al*., 2006; Llamas *et al*., 2012; Martinez - Checa *et al*., 2005) สำหรับการศึกษาแบคทีเรียชอบเค็ม *H. eurihalina* 19 สายพันธุ์ มีพบว่า *H. eurihalina* H212 สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ในปริมาณมากที่สุดโดยมีปริมาณ 1.6 กรัมต่อลิตร (Bejar *et al*., 1998) และมีการศึกษาการแยกแบคทีเรียจากดินเค็มของพื้นที่บารามาติ (Baramati) ประเทศอินเดีย ได้ 5 ไอโซเลต และ 1 ไอโซเลตที่สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด จัดอยู่ในกลุ่มอัลฟ่าโปรติโอแบคทีเรีย (Alpha Proteobacterium group) โดยเมื่อนำมาเลี้ยงอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นของเกลือ 80 มิลลิโมลาร์ ในระยะเวลาการเลี้ยงเชื้อ 3 วัน สามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด 4.9 กรัมต่อลิตร (Sunil *et al*., 2013) สำหรับการศึกษาการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากแบคทีเรียในสภาวะความเป็นกรดเป็นด่างระดับต่างๆ พบว่า จากการรายงานของ Deka *et al*. (2019) ศึกษาการแยกแบคทีเรียและปริมาณการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 3 ระดับ ได้แก่ 4.5 5.0 และ 7.0 สามารถแยกแบคทีเรียได้ทั้งหมด 55 ไอโซเลต และมี 28 ไอโซเลต ที่ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ โดยมีปริมาณการผลิตอยู่ในช่วง 0.067 - 0.219 กรัมต่อลิตร และที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0 แบคทีเรียสามารถผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้เพิ่มขึ้น 1.4 เท่า เนื่องจากความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0 - 5.5 ช่วยในการกระตุ้นกิจกรรมเอนไซม์ในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (Kimmel *et al*., 1998) รวมทั้งเมื่อความเป็นกรดที่ระดับดังกล่าวแบคทีเรียจะมีการสร้างไบโอฟิล์มเพื่อปกป้องเซลล์ในสภาวะความเครียดจากความเป็นกรด

ตารางที่ 8 ปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์สูงสุดที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ที่ระดับความเค็มต่างๆ

NaCl (มิลลิโมลาร์)	เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์			ค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์		
	รหัสเชื้อ	pH	ปริมาณ (ก./ล.)	รหัสเชื้อ	pH	ค่าสัมประสิทธิ์
0	NK 16/3	6.5	1.17	NK 21/2	5.0	0.416
37.5	NK 21/2	7.0	1.78	NK 16/3	6.5	0.497
75	NK 21/2	5.5	1.43	NK 16/3	6.5	0.502
150	NK 16/4	5.0	1.88	NK 16/4	7.0	1.457

ตารางที่ 9 กิจกรรมสูงสุดของแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่คัดเลือกได้

รหัสเชื้อ	ลักษณะโคโลนี	ขนาดโคโลนี (ซม.)	เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (ก./ล.)	ค่าสัมประสิทธิ์การสร้างเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากมวลเซลล์
NK 16/3	เมือกเยิ้ม	1.95	1.17	0.416
NK 16/4	เมือกเยิ้ม	1.60	1.88	1.457
NK 21/2	เมือกเยิ้ม	1.60	1.43	0.502

1.3 การจำแนกเชื้อแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

จากการศึกษากิจกรรมการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ได้คัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพ 3 ไอโซเลต คือ NK 16/3 NK 16/4 และ NK 21/2 นำไปจำแนกชนิดของเชื้อโดยเทคนิคทางชีวโมเลกุล พบว่า NK 16/3 และ NK 21/2 เป็น *Bacillus megaterium* รหัส NK 16/4 เป็น *B. cereus* อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก *B. cereus* เป็นแบคทีเรียที่จัดอยู่ในระดับความเสี่ยงต่อคนในระดับ 2 (สุมล และคณะ, 2554) จึงได้คัดเลือกแบคทีเรียจำนวน 2 ไอโซเลต คือ NK 16/3 และ NK 21/2 เพื่อใช้ในการทดสอบในดินต่อไป โดยแบคทีเรียรหัส NK 16/3 แยกได้จากตัวอย่างดิน ที่เก็บจากพื้นที่ที่มีคราบเกลือ ต.บ้านวัง อ.โนนไทย จ.นครราชสีมา รหัส NK 21/2 แยกได้จากตัวอย่างดิน ที่เก็บจากพื้นที่ที่มีคราบเกลือ ต.โนนไทย อ.โนนไทย จ.นครราชสีมา ซึ่งทั้งสองพื้นที่มีค่าการนำไฟฟ้าของดิน 13.75 และ 16.44 เดซิซีเมนต่อเมตร ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.9 และ 5.2 ตามลำดับ

1.4 การทดสอบแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อเม็ดดินที่เสถียรในสภาพห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 10 ดังนี้

ผลการประเมินเสถียรภาพเม็ดดิน ได้ค่าเม็ดดินที่เสถียร จากการใช้เซลล์ของแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 2 ไอโซเลต คือ NK 16/3 และ NK 21/2 และเปรียบเทียบกับการใช้สารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้น พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่ใส่เซลล์แบคทีเรีย NK 21/2 มีผลทำให้ค่าเม็ดดินที่เสถียรมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้สารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตจากแบคทีเรีย NK 16/3 โดยมีค่าเม็ดดินที่เสถียร 51.83 และ 51.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับตำรับควบคุมมีค่าเม็ดดินที่เสถียรต่ำสุด คือ 35.57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคิดเป็น

เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้น คือ 45.71 และ 45.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานการวิจัยการใช้ *P. putida* มีผลให้ค่าเม็ดดินที่เสถียร 41 เปอร์เซ็นต์ (Sandhya and Ali, 2014) รวมทั้งการศึกษาของ สุพรรณษา (2550) การใช้โพลิแซ็กคาไรด์ ช่วยทำให้เม็ดดินมีความเสถียรต่อแรงดันของน้ำมากขึ้น ซึ่งเป็นการช่วยทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพของดินที่สำคัญ โดยเฉพาะในการปรับปรุงดินทราย

ตารางที่ 10 เม็ดดินที่เสถียร (%) จากการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

ตำรับการทดลอง	เม็ดดินที่เสถียร (%)
1. ควบคุม ไม่ใส่เชื้อ และ EPS	35.57 b
2. ใส่ตะกอนเซลล์ เชื้อ NK 16/3	39.26 b
3. ใส่ตะกอนเซลล์ เชื้อ NK 21/2	51.83 a
4. ใส่ EPS เชื้อ NK 16/3	51.81 a
5. ใส่ EPS เชื้อ NK 21/2	35.62 b
F-test	**
CV (%)	11.26

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

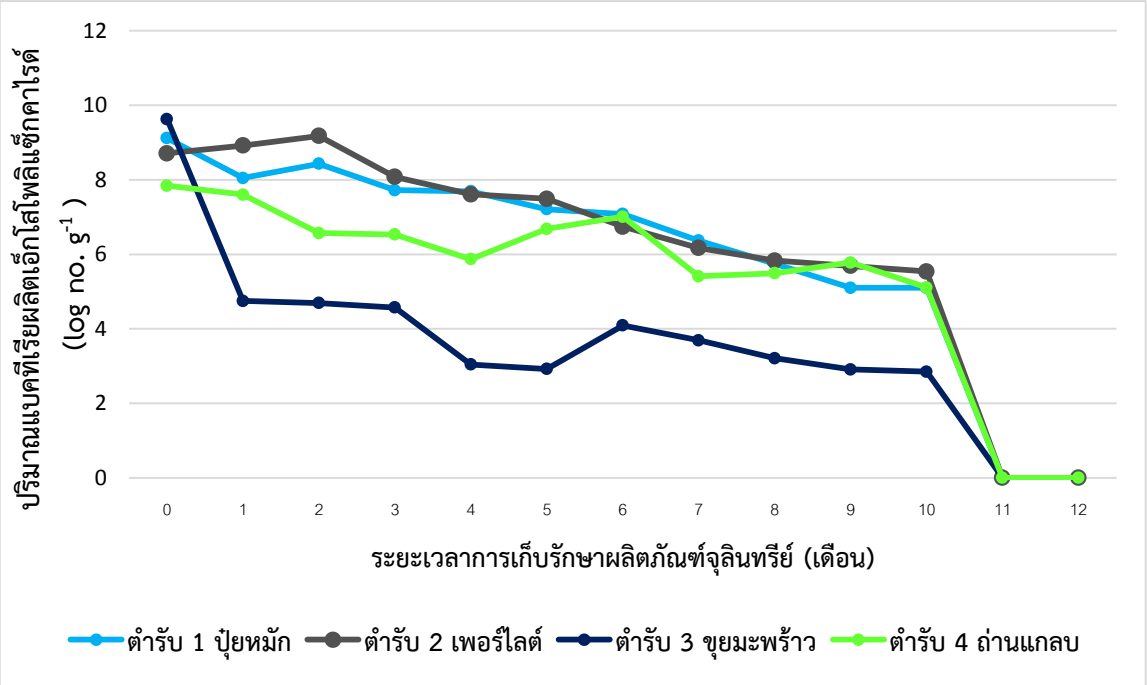
2. ผลการศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์และวิธีการเลี้ยงขยายเชื้อจุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

2.1 การศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

จากการเตรียมกล้าแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ รหัส NK 16/3 และ 21/2 เลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อ 10.79 และ 12.05 log no. ต่อมิลลิลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในการผลิตผลิตภัณฑ์ พด. คือ 10 - 15 log no ต่อมิลลิลิตร แต่อย่างไรก็ตามกรมพัฒนาที่ดินไม่ได้ระบุเป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับกล้าเชื้อแต่มีการกำหนดปริมาณจุลินทรีย์เฉพาะในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์จะต้องไม่ต่ำกว่า 7.00 log no. ต่อกรัม หลังจากนั้นนำไปคลุกกับวัสดุรองรับ 4 ชนิด เพื่อศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 เดือน ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ที่เก็บตัวอย่างทุกๆ 1 เดือน ในระหว่างการเก็บรักษา 0 - 10 เดือน ปริมาณเชื้อแบคทีเรียมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 2) โดยมีปริมาณแบคทีเรียเริ่มต้นในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปุ๋ยหมัก เพอร์ไลต์ ขุยมะพร้าว และถ่านแกลบเป็นวัสดุรองรับใกล้เคียงกัน คือมีค่า 9.12 8.71 9.63 และ 7.84 log no. ต่อกรัม ตามลำดับ หลังจากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่ใช้วัสดุรองรับทั้ง 4 ชนิดไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 3 และ ตารางภาคผนวกที่ 2) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปุ๋ยหมัก และถ่านแกลบเป็นวัสดุรองรับนั้น การเก็บรักษาที่ระยะเวลา 0 - 6 เดือน มีปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มากกว่า 7.00 log no. ต่อกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน คือ ต้องมีปริมาณเชื้อไม่ต่ำกว่า 7.00 log no. ต่อกรัม และสอดคล้องกับมนตรีและคณะ

(2550) กล่าวถึงจำนวนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่ดีควรมีปริมาณเชื้อไม่ต่ำกว่า 7.00 log no. ต่อกรัม หลังจากนั้น พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 7 - 10 เดือน ปริมาณเชื้อจะลดลง และเมื่อระยะเวลา 11 และ 12 เดือน ไม่พบแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ดังกล่าว สำหรับผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่ใช้เพอร์ไลต์เป็นวัสดุรองรับ พบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 - 5 เดือน มีค่าไม่ต่ำกว่า 7.00 log no. ต่อกรัม โดยที่ระเวลา 5 เดือน มีปริมาณเชื้อ 7.49 log no. ต่อกรัม นอกจากนี้ในระยะเวลาดังกล่าวผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ในเพอร์ไลต์จะมีปริมาณเชื้อสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุรองรับอื่นๆ โดยมีปริมาณเชื้ออยู่ในช่วง 7.49 - 9.81 log no. ต่อกรัม หลังจากนั้นปริมาณเชื้อจะลดลงต่ำกว่า 7.00 log no. ต่อกรัม โดยในช่วง 6 - 10 เดือน มีปริมาณเชื้อ 5.54 - 6.74 log no. ต่อกรัม และตรวจไม่พบแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ดังกล่าวที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 11 และ 12 เดือน สำหรับการใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุรองรับจุลินทรีย์ พบว่า หลังจากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ได้เพียง 1 เดือน มีปริมาณเชื้อลดลงต่ำกว่า 7.00 log no. ต่อกรัม โดยมีปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 4.75 log no. ต่อกรัม หลังจากนั้นปริมาณเชื้อจะลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 11 และ 12 เดือน ไม่พบแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ดังนั้นขุยมะพร้าวจึงเป็นวัสดุรองรับที่เก็บรักษาแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ต่ำที่สุด และอาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเป็นวัสดุของแบคทีเรียกลุ่มนี้

จากผลการทดลองใช้ปุ๋ยหมักและถ่านแกลบเป็นวัสดุรองรับสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ 6 เดือน สำหรับการใช้เพอร์ไลต์เป็นวัสดุรองรับ สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ 5 เดือน จึงได้คัดเลือกวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ถ่านแกลบ และเพอร์ไลต์ เพื่อศึกษาวิธีการขยายเชื้อในการทดลองขั้นต่อไป โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของธงชัย (2546) ปุ๋ยหมักช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้แก่ดิน เป็นแหล่งกำเนิดของธาตุอาหารพืช ทั้งธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุ เป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ดิน และรายงานของ มงคล และคณะ (2551) ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุรองรับที่ดีสำหรับการรองรับจุลินทรีย์ ซึ่งการใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยชีวภาพช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพให้สูงขึ้น ในการเพิ่มผลผลิตพืช และคงความมีชีวิตรอดของจุลินทรีย์ในสภาพแวดล้อมธรรมชาติได้ดีขึ้น (Chen, 2006) และผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่ใช้ถ่านแกลบเป็นวัสดุรองรับนั้น สอดคล้องกับรายงานของ Johannes *et al.* (2011) สมบัติของถ่านชีวภาพที่มีรูพรุนสูงและมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก มีผลต่อความสามารถในการดูดซับเซลล์แบคทีเรียได้ดี ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มขึ้นของรากพืชและผลผลิต และสามารถเป็นที่อยู่อาศัยให้กับจุลินทรีย์ได้ดี ขณะที่ผลิตภัณฑ์เพอร์ไลต์ สอดคล้องกับรายงานของ Mehmet (2004) วิจัยการใช้เพอร์ไลต์เป็นวัสดุรองรับเชื้อจุลินทรีย์ผลิตปุ๋ยชีวภาพ เนื่องจากสมบัติเด่นของสารเพอร์ไลต์ ด้านความพรุนจะช่วยรักษาอุณหภูมิของดินทำให้ดินรักษาสภาพความชื้นในระดับที่ไม่เปียกหรือแห้งจนเกินไป คุณสมบัติความเป็นฉนวน ไม่ให้เปลี่ยนแปลงมาก ทำให้ดินมีความร่วนซุย ไม่จับตัวกันแข็ง ช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารและลดการชะละลาย (leaching) ธาตุอาหารออกจากบริเวณรากพืช เนื่องจากมีสภาพเป็นกลาง มีความคงทนต่อปฏิกิริยาทางเคมี นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยหมักและเพอร์ไลต์ยังเป็นวัสดุรองรับสามารถทำให้จุลินทรีย์ในกลุ่มส่งเสริมการเจริญเติบโต มีชีวิตรอดได้สูงกว่าวัสดุรองรับชนิดอื่นๆ โดยพบว่า *Sinorhizobium fredii* SMH 12 และ *Bradyrhizobium japonicum* USDA 110 มีปริมาณที่เก็บรักษาในวัสดุรองรับดังกล่าว มากกว่า 10^9 และ 10^8 เซลล์ต่อกรัม ตามลำดับ (Albareda *et al*., 2008)



ภาพที่ 3 ปริมาณแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 - 12 เดือน

2.2 การศึกษาวิธีการขยายเชื้อผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์

2.2.1 การขยายเชื้อแบบแห้ง

ผลการศึกษาวิธีการขยายเชื้อแบบแห้งจากผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ 3 รูปแบบ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมัก ผลิตภัณฑ์เพอร์ไลต์ และผลิตภัณฑ์ถ่านแกลบ โดยนำไปขยายเพิ่มปริมาณเชื้อในวัสดุประกอบด้วย ปุ๋ยหมักและรำข้าว แล้วเก็บตัวอย่างวัสดุทุกๆ 1 วัน เป็นเวลา 7 วัน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 11 พบว่า การใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ทั้ง 3 รูปแบบในการขยายเชื้อแบบแห้งมีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาของการขยายเชื้อ 1 - 7 วัน ซึ่งการขยายเชื้อโดยวิธีนี้สามารถเพิ่มปริมาณเชื้อแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้สูงสุดที่ 2 - 4 วัน หลังจากนั้นปริมาณเชื้อจะลดลง เมื่อพิจารณาปริมาณเชื้อในแต่ละรูปแบบของผลิตภัณฑ์ พบว่า การขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์ในปุ๋ยหมัก สามารถเพิ่มปริมาณได้สูงสุดในช่วง 2 - 4 วัน มีค่าระหว่าง 10.00 - 10.16 log no. ต่อกรัม และหลังจากนั้นปริมาณเชื้อจะลดลงโดยที่ระยะเวลา 7 วัน มีค่าเท่ากับ 7.99 log no. ต่อกรัม สำหรับการขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์ในเพอร์ไลต์ พบว่าปริมาณเชื้อจะเพิ่มขึ้นที่การขยายเชื้อระยะเวลา 2 วัน โดยมีปริมาณเชื้อ 10.97 log no. ต่อกรัม และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 3 วัน มีค่าเท่ากับ 11.10 log no. ต่อกรัม และหลังจากนั้นมีปริมาณลดลง โดยที่ระยะเวลา 7 วัน มีค่าเท่ากับ 9.25 log no. ต่อกรัม การขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์ในถ่านแกลบ มีลักษณะเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์เพอร์ไลต์ คือ ปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลา 2 วัน มีค่า 10.98 log no. ต่อกรัม ปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลา 3 วัน หลังจากนั้นลดลงในวันที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 11.08 และ 10.50 log no. ต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อขยายเชื้อเป็นเวลา 5 - 7 วัน ปริมาณเชื้อลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ระยะเวลาการขยายเชื้อ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 9.23 log no. ต่อกรัม

ดังนั้นจากการทดลองการศึกษาวิธีการขยายเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แบบแห้งโดยใช้ปุ๋ยหมักอัตรา 100 กิโลกรัม รำข้าวละเอียด 1 กิโลกรัม และผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ 100 กรัม ปรับความชื้นด้วยน้ำให้ได้ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ในปุ๋ยหมัก ผลิตภัณฑ์ในเพอร์ไลต์

และผลิตภัณฑ์ในถ่านแกลบ สามารถขยายเพิ่มปริมาณเชื้อในระยะเวลาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2 - 4 วัน มีปริมาณเชื้อในช่วง 10.00 - 11.50 log no. ต่อกรัม

ตารางที่ 11 ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่ขยายเชื้อแบบแห้งในปุ๋ยหมักและรำข้าว

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมักและรำข้าว (log no./กรัม)							
	0 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	6 วัน	7 วัน
1. ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมัก	8.26	8.84 a	10.00 b	10.08 b	10.16 b	9.93 a	8.65 b	7.99 b
2. ผลิตภัณฑ์เพอไลต์	8.51	8.00 c	10.97 a	11.10 a	10.71 b	8.86 b	9.17 a	9.25 a
3. ผลิตภัณฑ์ถ่านแกลบ	8.45	8.25 b	10.98 a	11.08 a	11.50 a	9.37 ab	9.43 a	9.23 a
F-test	ns	**	**	**	**	*	**	*
CV (%)	1.27	1.06	1.11	0.54	3.09	3.76	1.76	5.37

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

2.2.2 การขยายเชื้อแบบเหลว

จากการศึกษาวิธีการขยายเชื้อแบบเหลวจากผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ 3 รูปแบบ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ในปุ๋ยหมัก ผลิตภัณฑ์ในเพอร์ไลต์ และผลิตภัณฑ์ในถ่านแกลบ โดยใช้น้ำตาล 2 ชนิด ได้แก่ ซูโครส และกากน้ำตาล เป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์และทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 1 วัน เป็นเวลา 7 วัน ในระหว่างการขยายเชื้อ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ พบว่า การใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ 3 รูปแบบในการขยายเชื้อแบบเหลวมีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาของการขยายเชื้อระหว่าง 3 - 7 วัน (ตารางที่ 12) โดยปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เริ่มต้นมีปริมาณระหว่าง 4.48 - 6.52 log no. ต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นทุกตำรับการทดลองมีปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เพิ่มขึ้นและสูงสุดที่ 3 วัน โดยมีปริมาณในช่วง 11.31 - 12.48 log no. ต่อมิลลิลิตร หลังจากนั้นในระหว่างการขยายเชื้อตั้งแต่ 4 - 7 วัน ปริมาณจะลดลง เมื่อพิจารณาปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ระยะเวลาการขยายเชื้อ 3 วัน พบว่าทุกตำรับการทดลองมีปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นสูงสุด โดยตำรับการทดลองที่ 5 การใช้น้ำตาลซูโครส 5 เปอร์เซ็นต์ ในการขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์ในถ่านแกลบ มีปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มากที่สุด คือ 12.48 log no. ต่อมิลลิลิตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 2 การใช้กากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์ในปุ๋ยหมัก ซึ่งมีปริมาณเชื้อ 12.47 log no. ต่อมิลลิลิตร สำหรับตำรับการทดลองที่มีปริมาณแบคทีเรียต่ำสุด คือ ตำรับการทดลองที่ 6 การใช้กากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ในการขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์ในถ่านแกลบ มีปริมาณเชื้อ 11.31 log no. ต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบการขยายเชื้อโดยใช้แหล่งของน้ำตาล 2 ชนิด

ในการขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์แบคทีเรียชนิดเดียวกัน พบว่า ตำรับการทดลองที่ 1 และ 2 การขยายเพิ่มปริมาณแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์ในปุ๋ยหมัก โดยใช้น้ำตาลซูโครสและกากน้ำตาล ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งจะเป็นในลักษณะเดียวกันกับการขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์ในเพอร์ไลต์ ยกเว้นการขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์ในถ่านแกลบ การใช้ซูโครสสามารถขยายเชื้อได้มากกว่าการใช้กากน้ำตาล แต่การใช้กากน้ำตาลก็ยังสามารถขยายเชื้อได้สูงมีปริมาณ 11.31 log no. ต่อมิลลิลิตร ดังนั้นจากผลการทดลองการขยายเพิ่มปริมาณเชื้อในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ทั้ง 3 รูปแบบ สามารถนำมาขยายเพิ่มปริมาณเชื้อแบบเหลว โดยใช้น้ำตาลซูโครสและกากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารและใช้ระยะเวลาในการขยายเพิ่มปริมาณเชื้อเป็นเวลา 3 วัน ทั้งนี้เนื่องจากกากน้ำตาลหรือโมลาสเป็นน้ำตาลที่ได้จากน้ำอ้อยที่เหลือจากกระบวนการทำให้เกิดการตกผลึกเป็นน้ำตาลทรายแล้ว มีไนโตรเจนมีประมาณ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.13 - 0.19 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 2.5 - 4.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนธาตุอาหารรองมีแคลเซียมและแมกนีเซียม 1.1 - 1.4 และ 0.4 - 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และอินทรีย์คาร์บอน 35 เปอร์เซ็นต์ ที่เป็นแหล่งอาหารและพลังงานสำคัญของจุลินทรีย์ ซึ่งกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาล เป็นแหล่งคาร์บอนที่มีราคาถูก โดยพบว่า ความเข้มข้นของกากน้ำตาล 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้ในการผลิตเดกซ์แทรน ของเชื้อ *Leuconostoc mesenteroides* สายพันธุ์ NRRL B-512 ได้ (Behravan *et al*., 2003)

ตารางที่ 12 ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่ขยายเชื้อแบบเหลว

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว (log no./มล.)							
	0 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	6 วัน	7 วัน
1. ซูโครส 5% + ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมัก	4.48 b	9.32	10.46	12.16 ab	7.80 b	7.80 b	5.63 c	4.83 b
2. กากน้ำตาล 5% + ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมัก	5.57 a	9.22	10.34	12.47 a	8.45 b	8.45 b	5.84 c	5.08 b
3. ซูโครส 5 % + ผลิตภัณฑ์เพอร์ไลต์	6.52 a	9.38	8.95	11.61 bc	8.75 b	8.75 b	9.72 a	8.83 a
4. กากน้ำตาล 5% + ผลิตภัณฑ์เพอร์ไลต์	6.50 a	9.55	9.00	12.22 ab	8.88 ab	8.88 ab	8.21 b	7.88 a
5. ซูโครส 5% + ผลิตภัณฑ์ถ่านแกลบ	6.47 a	9.38	8.15	12.48 a	8.70 b	8.70 b	10.22 a	8.02 a
6. กากน้ำตาล 5% + ผลิตภัณฑ์ถ่านแกลบ	6.05 a	9.40	10.11	11.31 c	10.29 a	10.29 a	9.47 ab	8.49 a
F-test	**	ns	ns	*	*	*	**	**
CV (%)	11.46	1.40	13.86	3.17	7.11	7.11	8.81	13.09

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการศึกษาการใช้แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวโพดหวานในดินกรด สภาพโรงเรือนกระจก

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่นำไปขยายเชื้อแบบแห้งและแบบเหลว ในการปลูกข้าวโพดหวานในดินกรดสภาพโรงเรือนกระจก ได้ผลการทดลองดังนี้

3.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน

3.1.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง (ตารางที่ 13) พบว่า ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.50 อยู่ในระดับกรดจัด ปริมาณอินทรียวัตถุ 0.49 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในระดับต่ำมาก ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 8.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำมาก และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับต่ำมาก (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547) ดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวโพดฝักสดโดยทั่วไป มีความเป็นกรดเป็นด่าง 6.50 - 7.50 อินทรียวัตถุมากกว่า 3.00 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มากกว่า 20.00 มิลลิลกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 60.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ดังนั้นดินที่ใช้ในการทดลองนี้จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงดินก่อนการปลูกพืช เพื่อให้มีความเหมาะสมในการปลูกข้าวโพดหวาน

3.1.2 สมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลอง

ทำการเก็บตัวอย่างดินหลังการทดลองในแต่ละตำรับการทดลอง นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้ผลดังนี้

1) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินหลังการทดลอง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.57 - 5.93 (ตารางที่ 13) ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลองเล็กน้อย และจัดอยู่ในระดับกรดจัดถึงกรดจัดปานกลาง (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547) ดังนั้นการใส่ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จึงไม่ทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเปลี่ยนแปลง เนื่องจากแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จะเน้นด้านการปรับปรุงดินทางกายภาพเป็นหลัก (สุพรรณษา, 2550)

2) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุหลังการทดลองทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.34 - 0.38 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 13) อยู่ในระดับต่ำมากเช่นเดียวกับก่อนการทดลอง เนื่องจากในทุกตำรับการทดลองไม่ได้มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุรวมทั้งอินทรียวัตถุในดินมีการย่อยสลายโดยกิจกรรมจุลินทรีย์ในดินตามธรรมชาติ และภูมิอากาศของประเทศไทยเป็นเขตร้อนซึ่งจะส่งผลต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินอย่างรวดเร็ว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) จึงทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุหลังการทดลองยังอยู่ในระดับต่ำมากเช่นเดียวกับก่อนการทดลอง

3) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสหลังการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยพบว่า ตำรับการทดลองที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด คือ 9.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 3 และ 4 คือ การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง และการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียรูปแบบผงในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง โดยมีปริมาณฟอสฟอรัส 9.30 และ 8.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในดินจากตำรับการทดลองดังกล่าวมีปริมาณมากกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปริมาณฟอสฟอรัส 6.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยหมักในการขยายเชื้อจากผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ซึ่งในปุ๋ยหมักดังกล่าวมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน 1.26 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 3.67 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 0.92 เปอร์เซ็นต์ (ตารางภาคผนวกที่ 8)

4) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน พบว่า ทุกตำรับการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่ 6 การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบเหลวมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากที่สุด 11.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกัน

ทางสถิติกับ ตำรับการทดลองที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง และตำรับที่การทดลอง 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยน 8.80 และ 7.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเนื่องมาจากการใช้ถ่านแกลบและเพอร์ไลต์ซึ่งมีองค์ประกอบของโพแทสเซียม โดยมีปริมาณ 0.96 และ 4.11 ปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ 7) อย่างไรก็ตาม โพแทสเซียมในดินหลังการทดลองมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองส่วนหนึ่งเนื่องมาจากพืชดูดใช้ในการเจริญเติบโต โดยข้าวโพดหวานมีความต้องการโพแทสเซียมมากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ตารางที่ 13 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการทดลองการปลูกข้าวโพดในดินกรดสภาพโรงเรือนกระจก

ตำรับการทดลอง	pH (1:1)	OM (%)	P (มก./กก.)	K (มก./กก.)
ดินก่อนการทดลอง	5.50	0.49	8.78	13.00
ดินหลังการทดลอง				
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่แบคทีเรีย)	5.70	0.37	6.07 b	6.97 b
ตำรับที่ 2 แบคทีเรียเชื้อสด	5.80	0.35	6.07 b	5.43 b
ตำรับที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	5.73	0.36	9.30 a	8.80 ab
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	5.87	0.37	8.97 a	5.60 b
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	5.93	0.38	9.80 a	6.20 b
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบเหลว	5.87	0.36	6.57 b	11.03 a
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว	5.57	0.34	6.23 b	7.80 ab
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบเหลว	5.67	0.35	6.10 b	6.13 b
F-test	ns	ns	*	*
CV (%)	3.24	7.23	13.52	28.40

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.2 การประเมินเสถียรภาพเม็ดดิน

เสถียรภาพเม็ดดินเป็นดัชนีในการประเมินโครงสร้างดิน (Bronick and Lal, 2005) จากผลการประเมินเสถียรภาพเม็ดดิน (soil aggregate stability) ได้ค่าเม็ดดินที่เสถียร พบว่า ตัวอย่างดินหลังการทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 17.48 - 21.67 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งตำรับการทดลองที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีผลทำให้ค่าเม็ดดินที่เสถียรสูงสุด คือ 21.67 เปอร์เซ็นต์ และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง ตำรับการทดลองที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง และตำรับการทดลองที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว มีค่าเม็ดดินที่เสถียร 21.17 20.24 และ 20.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในวัสดุรองรับทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ถ่านแกลบ เพอร์ไลต์ และปุ๋ยหมัก แล้วนำไปขยายเชื้อแบบแห้งมีผลทำให้ค่าเม็ดดินที่เสถียรมากกว่าการขยายเชื้อแบบเหลว (ตารางที่ 14) ซึ่งผลการทดลองจะสอดคล้องกับปริมาณแบคทีเรียในดินในตำรับการทดลองที่ใช้แบคทีเรียในรูปแบบที่ขยายแบบแห้งจะสูงกว่าขยายเชื้อแบบเหลว (ตารางที่ 15) โดยกลไกการเกิดเม็ดดินเกิดขึ้นจากการเกาะกลุ่มของอนุภาคดินและแยกตัวออกจากเม็ดดินข้างเคียง โดยมีกระบวนการหลักสองประการคือ กระบวนการแรก คือ การเกาะกลุ่มตกตะกอน (flocculation) ของอนุภาคดินเหนียว ซึ่งอาศัยแรงทางฟิสิกส์ จัดเป็นกระบวนการสร้าง (formation) และกระบวนการที่สอง คือ การเชื่อมยึดกัน (cementation) ระหว่างอนุภาคขนาดดินเหนียว ทรายแป้ง และทราย โดยมีสารเชื่อม (cementing agent) ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ จัดเป็นกระบวนการทำให้เม็ดดินมีเสถียรภาพ (stabilization) (Amezketa, 1999) จากกระบวนทั้งสองทำให้แบ่งขนาดการเกาะกลุ่มของอนุภาคดินได้สามระดับตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 1) ระดับอนุภาคดินเหนียว (clay level) (< 2 ไมโครเมตร) 2) ระดับเม็ดดินขนาดเล็ก (micro - aggregate level) (2 - 250 ไมโครเมตร) และ 3) ระดับเม็ดดินขนาดใหญ่ (macro - aggregate level) (>250 ไมโครเมตร) (Tisdall and Oades, 1982) การสร้างเม็ดดินต้องผ่านกระบวนการเกาะกลุ่มตกตะกอนของอนุภาคดินเหนียวซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ต้องมีมาก่อน (prerequisite) กระบวนการเชื่อมยึดกันจึงเกิดตามมา เมื่อกระบวนการเกาะกลุ่มตกตะกอนถูกทำลาย การเชื่อมยึดกันภายในเม็ดดินและระหว่างเม็ดดินก็จะถูกทำลายตามไปด้วย (Dexter, 1988) ซึ่งจากรายงานการวิจัย พบว่า เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่แบคทีเรียผลิตจะทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมอนุภาคดินทำให้สร้างเป็นเม็ดดินขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ (Oades *et al*., 1993) สำหรับประสิทธิภาพของเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อเสถียรภาพของเม็ดดินนั้น ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ น้ำหนักโมเลกุล และความสามารถในการสร้าง pluri-molecular network (Chenu *et al.,* 1994: Czarnes *et al.,* 2000) โดยเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มีความสามารถในการดูดซับที่ผิวอนุภาคของแร่ดินเหนียวและซิลิเกตได้ดี เนื่องจากมีขนาดโมเลกุลใหญ่และน้ำหนักโมลกุลสูง 10^5 ถึง มากกว่า 10^6 เดลตัล รวมทั้งยังเป็นสารเชื่อมระหว่างอนุภาคดินในลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีขนาดความกว้าง 2 - 3 นาโนไมครอน และความยาว ตั้งแต่ 100 ไมโครเมตร (Morris and Norton, 1983: McIntire *et al*. 1997) นอกจากนี้ Anger and Carter (1996) รายงานว่าเม็ดดินที่เสถียรมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินและมีความสัมพันธ์กับเสถียรภาพของเม็ดดินขนาดใหญ่ ซึ่งเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์อาจมีผลต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินบริเวณรอบรากพืช โดยพบว่าเสถียรภาพของเม็ดดินและขนาดของเม็ดดินจะเพิ่มขึ้นตามระดับของอินทรีย์คาร์บอนในดินอย่างเป็นเส้นตรง (Haynes, 2000) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Singh (2013) ศึกษาการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 3 สายพันธุ์ในการปลูกข้าวสาลีในกระถาง ที่มีผลต่อเม็ดดินที่เสถียรที่อายุ 20 วัน และ 40 วัน พบว่า การใช้แบคทีเรีย *B. cereus M. resistens* และ *Pseudomonas* sp. เมื่อข้าวสาลีอายุ 20 วัน มีผลทำให้เม็ดดินที่เสถียรเพิ่มขึ้น 25.4 21.7 และ 25.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อข้าวสาลีอายุ 40 วัน เพิ่มขึ้น 17.2 14.6 และ 18.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ไม่ใช้แบคทีเรีย

ตารางที่ 14 เม็ดดินที่เสถียร (%) หลังการทดลองการปลูกข้าวโพดในดินกรดสภาพโรงเรือนกระจก

ตำรับการทดลอง	เม็ดดินที่เสถียร (%)
ตำรับที่ 1 ตำรับควบคุม (ไม่ใส่แบคทีเรีย)	19.78 ab
ตำรับที่ 2 แบคทีเรียเป็นเชื้อสด	17.48 b
ตำรับที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	21.67 a
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	21.17 a
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	20.24 a
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบเหลว	19.99 ab
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว	20.05 a
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบเหลว	19.67 ab
F-test	*
CV (%)	7.35

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.3 ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินหลังการทดลอง

จากการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดิน พบว่า การใช้แบคทีเรียทั้งในลักษณะเชื้อสด (ตำรับที่ 2) และผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ (ตำรับที่ 3 - 8) มีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (ตารางที่ 15) โดยตำรับการทดลองที่ 4 การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้งมีค่าสูงสุด 6.15 log no. ต่อกรัม หรือเท่ากับ 1.4×10^6 เซลล์ต่อกรัมดิน แต่ไม่แตกต่างกับตำรับการทดลองที่ 2 การใช้แบคทีเรียแบบเชื้อสด ตำรับการทดลองที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง และตำรับการทดลองที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง ซึ่งมีปริมาณเชื้อเท่ากับ 5.82 5.89 6.08 และ 5.97 log no.ต่อกรัม หรือเท่ากับ 6.6×10^5 7.7×10^5 1.2×10^6 และ 9.3×10^5 เซลล์ต่อกรัมดิน ตามลำดับ อย่างไรก็ตามตำรับควบคุมมีปริมาณแบคทีเรียต่ำสุด คือ 3.26 log no. ต่อกรัม ดังนั้น แสดงให้เห็นว่าการใส่ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ มีผลต่อการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียดังกล่าวในดินซึ่งอาจจะส่งผลต่อการปรับปรุงบำรุงดินด้วย โดยสอดคล้องกับผลการทดลองที่ใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในรูปแบบแห้ง มีผลต่อค่าเม็ดดินที่เสถียรสูงกว่าการใช้แบบเหลว

ตารางที่ 15 ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินกรดสภาพโรงเรือนกระจก

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดิน (log no./กรัม)
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่แบคทีเรีย)	3.26 c
ตำรับที่ 2 แบคทีเรียเชื้อสด	5.82 a
ตำรับที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	5.89 a
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	6.15 a
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	6.08 a
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบเหลว	5.97 a
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว	4.73 b
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบเหลว	4.94 b
F-test	*
CV (%)	5.53

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.4 การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน โดยวัดจากความสูง น้ำหนักต้นสดและต้นแห้งของข้าวโพดหวาน อายุ 45 วัน และนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 16 โดยมีผลการทดลองดังนี้

3.4.1 ความสูงของข้าวโพดหวาน พบว่า ตำรับการทดลองที่ 3 การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีผลให้ความสูงของข้าวโพดหวานสูงสุด 25.64 เซนติเมตร ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 5 การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีความสูง 25.27 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่มีปริมาณเชื้อในผลิตภัณฑ์ที่ทั้ง 2 ชนิดสูงสุด แสดงว่า เมื่อมีการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่มีผลต่อปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดิน จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานด้วย นอกจากนี้การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียที่ขยายเชื้อแบบแห้งมีแนวโน้มทำให้ความสูงของต้นข้าวโพดสูงกว่าการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียที่ขยายเชื้อแบบเหลว

3.4.2 น้ำหนักสดและแห้งของต้นข้าวโพด พบว่า ผลการทดลองมีลักษณะเดียวกันกับความสูงของต้นข้าวโพด คือ ตำรับการทดลองที่ 3 การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีผลทำให้น้ำหนักต้นข้าวโพดสดมากที่สุด คือ 12.00 กรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 5 การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง ซึ่งมีน้ำหนักสดต้นข้าวโพด 11.32 กรัม และตำรับการทดลองที่ 4 การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีน้ำหนักสดต้นข้าวโพด 10.46 กรัม สำหรับน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด พบว่า ตำรับการทดลองที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมัก

ที่ขยายเชื้อแบบแห้งให้ผลน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดมากที่สุด 1.63 กรัม โดยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้งและตำรับการทดลองที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียรูปแบบผงในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีน้ำหนักแห้งต้นข้าวโพด 1.42 และ 1.48 กรัม ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับน้ำหนักต้นข้าวโพดสด นอกจากนี้ผลการทดลอง พบว่า การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียที่ขยายเชื้อแบบแห้งมีผลทำให้น้ำหนักสดและ น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด มากกว่าการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียที่ขยายเชื้อแบบเหลว

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มีผลต่อการส่งเสริมการเจริญเติบของข้าวโพดหวาน สอดคล้องกับรายงานของ Amellal *et al*. (1998) และ Awasthi *et al*. (2017) พบว่า การใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินทรายแป้ง เพิ่มการยึดเกาะของรากกับดิน เพิ่มขนาดของเม็ดดิน และเสถียรภาพเม็ดดิน ซึ่งในการทดลองพบว่า การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ทั้ง 3 รูปแบบ ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมักให้ผลส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานได้ดีกว่าการใส่เชื้อขยายแบบเหลว ซึ่งอาจเป็นเพราะการขยายเชื้อแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลีแซ็กคาไรด์ในปุ๋ยหมักซึ่งเป็นวัสดุรองรับและเป็นแหล่งอาหารให้กับจุลินทรีย์มีผลให้ปริมาณเชื้อสูงกว่าการขยายเชื้อแบบเหลว

ดังนั้นจึงคัดเลือกตำรับการทดลองที่ใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง ซึ่งส่งผลต่อสมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน ได้แก่ เสถียรถาพเม็ดดิน ปริมาณแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดิน ความสูง น้ำหนักต้นข้าวโพดสด และน้ำหนักต้นข้าวโพดแห้ง นำมาใช้ในการทดลองในสภาพแปลงทดลองต่อไป

ตารางที่ 16 ความสูง น้ำหนักต้นสด และน้ำหนักต้นแห้งของข้าวโพด ที่อายุ 45 วัน ในดินกรดสภาพโรงเรือนกระจก

ตำรับการทดลอง	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักต้นสด (ก.)	น้ำหนักต้นแห้ง (ก.)
ตำรับที่ 1 ตำรับควบคุม (ไม่ใส่แบคทีเรีย)	20.55 bc	6.77 bc	1.07 bc
ตำรับที่ 2 แบคทีเรียเชื้อสด	20.27 bc	8.59 abc	1.12 abc
ตำรับที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	25.64 a	12.00 a	1.42 ab
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	24.25 ab	10.46 ab	1.48 ab
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	25.27 a	11.32 a	1.63 a
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบเหลว	17.82 cd	8.03 abc	1.07 bc
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว	15.48 d	4.53 c	0.75 c
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบเหลว	20.21 bc	6.74 bc	1.00 bc
F-test	*	*	*
CV (%)	11.50	29.30	23.54

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. ผลการศึกษาการใช้แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวโพดหวานในดินเค็ม สภาพโรงเรือนกระจก

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่นำไปขยายเชื้อแบบแห้งและแบบเหลว ในการปลูกข้าวโพดหวานในดินเค็มสภาพโรงเรือนกระจก ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน

4.1.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง (ตารางที่ 17) พบว่า ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.50 อยู่ในระดับกรดจัด ค่าการนำไฟฟ้า 6.93 เดซิซีเมนต่อเมตร จัดอยู่ในระดับเค็มปานกลาง ปริมาณอินทรียวัตถุ 0.50 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในระดับต่ำมาก ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 7.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำมาก และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 20.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับต่ำมาก (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547) เมื่อพิจารณาตามผลวิเคราะห์ดินนี้ พบว่า ดินที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นดินที่จำเป็นต้องมีการ

ปรับปรุงดินก่อนการปลูกพืช เพื่อให้มีความเหมาะสมในการปลูกข้าวโพดหวาน (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

4.1.2 สมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลอง

ทำการเก็บตัวอย่างดินหลังการทดลองในแต่ละตำรับการทดลอง นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้ผลดังนี้

1) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินหลังการทดลอง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.17 - 6.43 (ตารางที่ 17) ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลองเล็กน้อย และจัดอยู่ในระดับกรดเล็กน้อย (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547)

2) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน จากผลวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดินหลังการทดลอง พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ระหว่าง 7.09 - 7.93 เดซิซีเมนต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในระดับเค็มปานกลาง เช่นเดียวกันกับก่อนการทดลอง โดยตำรับการทดลองที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด คือ ตำรับการทดลองที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบเหลว และตำรับการทดลองที่มีค่าต่ำสุด คือ ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว ดังนั้นจากผลการทดลองค่าการนำไฟฟ้ากระถางของดินในการทดลองในกระถางไม่มีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนอาจเกิดจากแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ไม่ได้มีกลไกในการลดค่าการนำไฟฟ้าแต่เป็นการลดการเคลื่อนย้ายโซเดียมไอออนสู่รากและส่วนเหนือดินของพืช (Ashraf *et. al.*, 2004)

3) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุหลังการทดลองทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.67 - 0.79 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 17) ยังจัดอยู่ในระดับต่ำมากเช่นเดียวกับก่อนการทดลอง เนื่องจากในทุกตำรับการทดลองไม่ได้มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองที่ดำเนินการในดินกรดในสภาพโรงเรือนกระจก

4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสหลังการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.87 - 8.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 17) ซึ่งส่วนใหญ่จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลดลง และยังอยู่ในระดับต่ำเหมือนกับก่อนการทดลอง อาจเนื่องมาจากพืชดูดใช้ในระหว่างการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามตำรับการทดลองที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด คือ 8.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สอดคล้องกับผลการทดลองที่ดำเนินการในดินกรดในสภาพโรงเรือนกระจก รองลงมาคือ ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบเหลว มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 7.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งทั้ง 2 ตำรับการทดลองมีการใช้ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุรองรับในการผลิตผลิตภัณฑ์ รวมทั้งในตำรับที่ 8 มีการใช้ปุ๋ยหมักในการขยายเชื้อด้วย ดังนั้นฟอสฟอรัสในดินอาจมาจากฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบของปุ๋ยหมัก ซึ่งมีฟอสฟอรัส 3.67 เปอร์เซ็นต์ (ตารางภาคผนวกที่ 8)

5) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันสถิติ มีค่าเฉลี่ยในช่วง 23.10 - 29.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 17) โดยยังอยู่ในระดับต่ำมากเหมือนกับก่อนการทดลอง สำหรับตำรับการทดลองที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงสุด คือ ตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบเหลว และตำรับการทดลองที่มีค่าต่ำสุด คือ ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว

ตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินเค็มสภาพโรงเรือนกระจก

ตำรับการทดลอง	pH (1:1)	EC (ds/m)	OM (%)	P (มก./กก.)	K (มก./กก.)
ดินก่อนการทดลอง	5.50	6.93	0.50	7.90	20.90
ดินหลังการทดลอง					
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่แบคทีเรีย)	6.00	7.77	0.69	6.70	26.65
ตำรับที่ 2 แบคทีเรียเชื้อสด	6.30	7.21	0.74	5.93	24.30
ตำรับที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	6.27	7.64	0.79	4.87	26.33
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	6.17	7.90	74	5.55	25.65
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	6.17	7.51	0.71	8.15	27.50
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบเหลว	6.07	7.93	0.71	6.43	25.75
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว	6.43	7.09	0.67	5.67	29.30
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบเหลว	6.43	7.34	0.70	7.60	23.10
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5.48	2.75	13.84	19.76	11.45

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.2 การประเมินเสถียรภาพเม็ดดิน

ผลการประเมินเสถียรภาพเม็ดดินได้ค่าเม็ดดินที่เสถียร พบว่า ก่อนการทดลองมีค่า 9.12 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าเม็ดดินที่เสถียรหลังการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยตำรับการทดลองที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีค่ามากที่สุด คือ 29.57 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ ตำรับการทดลองที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีค่าเม็ดดินที่เสถียร 25.40 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์รูปแบบต่างๆ รวมทั้งเชื้อสด มีค่าเม็ดดินที่เสถียรมากกว่าตำรับควบคุม ซึ่งมีค่าต่ำสุด คือ 14.90 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 18) ซึ่งจากผลการทดลองนี้พบว่าการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินเค็มปานกลางมีผลทำให้ค่าเม็ดดินที่เสถียรเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ซึ่งมีค่าเม็ดดินที่เสถียรต่ำสุด คือ 14.90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสมบัติของเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ที่เป็นเสมือนกาวเป็นสารเชื่อมให้อนุภาคดินเกาะกันเป็นเม็ดดินดีขึ้น จึงช่วยในการการปรับปรุงบำรุงดิน (Hu *et al.*, 2003)

ตารางที่ 18 เม็ดดินที่เสถียร (%) ก่อนและหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินเค็มสภาพโรงเรือนกระจก

ตำรับการทดลอง	เม็ดดินที่เสถียร (%)
ก่อนการทดลอง	9.12
หลังการทดลอง	
ตำรับที่ 1 ตำรับควบคุม (ไม่ใส่แบคทีเรีย)	14.90 b
ตำรับที่ 2 แบคทีเรียเป็นเชื้อสด	19.77 ab
ตำรับที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	22.33 ab
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	25.40 a
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	29.57 a
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบเหลว	16.27 b
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว	20.41 ab
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบเหลว	16.30 b
F-test	**
CV (%)	8.10

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.3 การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในดินเค็มในสภาพโรงเรือนกระจก โดยวัดจากความสูง น้ำหนักต้นสดและต้นแห้งของข้าวโพดหวาน อายุ 45 วัน และนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 19 โดยมีผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ความสูงของข้าวโพดหวาน จากการวัดความสูงของต้นข้าวโพด พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีความสูง ระหว่าง 38.67 - 75.17 เซนติเมตร โดยตำรับการทดลองที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีผลให้ความสูงของข้าวโพดหวานสูงสุด 75.17 เซนติเมตร ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 2 เชื้อสด และตำรับการทดลองที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีความสูง 62.00 และ 58.03 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยตำรับควบคุมมีความสูงต่ำสุด คือ 38.67 เซนติเมตร ซึ่งการทดลองนี้พบว่าการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์รูปแบบต่างๆ และเชื้อสด มีผลทำให้การเจริญเติบโตในด้านความสูงของข้าวโพดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการเพิ่มขึ้นของค่าเม็ดดินที่เสถียร เนื่องจากการใช้เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในสภาพดินเค็มนอกจากจะช่วยทำให้ค่าความเสถียรของเม็ดดินเพิ่มขึ้นแล้วยังช่วยในการจับกับแคทไอออน รวมทั้งโซเดียมไอออน (Geddie and Sutherland, 1993) ซึ่งการเพิ่มประชากรของแบคทีเรียที่ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในพื้นที่อาณาเขตรากพืชนั้น จะช่วยลดผลกระทบของความเครียดของพืชที่เกิดจากสภาวะความเค็ม และสามารถลดการดูดใช้โซเดียมไอออนของรากพืชได้ (Ashraf *et al*., 2004) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Upadhyay *et al* (2011) พบว่าการใช้แบคทีเรียบริเวณรอบรากพืชที่

ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่แยกจากพื้นที่ดินเค็มปลูกข้าวสาลี จะช่วยลดความเป็นประโยชน์ของโซเดียมไอออน และทำให้พืชทนต่อสภาพความเค็มที่ใช้ในการทดสอบได้

4.3.2 น้ำหนักสดและแห้งของต้นข้าวโพด จากการเก็บข้อมูลน้ำหนักต้นสด พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีน้ำหนักสดระหว่าง 8.03 - 11.61 กรัม และน้ำหนักต้นแห้งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งมีค่าระหว่าง 2.19 - 8.02 กรัม ตามลำดับ ซึ่งตำรับการทดลองที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง มีน้ำหนักสดและแห้งของต้นข้าวโพดสูงสุด และตำรับการทดลองที่ 1 ควบคุม มีน้ำหนักสดและแห้งของต้นข้าวโพดต่ำสุด ซึ่งการทดลองสอดคล้องกับข้อมูลความสูงของต้นข้าวโพด

ดังนั้นจึงคัดเลือกตำรับการทดลองที่ใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง ซึ่งส่งผลต่อสมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน ได้แก่ ค่าเม็ดดินที่เสถียร ความสูง น้ำหนักต้นสดและแห้ง นำมาใช้ในการทดลองในสภาพแปลงทดลองในสภาพดินเค็มต่อไป

ตารางที่ 19 ความสูง น้ำหนักต้นสด และน้ำหนักต้นแห้งของข้าวโพด ที่อายุ 45 วัน ในดินเค็มสภาพโรงเรือนกระจก

ตำรับการทดลอง	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักต้นสด (ก.)	น้ำหนักต้นแห้ง (ก.)
ตำรับที่ 1 ตำรับควบคุม (ไม่ใส่แบคทีเรีย)	38.67 b	8.11 b	2.19 c
ตำรับที่ 2 แบคทีเรียเชื้อสด	62.00 a	9.24 b	3.82 bc
ตำรับที่ 3 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	53.12 ab	9.17 b	3.51 bc
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	58.03 a	9.58 b	5.11 b
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง	75.17 a	11.61 a	8.02 a
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียถ่านแกลบที่ขยายเชื้อแบบเหลว	47.00 b	8.06 b	2.98 c
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในเพอร์ไลต์ที่ขยายเชื้อแบบเหลว	47.73 b	8.03 b	3.06 c
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบเหลว	49.63 ab	8.68 b	4.01 bc
F-test	**	*	**
CV (%)	11.39	10.71	26.03

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

5. ผลของแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินกรด สภาพแปลงทดลอง

จากผลการทดลองการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์อัตราต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวโพดหวานในดินกรด สภาพแปลงทดลองได้ผลการทดลอง ดังนี้

5.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน

5.1.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร ซึ่งเป็นดินชุดดินเดียวกันกับการทดลองในโรงเรือนกระจก นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง พบว่า ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.50 อยู่ในระดับกรดจัด ปริมาณอินทรียวัตถุ 0.49 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในระดับต่ำมาก ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 8.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำมาก และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 14.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำมาก (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547) ดังแสดงในตารางที่ 20 ซึ่งผลวิเคราะห์ดินดังกล่าวนำมาประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ก่อนการทดลองสำหรับปลูกข้าวโพดหวาน พบว่า ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจะมีอินทรียวัตถุในดินต่ำกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางภาคผนวกที่ 9)

5.1.2 สมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลอง

1) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จากผลวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างในดิน พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.77 - 6.83 (ตารางที่ 20) ซึ่งจัดอยู่ในระดับกรดปานกลางถึงกลาง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลองในทุกตำรับการทดลอง ซึ่งตำรับการทดลองที่ 7 การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นมากที่สุด มีค่า 6.83 สำหรับตำรับการทดลองที่ 1 ตำรับควบคุม ให้ผลการเพิ่มขึ้นของความเป็นกรดเป็นด่างต่ำที่สุด มีค่า 5.77 ซึ่งแสดงว่าการใช้ปัจจัยการผลิตในการทดลองส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเป็นกรดเป็นด่างเล็กน้อย ทั้งนี้ตำรับการทดลองที่มีการใช้ปัจจัยการผลิตทั้งปุ๋ยคอก และผลิตภัณฑ์แบคทีเรียที่ขยายเชื้อมีผลทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินมากกว่าตำรับการทดลองอื่น ซึ่งอาจเนื่องมาจากสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวที่มีผลต่อความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดินได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

2) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุหลังการทดลอง ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.46 - 0.63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ (ตารางที่ 20) ตำรับการทดลองที่มีปริมาณอินทรียวัตถุมากที่สุด คือ ตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้ออัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก มีปริมาณอินทรียวัตถุ 0.63 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้ง 3 ตำรับการทดลอง คือ ตำรับการทดลองที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และ ตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีปริมาณอินทรียวัตถุ 0.52 - 0.63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีแน้วโน้มส่งผลต่อปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าตำรับการทดลองที่ใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตำรับการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำ และตำรับควบคุม ซึ่งอาจ

เนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยหมักอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุที่จะเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในดินได้มากกว่าการใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ รวมทั้งการใช้ปุ๋ยเคมีและตำรับควบคุมซึ่งไม่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จึงไม่มีผลต่อการเพิ่มอินทรียวัตถุ

3) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน จากผลวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีปริมาณระหว่าง 12.23 - 30.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง (ตารางที่ 20) โดยตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุด คือ 30.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ ตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 29.90 มิลลิกรัม จัดอยู่ในระดับสูง ซึ่งอาจเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัส 3.67 และ 1.31 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ 8) และสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ช่วยให้ธาตุอาหารปลดปล่อยออกมาในดินอย่างช้าๆ ให้เป็นประโยชน์กับพืช และลดการสูญเสียธาตุอาหารในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) จึงทำให้ยังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งตำรับการทดลองที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 17.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามตำรับควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำที่สุด 12.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าระหว่าง 21.30 - 29.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 20) และจัดอยู่ในระดับต่ำมาก แต่เพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ปัจจัยต่างๆ ในการทดลอง โดยตำรับการทดลองที่ 3 การใช้ปุ๋ยคอก มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากที่สุด คือ 29.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีค่า 28.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเนื่องมาจากาการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักซึ่งมีองค์ประกอบของโพแทสเซียมใส่ลงไปในดินเป็นการเพิ่มโพแทสเซียมในดินให้สูงขึ้น รวมทั้งตำรับการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก มีแนวโน้มให้ปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าปุ๋ยเคมี เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ช่วยดูดซับธาตุอาหารในดินและลดการสูญเสียธาตุอาหารในดินจึงยังคงมีโพแทสเซียมในดินสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลอง จะเห็นได้ว่าตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยคอก และตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน จะมีปริมาณธาตุอาหารหลักและอินทรียวัตถุมากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ

ตารางที่ 20 สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินกรดสภาพแปลงทดลอง

ตำรับการทดลอง	pH (1:1)	OM (%)	P (มก./กก.)	K (มก./กก.)
ก่อนการทดลอง	5.50	0.49	8.98	14.00
หลังการทดลอง				
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)	5.77	0.47	12.23 e	21.57
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	6.20	0.51	17.73 de	23.53
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	6.27	0.53	19.93 cd	29.33
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่	6.60	0.54	20.40 cd	22.37
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	6.17	0.49	20.23 cd	21.30
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	6.47	0.46	25.80 abc	21.70
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่	6.83	0.52	21.57 bcd	24.83
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	6.60	0.63	29.90 ab	25.53
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	6.40	0.52	30.73 a	28.07
F test	ns	ns	**	ns
CV (%)	9.12	11.83	11.33	18.02

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

5.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดิน

5.2.1 สมบัติทางกายภาพของดินก่อนการทดลอง

ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินก่อนการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 21 ดังนี้

1) การประเมินเสถียรภาพเม็ดดิน จากการประเมินเสถียรภาพเม็ดดินได้ค่าเม็ดดินที่เสถียร พบว่า ดินก่อนการทดลอง พบว่า มีค่าเท่ากับ 22.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าเม็ดดินที่เสถียรมีความสำคัญต่อการพัฒนารากพืช การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุและน้ำในดิน ความสามารถของดินต่อการต้านทานการกร่อนดิน (Kay, 1998) ช่วยให้ดินมีโครงสร้างที่ดี เพิ่มอัตราการแทรกซึมน้ำและการอุ้มน้ำ (Unger and Jones, 1994; Unger, 1997)

2) ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) เป็นสัดส่วนของมวลของดินแห้งต่อปริมาตรรวมของดิน โดยทั่วไปความหนาแน่นรวมของดินที่มีโครงสร้างดินดี มีค่า 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (วีรวัฒน์, 2558) ดินเนื้อหยาบมีความหนาแน่นรวมของดินสูงกว่าดินเนื้อละเอียด เช่น ดินทรายมีความหนาแน่นรวม 1.55 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และดินเหนียว 1.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Hausenbuiller, 1985) เมื่อดินมีความหนาแน่นรวมสูงแสดงว่ามีสัดส่วนของน้ำในช่องว่างดินมาก และเมื่อดินมีความหนาแน่นรวมสูงเกินไปจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย สำหรับดินก่อนการทดลองมีค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 1.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าดินทั่วไป ทั้งนี้อาจเกิดจากการใช้พื้นที่ดังกล่าวทำการเกษตรอย่างต่อเนื่องและมีการใช้เครื่องจักรกลในการไถพรวนดิน

ตารางที่ 21 สมบัติทางกายภาพของดินก่อนการทดลองปลูกข้าวโพดในดินกรดสภาพแปลงทดลอง

สมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์
เม็ดดินที่เสถียร (%)	22.87
ความหนาแน่นรวมของดิน (ก./ล.บ.ซม.)	1.75

5.2.2 สมบัติทางกายภาพของดินหลังการทดลอง

ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินหลังการทดลองได้ผลดังแสดงในตารางที่ 22 ดังนี้

1) การประเมินเสถียรภาพเม็ดดิน จากการประเมินเสถียรภาพเม็ดดินได้ค่าเม็ดดินที่เสถียร พบว่า ดินหลังการทดลองในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ มีค่าอยู่ระหว่าง 22.04 - 26.94 เปอร์เซ็นต์ โดยตำรับการทดลองส่วนใหญ่มีค่าเม็ดดินที่เสถียรสูงกว่าก่อนการทดลอง ซึ่งตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีค่ามากที่สุด คือ 26.94 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก มีค่า 26.57 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์อย่างเดียวทั้ง อัตรา 300 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเม็ดดินที่เสถียรใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยคอก แต่เมื่อมีการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ทั้งอัตรา 300 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยคอก มีผลทำให้ค่าเม็ดดินที่เสถียรมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้น จากการทดลองนี้การใช้ปัจจัยการผลิต ทั้งผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์อย่างเดียว ปุ๋ยคอกอย่างเดียว และ ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ร่วมกับปุ๋ยคอก มีผลทำให้ค่าเม็ดดินที่เสถียรเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง และตำรับควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Harahap *et al.* (2018) พบว่า การใช้แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่พบในดินบริเวณรากยางพาราในการปรับปรุงเสถียรภาพเม็ดดินในดินทราย ซึ่งพบว่าการใส่แบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ คือ *Klebsiella* sp. LW-13 และ *Burkholderia anthina* MYSP113

ร่วมกับอินทรียวัตถุ 2 เปอร์เซ็นต์ ช่วยเพิ่มค่าดัชนีเสถียรภาพเม็ดดินจาก 30.67 เปอร์เซ็นต์ เป็น 45.01 - 48.20 เปอร์เซ็นต์ และ Amellal *et al*. (1998) ศึกษาการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ *P. agglomerans* NAS206 ที่มีต่อการเกิดเม็ดดิน โดยแยกเชื้อแบคทีเรียจากดินบริเวณรากข้าวสาลี และใช้ในการเคลือบเมล็ดข้าวสาลีก่อนปลูก พบว่า สามารถช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ เพิ่มค่าเม็ดดินที่เสถียร นอกจากนี้การใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ สกุล *Azospirillum* ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน และการเกิดเม็ดดิน ในสภาวะข้อจำกัดของน้ำในดิน (Bensalim *et al*., 1998) และการใช้ไรโซเบียม สายพันธุ์ YAAF34 นอกจากจะช่วยเพิ่มการเกิดเม็ดดินแล้วยังเพิ่มการพัฒนาของรากพืชด้วย (Alami *et al*., 2000) รวมทั้งยังพบว่า แบคทีเรีย *Baciilus* spp. strain HYD-B17, HYTAPB18 และ RMPB44 มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดดินเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้แบคทีเรีย (Sandhya and Ali, 2014)

2) ความหนาแน่นรวมของดิน พบว่า จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดินหลังการทดลองในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.62 - 1.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตำรับการทดลองส่วนใหญ่มีค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลงจากก่อนการทดลอง โดยเฉพาะในตำรับการทดลองที่ใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ คือตำรับการทดลองที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีค่าความหนาแน่นรวมของดินต่ำสุด 1.62 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ใกล้เคียงกับ ตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีค่า 1.62 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มความหนาแน่นรวมของดินต่ำกว่า การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์อย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sivapriya and Priya (2017) การใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ *Azotobacter* AzRMD2 มีผลทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง เนื่องจากเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างและการเกิดเม็ดดิน และคุณสมบัติการเป็นสารเชื่อมเม็ดดินของเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตจากแบคทีเรีย นอกจากนี้ Maqubela *et al*. (2009) และ Tikhonovich and Provorvo (2011) พบว่า การลดลงของความหนาแน่นรวมของดินจากการใช้อินทรียวัตถุซึ่งช่วยในการเพิ่มเสถียรภาพเม็ดดินด้วย

ตารางที่ 22 สมบัติทางกายภาพของดินหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินกรดสภาพแปลงทดลอง

ตำรับการทดลอง	เม็ดดินที่เสถียร (%)	ความหนาแน่นรวมของดิน (ก./ล.บ.ซม.)
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)	24.47	1.70
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	26.16	1.72
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	25.38	1.74
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่	25.52	1.68
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	26.41	1.75

ตารางที่ 22 (ต่อ)

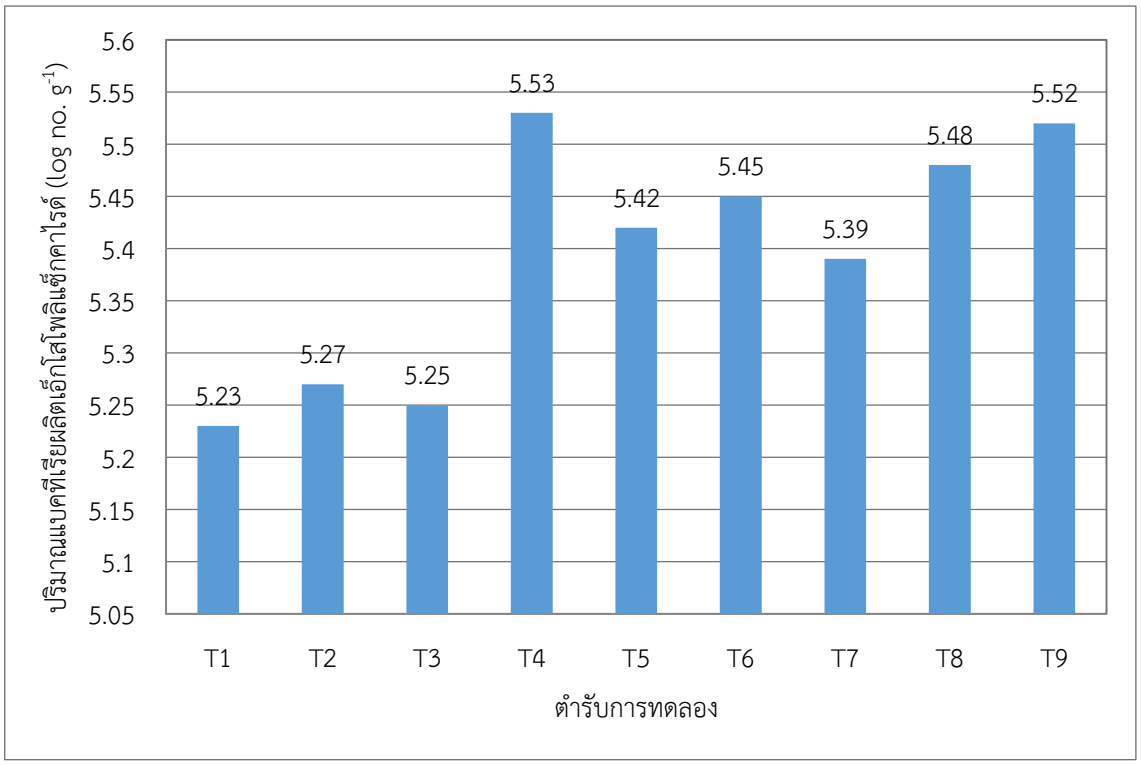
ตำรับการทดลอง	เม็ดดินที่เสถียร (%)	ความหนาแน่นรวมของดิน (ก./ล.บ.ซม.)
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	26.48	1.62
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่	22.04	1.69
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	26.57	1.70
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	26.94	1.63
F test	ns	ns
CV (%)	8.86	3.90

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

5.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินหลังการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลีแซ็กคาไรด์หลังการทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 5.23 - 5.53 log no. ต่อกรัม (ภาพที่ 4) โดยการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มีแนวโน้มทำให้ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินมากกว่าตำรับควบคุม และปุ๋ยเคมี ตำรับการทดลองที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีปริมาณแบคทีเรียมากที่สุด คือ 5.53 และ 5.52 log no. ต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ได้ลงในดิน มีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์เพิ่มขึ้นและยังคงมีชีวิตรอดอยู่ในดิน ดังปรากฏในผลวิเคราะห์ปริมาณเชื้อหลังการทดลอง



ภาพที่ 4 ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินหลังการทดลองปลูกข้าวโพดในดินกรดสภาพแปลงทดลอง

5.4 การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวาน

จากผลการทดลองและเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวาน นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้ผลการทดลองดังนี้

5.4.1 ความสูงต้นข้าวโพดหวาน

ความสูงต้นข้าวโพดหวาน อายุเก็บเกี่ยว พบว่า ความสูงต้นข้าวโพดทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 100.37 - 123.47 เซนติเมตร (ตารางที่ 23) ซึ่งการใส่เชื้อแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ทุกตำรับการทดลองมีแนวโน้มทำให้ความสูงต้นข้าวโพดมากกว่าตำรับควบคุมและการใช้ปุ๋ยคอก แต่ใกล้เคียงกับตำรับที่ใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีความสูงต้นข้าวโพดสูงที่สุด 123.47 เซนติเมตร ใกล้เคียงกับตำรับการทดลองที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีความสูงต้นข้าวโพด 121.53 เซนติเมตร ซึ่งการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชสอดคล้องกับการศึกษาของ Raza and Faisal (2013) พบว่าการใช้ *Micrococus latevs* chp 37 ที่ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ช่วงส่งเสริมการเจริญเติบโตทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของข้าวโพดมากกว่าตำรับที่ไม่ใส่จุลินทรีย์ 80 และ 84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้มีการรายงานการใช้โพลิแซ็กคาไรด์ในการผลิตยางชำถุง พันธุ์ RRIM600 ที่ได้รับการพ่นใบด้วยสารโพลิแซ็กคาไรด์ของ *P. fluorescens* SP007s ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีผลทำให้ความสูงต้นยาง ความยาวราก และเส้นรอบวงลำต้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (พันศักดิ์ และคณะ, 2558) การใช้ *P. anguilliseptica* ในสภาวะความเครียดจากความเค็มยังส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของถั่วเพิ่มขึ้นทั้งความสูง น้ำหนักแห้ง (Mohammed, 2018)

ตารางที่ 23 ความสูงของต้นข้าวโพดหวานที่อายุเก็บเกี่ยวในดินกรดสภาพแปลงทดลอง

ตำรับการทดลอง	ความสูง (ซม.)
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)	100.37
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	116.93
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	103.77
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	118.37
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียรูปแบบผงในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	102.93
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	121.53
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	113.43
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	114.77
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	123.47
F test	ns
CV (%)	10.45

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

5.4.2 ผลผลิตข้าวโพดหวาน

จากผลการเก็บข้อมูลผลผลิตข้าวโพดหวาน ได้แก่ น้ำหนักสดรวมเปลือกและปอกเปลือก ได้ผลแสดงในตารางที่ 24 ดังนี้

1) น้ำหนักฝักสดของข้าวโพดหวานรวมเปลือก

จากการเก็บข้อมูลผลผลิตจากน้ำหนักฝักสดของข้าวโพดหวานก่อนปอกเปลือก พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง มีค่าระหว่าง 354 - 1,113 กิโลกรัมต่อไร่ โดยตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก ให้ผลของน้ำหนักฝักสดของข้าวโพดหวานรวมเปลือกมากที่สุด คือ 1,113 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 2 การใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินให้ผลผลิต 1,100 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ตำรับรองลงมา คือ ตำรับการทดลองที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่

ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ให้ผลผลิตมีค่า 999 และ 929 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ตำรับควบคุมมีน้ำหนักฝักสดของข้าวโพดหวานรวมเปลือกต่ำที่สุด คือ 354 กิโลกรัมต่อไร่

2) น้ำหนักฝักสดของข้าวโพดหวานปอกเปลือก

มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง มีค่าระหว่าง 256 - 888 กิโลกรัมต่อไร่ โดยตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก ให้ผลของน้ำหนักฝักสดของข้าวโพดหวานปอกเปลือกมากที่สุด คือ 888 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 2 การใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน 852 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับค่าน้ำหนักฝักสดของข้าวโพดหวานรวมเปลือก โดยตำรับควบคุมมีน้ำหนักฝักสดของข้าวโพดหวานกปอกเปลือกต่ำสุด 256 กิโลกรัมต่อไร่

จากข้อมูลผลผลิตข้าวโพดหวานทั้งแบบรวมเปลือกและปอกเปลือก พบว่า การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งทั้ง 2 อัตรา คือ 300 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวโพดหวานไม่แตกต่างกัน แต่การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้ออัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก มีผลให้น้ำหนักฝักสดของข้าวโพดหวานรวมเปลือกและปอกเปลือกมากที่สุด โดยเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุม 759 กิโลกรัมต่อไร่ และ 632 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 68.19 และ 71.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งผลการทดลอง พบว่า ผลผลิตข้าวโพดหวานมีความสัมพันธ์กับผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน โดยตำรับการทดลองดังกล่าวมีค่าธาตุอาหารหลักและอินทรียวัตถุมากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ นอกจากนี้พบว่าการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักทั้ง 2 อัตรา ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับควบคุม แต่มีแนวโน้มของผลผลิตข้าวโพดหวานทั้งแบบรวมเปลือกและปอกเปลือกมากกว่าตำรับควบคุม ซึ่งการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวโพดหวานแบบรวมเปลือกและปอกเปลือก 506 และ 411 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ เพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุม ซึ่งให้ผลผลิต 354 และ 256 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ คิดเป็นเพิ่มขึ้น 42.93 และ 60.55 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวโพดหวานแบบรวมเปลือกและปอกเปลือก 430 และ 339 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ คิดเป็นเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุม 21.47 และ 32.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มเสถียรภาพเม็ดดินซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกถึงคุณภาพดิน ช่วยส่งเสริมให้สมบัติทางกายภาพของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (Karlen, 1990) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่กำหนดขนาดและความต่อเนื่องของช่องว่างในดิน เสถียรภาพเม็ดดินจึงมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่และเก็บกักน้ำ อากาศ รวมทั้งการหมุนเวียนธาตุอาหารของพืชภายในดิน (Heathman *et al*., 1995; Lipiec *et al*., 2006) จึงส่งผลต่อการผลิตพืชด้วย

อย่างไรก็ตามผลผลิตข้าวโพดในตำรับการทดลองที่ใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักทั้ง 2 อัตรา ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ไม่มีความแตต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน เนื่องมาจากโดยทั่วไปสภาพดินทรายมีความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารต่ำ เมื่อมีการใช้ปุ๋ยเคมีโดยไม่ได้ปรับปรุงบำรุงดิน ธาตุอาหารจึงเกิดการสูญเสียได้ง่าย ส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชที่จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช แต่เมื่อมีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับการจัดการดินคือการเพิ่มอินทรียวัตถุจากปุ๋ยคอกร่วมกับผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งจะช่วยในการเพิ่มเสถียรภาพเม็ดดิน จึงส่งผลต่อผลผลิตข้าวโพดที่ไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ดังนั้นการใช้แบคทีเรียร่วมกับปุ๋ยคอกจึงช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Yadav *et al*. (2018) ศึกษาการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

2 สายพันธุ์ ได้แก่ *P. aeruginosa* และ *B. coagulans* ในการปลูกกระเจี๊ยบ โดยเปรียบเทียบการใช้แบคทีเรียร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ กับการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่า การใช้แบคทีเรีย *P. aeruginosa* และ *B. coagulans* ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ความสูง พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งของใบ มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้แบคทีเรีย *P. aeruginosa* ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ความสูง พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งของใบ 21.16 เซนติเมตร 173.94 ตารางเซนติเมตร และ 0.69 กรัม ตามลำดับ สำหรับ *B. coagulans* ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ผลทำให้ความสูง พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งของใบ 21.96 เซนติเมตร 181.36 ตารางเซนติเมตร และ 0.71 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ ผลทำให้ความสูง พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งของใบ 19.66 เซนติเมตร 152.30 ตารางเซนติเมตร และ 0.61 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 24 ผลผลิตของข้าวโพดหวานในดินกรดสภาพแปลงทดลอง

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักฝักสดรวมเปลือก (กก./ไร่)	น้ำหนักฝักสดปอกเปลือก (กก./ไร่)
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)	354 d	256 d
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	1,100 a	852 a
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	872 ab	740 ab
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	506 cd	411 cd
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	640 bc	534 bc
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	999 ab	754 ab
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	430 cd	339 cd
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	1,113 a	888 a
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	929 ab	746 ab
F test	**	**
CV (%)	12.40	15.67

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

5.4.3 ความหวานของข้าวโพด

ผลวิเคราะห์ความหวานของข้าวโพดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าความหวานอยู่ระหว่าง 16.33 - 17.67 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ (ตารางที่ 25) แต่ตำรับการทดลองที่ 3 การใช้ปุ๋ยคอก มีผลทำให้มีค่าความหวานของข้าวโพดมากที่สุด 17.67 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ ผลจากการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก พบว่า มีแนวโน้มส่งผลให้ค่าความหวานมากกว่าตำรับที่ใช้ปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตาม ตำรับการทดลองที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าความหวานเท่ากับตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีค่า 17.00 เปอร์เซ็นต์บริกซ์

ตารางที่ 25 ค่าความหวานของข้าวโพดหวานในดินกรด

ตำรับการทดลอง	ความหวาน (% Brix)
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)	16.67
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	16.33
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	17.67
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	16.00
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	16.67
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	16.33
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	17.00
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	16.67
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	17.00
F test	ns
CV (%)	5.31

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

5.5 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

จากการประเมินต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการปลูกข้าวโพดหวาน โดยประเมินต้นทุนจากค่าแรงงาน และค่าวัสดุ ในตำรับการทดลองต่างๆ ซึ่งรายละเอียดดังตารางที่ 26 และตารางภาคผนวกที่ 10 พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้รายได้สุทธิสูงสุด คือ

5,976 บาทต่อไร่ และตำรับการทดลองที่ให้รายได้สุทธิต่ำสุด คือ ตำรับการทดลองที่ 1 ตำรับควบคุม ให้รายได้สุทธิ 836 บาทต่อไร่ สำหรับตำรับการทดลองที่ใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์นั้นพบว่า ตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก ให้รายได้สุทธิสูงสุด คือ 5,267 บาทต่อไร่ ซึ่งมากกว่าตำรับควบคุม 4,430 บาทต่อไร่ อย่างไรก็ตาม สำหรับการทดลองที่มีการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งทั้ง 2 อัตรา โดยตำรับการทดลองที่ใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ คือ ตำรับการทดลองที่ 4 5 และ 6 พบว่า ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ให้รายได้สุทธิสูงสุด คือ 3,654 บาทต่อไร่ ส่วนตำรับการทดลองที่ใช้อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ คือ ตำรับการทดลองที่ 6 8 และ 9 พบว่า ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก ให้รายได้สุทธิสูงสุด คือ 5,267 บาทต่อไร่

ตารางที่ 26 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการปลูกข้าวโพดหวานในดินกรด

ตำรับการทดลอง	ผลผลิต (กก./ไร่)	รายได้ (บาท/ไร่)	ต้นทุนรวม (บาท/ไร่)	รายได้สุทธิ (บาท/ไร่)
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)	354	3,186	2,350	836
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	1,100	9,900	3,924	5,976
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	872	7,848	4,750	3,098
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	506	4,554	2,750	1,804
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	640	5,760	4,750	1,010
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	999	8,991	5,337	3,654
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	430	3,870	2,750	1,120
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ แบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	1,113	10,017	4,750	5,267

ตารางที่ 26 (ต่อ)

ตำรับการทดลอง	ผลผลิต (กก./ไร่)	รายได้ (บาท/ไร่)	ต้นทุนรวม (บาท/ไร่)	รายได้สุทธิ (บาท/ไร่)
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ แบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	929	8,361	5,924	2,437

6. ผลของแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินเค็ม สภาพแปลงทดลอง

จากผลการทดลองการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์อัตราต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินเค็ม สภาพแปลงทดลองได้ผลการทดลอง ดังนี้

6.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน

6.1.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง พบว่า ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.00 อยู่ในระดับกรดจัดมาก ค่าการนำไฟฟ้า 7.05 เดซิซีเมนต่อเมตร อยู่ในระดับเค็มปานกลาง ปริมาณอินทรียวัตถุ 0.40 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในระดับต่ำมาก ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 7.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 20.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำมาก (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 27 ซึ่งผลวิเคราะห์ดินดังกล่าวนำมาประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ก่อนการทดลองสำหรับปลูกข้าวโพดหวาน พบว่า ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (ตารางภาคผนวกที่ 9) จึงต้องมีการปรับปรุงบำรุงดิน

6.1.2 สมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลอง

1) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จากผลวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.20 - 6.70 (ตารางที่ 27) ซึ่งจัดอยู่ในระดับกรดเล็กน้อยถึงกลาง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลองในทุกตำรับการทดลอง ซึ่งตำรับการทดลองที่ 7 การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นมากที่สุด มีค่า 6.70 ซึ่งแสดงว่าการใช้ปัจจัยการผลิตในการทดลองส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเป็นกรดเป็นด่างแต่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากสมบัติของอินทรียวัตถุจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ได้แก่ ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมัก ซึ่งจะมีประจุลบและมีความสามารถในการดูดซับประจุบวกได้สูง จึงมีผลทำให้มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดินได้ดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

2) ค่าการนำไฟฟ้า จากผลวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดินหลังการทดลอง พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ระหว่าง 6.70 - 7.26 เดซิซีเมนต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในระดับเค็มปานกลาง เช่นเดียวกันกับก่อนการทดลอง โดยตำรับการทดลองที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด คือ ควบคุม และตำรับการทดลองที่มีค่าต่ำสุด คือ ตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่

ขยายเชื้อ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน อย่างไรก็ตามการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าตำรับควบคุมเพียงเล็กน้อย อาจเนื่องจากเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ไม่ได้ส่งผลต่อการลดลงของค่าการนำไฟฟ้าในดินโดยตรง แต่จะเกี่ยวข้องกับกลไกการดูดใช้โซเดียมอิออนของพืช และกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตและทนทานในสภาพที่ปลูกในดินเค็มได้ (Ashraf *et al.,* 2004) เช่น การใช้แบคทีเรีย *P. aagglumerans* ทำให้เพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวสาลีในดินเค็ม (Amellal *et al*., 1998)

3) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุหลังการทดลอง ทุกตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีปริมาณระหว่าง 0.59 - 0.89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำ (ตารางที่ 27) โดยอินทรียวัตถุหลังการทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลองเล็กน้อย สำหรับตำรับการทดลองที่มีปริมาณอินทรียวัตถุมากที่สุด คือ ตำรับการทดลองที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้ออัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 3 - 8 ซึ่งเป็นตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยคอก ซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่ง จึงเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน แต่อย่างไรก็ตามตำรับควบคุม และตำรับการทดลองที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่าตำรับการทดลองที่มีการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ และปุ๋ยคอก โดยมีปริมาณ 0.66 และ 0.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน จากผลวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีปริมาณระหว่าง 9.33 - 30.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในระดับต่ำถึงสูง และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง (ตารางที่ 27) โดยตำรับการทดลองที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงสุด อาจเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยเคมีเป็นการเพิ่มธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ให้กับพืชโดยตรง แต่อย่างไรก็ตาม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 3 ปุ๋ยคอก ตำรับการทดลองที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน ตำรับการทดลองที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน โดยมีปริมาณ 23.87 24.63 19.00 และ 20.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองเป็นลักษณะคล้ายกับการทดลองในดินกรด อาจเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อร่วมกับ ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมี (ตารางภาคผนวกที่ 8)

5) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีปริมาณระหว่าง 22.20 - 81.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 27) และจัดอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ซึ่งเพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ปัจจัยต่างๆ ในการทดลอง โดยตำรับการทดลองที่ 2 การใช้ปุ๋ยเคมี มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากที่สุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 6 8 และ 9 ซึ่งเป็นตำรับการทดลองที่มีการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรีย ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน โดยโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากทั้งแหล่งโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นมาจากทั้งปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมักที่ใช้ในการขยายเชื้อ และปุ๋ยคอก (ตารางภาคผนวกที่ 8)

ตารางที่ 27 สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการปลูกข้าวโพดในดินเค็มสภาพแปลงทดลอง

ตำรับการทดลอง	pH (1:1)	EC (ds/m)	OM (%)	P (มก./กก.)	K (มก./กก.)
ก่อนการทดลอง	5.00	7.05	0.40	7.90	20.90
หลังการทดลอง	6.53	7.26	0.66 b	9.33 c	30.15 bc
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)					
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	6.37	6.75	0.59 b	30.10 a	81.40 a
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	6.67	6.85	0.74 ab	23.87 ab	22.20 c
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่	6.30	6.72	0.72 ab	12.17 bc	22.20 c
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	6.60	6.97	0.89 a	24.63 a	41.53 b
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	6.27	6.80	0.78 ab	19.00 abc	68.35 a
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่	6.70	6.80	0.79 ab	10.57 c	37.25 bc
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	6.20	7.00	0.70 ab	12.17 bc	70.30 a
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	6.58	6.70	0.67 b	20.36 abc	79.98 a
F - test	ns	ns	**	**	**
CV (%)	4.46	2.03	9.63	23.20	18.27

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

6.2 ผลการประเมินเสถียรภาพเม็ดดินในดินเค็มสภาพแปลงทดลอง

ผลการประเมินเสถียรภาพเม็ดดินได้ค่าเม็ดดินที่เสถียร พบว่า ดินก่อนการทดลองมีค่า 9.12 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าเม็ดดินที่เสถียรหลังการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลอง (ตารางที่ 28) โดยตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก มีค่ามากที่สุด และใกล้เคียงกับตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน โดยมีค่าเม็ดดินที่เสถียร 12.80 และ 12.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งในอัตราที่สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าเม็ดดินที่เสถียรเพิ่มขึ้น โดยพบว่า ตำรับการทดลองที่ 7 8 และ 9 ซึ่งเป็นตำรับการทดลองที่ใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเม็ดดินที่เสถียร 12.07 12.80 และ 12.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าตำรับการทดลองที่ 4 5 และ 6 การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่าเม็ดดินที่เสถียร 11.25 10.20 และ 12.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามตำรับการทดลองที่ไม่มีการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ ได้แก่ ตำรับการทดลองที่ 1 ควบคุม ตำรับการทดลองที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน และ ตำรับการทดลองที่ 3 ปุ๋ยคอก มีแนวโน้มของค่าเสถียรภาพของเม็ดดินต่ำกว่าตำรับการทดลองที่ใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ โดยมีค่า 10.32 10.94 และ 10.68 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการทดลองนี้พบว่าการใช้เอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินเค็มมีผลทำให้ค่าเม็ดดินที่เสถียรเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการทดลองเป็นการปลูกข้าวโพดหวานใช้ระยะเวลาไม่นานเพียง 75 วัน ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Zulpa de Caire *et al.* (1997) การใช้ไซยาโนแบคทีเรีย *N. muscorum* แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ในดินเค็ม พบว่า ที่ระยะเวลาการใช้เชื้อ 180 วัน ค่าเม็ดดินที่เสถียรขนาดมากกว่า 250 ไมโครเมตร เพิ่มขึ้น 12 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ใช้แบคทีเรีย นอกจากนี้ การใช้ *P. putida*. GAPP45 ในสภาพความเค็มช่วยเพิ่มค่าเม็ดดินที่เสถียรจาก 42 เป็น 47 เปอร์เซ็นต์ หรือ เพิ่มขึ้น 11.9 เปอร์เซ็นต์ (Sandhya and Ali, 2015) และการใช้แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ *Klebsiella* sp. LW-13 และ *B. anthina* MYSP113 ในดินทรายปลูกยางพารา ช่วยเพิ่มค่าดัชนีเสถียรภาพเม็ดดินจาก 30.67 เปอร์เซ็นต์ เป็น 45.01 - 48.20 เปอร์เซ็นต์ (Harahap *et al*., 2018) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Martens and Frankenberger (1993) การใช้วัสดุปรับปรุงดินร่วมกับเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มีผลทำให้เพิ่มการเกิดเม็ดดิน โดยเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่จุลินทรีย์ปลดปล่อยออกมาสู่ดินในลักษณะแคปซูลและสารที่เป็นเมือกจะถูกดูดซับที่ผิวของแร่ดินเหนียวเนื่องจากกลไกของสะพานแคตไอออน (cation bridge) พันธะไฮโดรเจน แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) และการดูดซับของประจุลบ (Tisdall and Oades, 1982) รวมทั้งเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ยังช่วยทำให้เกิดการสร้างเป็นเม็ดดินขนาดเล็กและขนาดใหญ่จึงช่วยในดินที่ฟุ้งกระจายเกิดเป็นเม็ดดินเสถียรมากขึ้น (Roberson *et. al*., 1993)

ตารางที่ 28 การประเมินเสถียรภาพเม็ดดินในดินเค็มสภาพแปลงทดลอง

ตำรับการทดลอง	เม็ดดินที่เสถียร (%)
ก่อนการทดลอง	9.12
หลังการทดลอง	
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)	10.32
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	10.94
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	10.68
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่	11.25
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	10.20
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	12.13
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่	12.07
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	12.80
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	12.33
F - test	ns
CV (%)	15.46

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

6.3 การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวาน

จากผลการทดลองและเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวานในดินเค็ม นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้ผลการทดลองดังนี้

6.3.1 ความสูงต้นข้าวโพดหวาน

ความสูงต้นข้าวโพดหวาน อายุเก็บเกี่ยว พบว่า ความสูงต้นข้าวโพดทุกตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 29) ซึ่งตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีความสูงต้นข้าวโพดสูงที่สุด 127.80 เซนติเมตร เช่นเดียวกันกับการทดลองในดินกรด และตำรับการทดลองที่ 1 ควบคุม มีความสูงต่ำสุด 72.27 เซนติเมตร รวมทั้งตำรับการทดลองที่ใส่เชื้อแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จะมีความสูงของต้นข้าวโพดมากกว่าตำรับควบคุม นอกจากนี้

การใช้แบคทีเรียในอัตราเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสูงต้นข้าวโพดเพิ่มขึ้นด้วย ผลการทดลองดังกล่าวนี้อาจเป็นผลมาจากการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในสภาพดินเค็มจะช่วยเพิ่มค่าอัตราส่วนของน้ำหนักดินที่ยึดติดกับรากพืชต่อน้ำหนักรากพืชจาก 19.4 เป็น 32.8 (Alami *et. al*., 2000) ซึ่งจะมีผลทำให้พืชดูดน้ำและธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้น จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Miller and wood, 1996) Abd El-Ghany and Attia (2020) ศึกษาการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ *A. chroococcum* ในดินร่วนปนทราย ซึ่งเป็นดินเค็มมีค่าการนำไฟฟ้า 6.5 เดซิซีเมนต่อเมตร พบว่า มีผลทำให้การเจริญเติบโตของถั่วปากอ้า อายุ 75 วัน ได้แก่ ความสูง จำนวนใบ จำนวนกิ่ง น้ำหนักต้นสดและแห้ง เพิ่มขึ้น 26 26 27 21 และ 23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเค็มที่ไม่ได้ใส่เชื้อแบคทีเรีย นอกจากนี้การใช้ *P. anguilliseptica* ในที่ระดับความเค็ม 0 - 150 มิลลิโมลาร์ ยังส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของถั่วปากอ้า เพิ่มขึ้นทั้งความสูง และน้ำหนักแห้ง (Mohammed, 2018)

ตารางที่ 29 ความสูงของต้นข้าวโพดหวานที่อายุเก็บเกี่ยวในพื้นที่ดินเค็ม

ตำรับการทดลอง	ความสูง (ซม.)
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)	72.27 c
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	102.20 b
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	114.13 ab
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	109.27 b
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียรูปแบบผงในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	108.20 b
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	118.27 ab
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	119.07 ab
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	118.00 ab
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	127.80 a
F - test	**
CV (%)	9.02

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

6.3.2 ผลผลิตข้าวโพดหวาน

ผลการเก็บข้อมูลผลผลิตข้าวโพดหวาน จากน้ำหนักฝักสดของข้าวโพดหวานรวมเปลือก พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าระหว่าง 361 - 724 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 30) โดยตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก มีผลผลิตข้าวโพดหวานมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่า ให้ผลผลิต 724 และ 686 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่ตำรับควบคุมมีผลผลิตต่ำสุด นอกจากนี้พบว่าการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้ง 500 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งที่ใช้อย่างเดียว และร่วมกับการใช้ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีผลทำให้ผลผลิตข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งให้ผลผลิตข้าวโพดหวาน 548 กิโลกรัมต่อไร่ จากข้อมูลการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียต่อผลผลิตข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินเค็มปานกลาง พบว่าเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับความสูงของต้นข้าวโพด จึงแสดงให้เห็นว่าเมื่อพืชเจริญเติบโตได้ดีก็จะส่งผลต่อผลผลิตพืชด้วย อย่างไรก็ตามพืชที่ปลูกในดินเค็ม จะได้รับผลกระทบต่อการเจริญเติบโต เนื่องจากพืชขาดน้ำ ความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช และมีไอออนที่เป็นพิษสะสมในพืชมากเกินไป เช่น โซเดียม และคลอไรด์ (Luttge *et al*., 1984; Sharma, 1984) โดยพืชแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการทนเค็มได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับค่าแรงดันออสโมติก ความทนเค็มของพืชจะพิจารณาจากศักยภาพในการให้ผลผลิตลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ระดับความเค็มปานกลาง 4 - 8 เดซิซีเมนต่อเมตร จะส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดรวมทั้งข้าวโพด (สมศรี, 2539) จึงเห็นได้ว่าตำรับควบคุมจะให้ผลผลิตต่ำ แต่เมื่อมีการใช้แบคทีเรียมีแนวโน้มให้ผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มจาก 361 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 448 - 724 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็น 24.10 - 100.56 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่จับกับแคทไอออนรวมทั้งโซเดียมไอออน (Geddie and Sutherland, 1993) จะช่วยลดการดูดใช้โซเดียมไอออนต่อพืช แต่อย่างไรก็ตามพืชส่วนใหญ่จะดูดใช้โพแทสเซียมไอออนที่มากกว่าโซเดียมไอออน โดยผ่านสภาพคัดเลือกเข้าสู่เซลล์ (Greenway and Munns 1980; Jeschke 1984)

ตารางที่ 30 ผลผลิตของข้าวโพดหวานในดินเค็มสภาพแปลงทดลอง

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักฝักสดรวมเปลือก (กก./ไร่)
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)	361 b
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	548 a
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	429 b
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	448 b
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	545 a
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	622 a
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	466 ab
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	724 a
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	686 a
F - test	*
CV (%)	20.85

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

6.3.3 ความหวานของข้าวโพด

ผลวิเคราะห์ความหวานของข้าวโพดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าความหวานอยู่ระหว่าง 16.33 - 17.67 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ (ตารางที่ 31) โดยมีค่าระหว่าง 15.33 - 16.67 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ ตำรับการทดลองที่ 9 การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมักอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน มีผลทำให้มีค่าความหวานของข้าวโพดมากที่สุด รวมทั้งการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก และปุ๋ยคอกมีแนวโน้มส่งผลให้ค่าความหวานมากกว่าตำรับควบคุม และตำรับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี ลักษณะเดียวกันกับการทดลองในดินกรด

ตารางที่ 31 ค่าความหวานของข้าวโพดหวานในดินเค็มสภาพแปลงทดลอง

ตำรับการทดลอง	ความหวาน (% Brix)
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)	15.60
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	15.33
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	16.37
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	16.50
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	16.00
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	16.43
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	16.20
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	16.33
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	16.67
F - test	ns
CV (%)	3.21

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

6.4 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

จากการประเมินต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการปลูกข้าวโพดหวานในดินเค็มปานกลาง โดยประเมินต้นทุนจากค่าแรงงาน และค่าวัสดุ ในตำรับการทดลองต่างๆ ซึ่งรายละเอียดดังตารางที่ 29 และตารางภาคผนวกที่ 11 พบว่า ตำรับการทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก ให้รายได้สุทธิสูงสุด คือ 1,766 บาทต่อไร่ และตำรับการทดลองที่ให้รายได้สุทธิต่ำสุด คือ ตำรับการทดลองที่ 3 ปุ๋ยคอก เนื่องจากราคาต้นทุนของปุ๋ยคอกค่อนข้างสูง 2,000 บาทต่อตัน อย่างไรก็ตามในแต่ละพื้นที่จะมีราคาที่แตกต่างกัน สำหรับตำรับการทดลองที่ใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์อย่างเดียวนั้น พบว่า ตำรับการทดลองที่ใช้อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ จะให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงกว่า 300 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียร่วมกับปัจจัยอื่น พบว่า การใช้อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ จะทำให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์อย่างเดียว อาจเนื่องจากต้นทุนจากปุ๋ยคอก

และปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้อัตราเพิ่มขึ้นเป็น 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอกจะทำให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 32 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการปลูกข้าวโพดหวานในดินเค็ม

ตำรับการทดลอง	ผลผลิต (กก./ไร่)	รายได้ (บาท/ไร่)	ต้นทุนรวม (บาท/ไร่)	รายได้สุทธิ (บาท/ไร่)
ตำรับที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยและจุลินทรีย์)	361	3,249	2,350	899
ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน	548	4,932	3,924	1,008
ตำรับที่ 3 ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	429	3,861	4,750	-899
ตำรับที่ 4 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ แบบแห้ง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่	448	4,032	2,750	1,282
ตำรับที่ 5 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ แบบแห้ง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	545	4,905	4,750	155
ตำรับที่ 6 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ แบบแห้ง อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	622	5,598	5,337	261
ตำรับที่ 7 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ แบบแห้ง อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	466	4,194	2,750	1,440
ตำรับที่ 8 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ แบบแห้ง อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่	724	6,516	4,750	1,766
ตำรับที่ 9 ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อ แบบแห้ง อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ + ปุ๋ยคอก 1 ตันต่อไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดิน	686	6,174	5,924	250

สรุปผลการทดลอง

จากการวิจัยคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ เพื่อใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินกรด ดินเค็ม สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การคัดเลือกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์จากตัวอย่างดินที่ระดับความเป็นกรดเป็นด่างและความเค็มต่างๆ สามารถคัดเลือกแบคทีเรียที่มีลักษณะโคโลนีเยิ้ม มีเมือกมาก จำนวน 65 ไอโซเลต ซึ่งแยกจากตัวอย่างดิน 6 จังหวัด ได้แก่ ขอนแก่น นครราชสีมา นครนายก ปทุมธานี สมุทรสงคราม และเพชรบุรี และสามารถคัดเลือแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้ 3 ไอโซเลต ได้แก่ แบคทีเรีย รหัส NK 16/3 NK 16/4 และ NK 21/2 ซึ่งเชื้อรหัส NK 16/3 ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 6.5 ความเค็ม 0 มิลลิโมลาร์ ผลิตได้ 1.17 กรัมต่อลิตร เชื้อรหัส NK 16/4 ผลิตแอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0 ความเค็ม 150 มิลลิโมลาร์ สามารถผลิตได้ 1.88 กรัมต่อลิตร เชื้อรหัส NK 21/2 ผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 7.0 ความเค็ม 37.5 มิลลิโมลาร์ ผลิตได้ 1.78 กรัมต่อลิตร เมื่อนำมาจำแนกชนิดของแบคทีเรีย รหัส NK 16/3 และ NK 21/2 คือ *Bacillus megaterium* NK 16/4 คือ *B. cereus*

2. การทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อเม็ดดินที่เสถียรในสภาพห้องปฏิบัติการ การใช้เชื้อ *B.megaterium* รหัส NK16/3 และ NK 21/2 ในดินสามารถเพิ่มค่าเม็ดดินที่เสถียรจาก 35.59 เปอร์เซ็นต์ เป็น 51.81 และ 51.83 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 30 วัน ตามลำดับ

3. รูปแบบผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ โดยใช้วัสดุอินทรีย์และอนินทรีย์เป็นวัสดุรองรับจุลินทรีย์ ซึ่งชนิดของวัสดุรองรับที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ถ่านแกลบ และเพอร์ไลต์ สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ได้เป็นระยะเวลา 5 - 6 เดือน มีปริมาณเชื้อไม่ต่ำกว่า 7.00 log no. ต่อกรัม ตามมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน และผลิตภัณฑ์แบคทีเรียดังกล่าวสามารถนำมาขยายเพิ่มปริมาณเชื้อแบบแห้ง โดยใช้ส่วนผสมประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก 100 กิโลกรัม รำข้าวละเอียด 1 กิโลกรัม และผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ 100 กรัม ที่ความชื้น 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาการขยายเชื้อ 2 - 4 วัน สามารถเพิ่มปริมาณเชื้ออยู่ในช่วง 10.00 - 11.50 log no.ต่อกรัม สำหรับการขยายเชื้อแบบเหลวโดยใช้น้ำตาลซูโครสหรือกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ 100 กรัมต่อสารละลายน้ำตาล 50 ลิตร ใช้ระยะเวลาการขยายเชื้อ 3 วัน มีปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 11.31 - 12.47 log no. ต่อมิลลิลิตร แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียขยายเชื้อแบบแห้งมีผลทำให้ค่าเม็ดดินที่เสถียร น้ำหนักของต้นข้าวโพดสด และต้นข้าวโพดแห้งมากกว่าการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียขยายเชื้อแบบเหลวในสภาพโรงเรือนกระจก

4. การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งในดินกรดจัด และดินเค็มปานกลางต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินในสภาพแปลงทดลอง พบว่า การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยคอกในดินกรดจัดมีผลทำให้ปริมาณธาตุอาหารหลัก อินทรียวัตถุและค่าเม็ดดินที่เสถียรสูงขึ้น สำหรับเสถียรภาพเม็ดดินมีค่า 26.41 เปอร์เซ็นต์ และ 26.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์มีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดินอยู่ในช่วง 5.39 - 5.59 log no. ต่อกรัม สำหรับการทลองในดินเค็มปานกลาง การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ร่วมกับปุ๋ยคอก มีผลทำให้ธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้น รวมทั้งค่าเม็ดดินที่เสถียรเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุมมีค่า 10.32 เป็น 12.80 เปอร์เซ็นต์

5. การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งในดินกรดจัด และดินเค็มปานกลางต่อผลผลิตข้าวโพดหวานในสภาพแปลงทดลอง พบว่า การใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก มีผลทำให้น้ำหนักฝักสดของข้าวโพดหวานรวมเปลือกมากที่สุด 1,113 และ 724 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุม 759 และ 363 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็น 68.19 และ 100.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

6. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในปุ๋ยหมักที่ขยายเชื้อแบบแห้งในดินกรดจัด และดินเค็มปานกลาง พบว่าการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรีย อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยคอก มีผลให้รายได้สุทธิ 5,267 และ 1,766 บาทต่อไร่ ในดินกรดจัดจะให้ผลตอบแทนที่ใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินที่ให้รายได้สุทธิ 5,976 บาทต่อไร่ และเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมสามารถเพิ่มรายได้สุทธิจากตำรับควบคุม 4,430 บาทต่อไร่

ข้อเสนอแนะ

1. การนำแบคทีเรียไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ต่างๆ ควรมีการพิจารณาถึงปัจจัยและสภาพแวดล้อมซึ่งมีผลต่อการเจริญและประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในดินด้วย เพื่อให้การใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในพื้นที่มากขึ้น

2. การวิจัยต่อยอดเพื่อให้ได้คำแนะนำในการใช้ประโยชน์อย่างครบถ้วน ควรมีการศึกษาผลต่อเนื่องของการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรีย และการติดตามแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในดิน

3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการใช้แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ใช้ประโยชน์ในพื้นที่ที่ดินมีความชื้นต่ำหรือสภาพแห้งแล้ง ซึ่งหลายพื้นที่ในประเทศไทยประสบปัญหาดังกล่าว จากสมบัติของแบคทีเรียดังกล่าวที่สามารถเจริญได้ในสภาะความเครียดต่างๆ เช่น สภาวะแล้ง อุณหภูมิไม่เหมาะสมได้ จึงควรมีการต่อยอดการนำจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้ไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่แห้งแล้ง ซึ่งน่าจะใช้เป็นแนวทางในการใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มผลผลิตพืชในสภาพดินที่แห้งแล้งได้

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ เพื่อประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงดิน การเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตพืชในพื้นที่ดินกรด และดินเค็ม

2. ได้เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ การเลี้ยงแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวเพื่อเตรียมกล้าเชื้อ ชนิดของวัสดุรองรับจุลินทรีย์ ระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ให้ได้ตามมาตรฐาน และคำแนะนำวิธีการขยายเชื้อ เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ได้อย่างง่าย สะดวก และมีประสิทธิภาพ

3. ได้คำแนะนำอัตราและวิธีการใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ เพื่อส่งเสริมและถ่ายทอดสู่เกษตรกร ในการใช้ประโยชน์ต่อการปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตพืชต่อไป

4. ได้องค์ความรู้เพื่อถ่ายทอดสู่กลุ่มเกษตรกร นำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มผลผลิตพืช และนักวิชาการที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปศึกษาต่อยอดในพื้นที่ที่รับผิดชอบเพื่อให้ได้คำแนะนำที่เฉพาะพื้นที่ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

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

___. 2556. **ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

___. 2551. **คู่มือการจัดการอินทรียวัตถุเพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพื่ออุดมสมบูรณ์ของดิน**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ

___. 2547. **เอกสารวิชาการข้าวโพดฝักสด**. หจก. ไอเดีย สแควร, กรุงเทพฯ.

กัลยณัฏฐ์ ตุลาสมบัติ, พิมลรัตน์ เปรี่ยมสุข และ จำรูญศรี พุ่มเทียน. 2559. การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ผลิตเอกโซโพลีแซคคาไรด์จากเกสรดอกไม้, น. 306 - 311. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 4**. มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, สมุทรปราการ.

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

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

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

ธิดารัตน์ วงศ์รัตน์. 2552. **ลักษณะสมบัติทางเคมีและกายภาพของเอกโซพอลิแซกคาไรด์จากแบคทีเรีย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรรณลดา ติตตะบุตร. 2548. **การพัฒนาการผลิตหัวเชื้อไรโซเบียมชนิดเหลว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พันศักดิ์ จิตสว่าง, วิลาวรรณ์ เชื้อบุญ และ ดุสิต อธินุวัฒน์. 2558. สารพอลิแซคคาไรด์ของ *Pseudomonas fluorescens* ส่งเสริมการเจริญเติบโตของยางชำถุงภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง. **Thai Journal of Science and Technology** 4: 193 - 204.

มงคล ต๊ะอุ่น, สมบูรณ์ ประภาพรรณพงษ์, เชาว์วัช หนูแดง และ ณัฏฏภูมิ สุดแก้ว. 2551. **คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด - ปั้นเม็ด**. สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ, กรุงเทพฯ.

มนตรี เรืองสิงห์, อนุสรณ์ วิเศษสิงห์ และ จินตนา เพชรมณีโชติ. 2550. **การเก็บรักษาจุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์ชีวภาพ**. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททั่วไปประจำปีงบประมาณ 2549. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ.

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

___, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ยังประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลดาวัลย์ ช่วยชาติ. 2553. **การคัดเลือกและการผลิตเอ็กโซพอลิแซ็คคาไรด์จากแบคทีเรียจากทะเล**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วีรวัฒน์ นิลรัตนคุณ. 2558. **การเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยการใช้ปุ๋ยอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ**. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ศิริจรรยา นาภะสินธุ์. 2552. **อิทธิพลของรูปแบบและความเข้มข้นของวัสดุหัวเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจากใบและต้นมันสำปะหลัง: การเปลี่ยนแปลงด้านชีวภาพและจุลินทรีย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศิริลักษณ์ นามวงษ์. 2553. ศักยภาพของแบคทีเรียทนเค็ม และแบคทีเรียชอบเค็มปานกลางทางเทคโนโลยีชีวภาพ. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา** 15: 122 - 132.

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

สมฤดี ชุณหโรจน์ฤทธิ์. 2551. **การคัดแยกแบคทีเรียที่ผลิตพอลิแซ็กคาไรด์และลักษณะสมบัติของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมศรี อรุณินท์. 2539. **ดินเค็มในประเทศไทย.** กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

สันติ ธีราภรณ์. 2545. **เอกสารวิชาการเรื่องดินและธาตุอาหารพืชกับข้าวโพดฝักสด.** กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. ข้าวโพดหวาน: **เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2554 - 2558.** แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/download/prcai/, 10 พฤษภาคม 2562.

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2547. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สุพรรณษา ขันธโสภา. 2550. **การศึกษาสมบัติสารปรับปรุงโครงสร้างของดินจากสาหร่าย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุมล ปวิตรานนท์, ศิริพรรณ วงศ์วานิช, เยาวภา พงษ์สุวรรณ และ สุรางค์ เดชศิริเลิศ. 2554. **เชื้อโรคและระดับความเสี่ยง**. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, กรุงเทพฯ.

Abd El - Ghany, M.F. and M. Attia. 2020. Effect of exopolysaccharide - producing Bacteria and melatonin on Faba bean production in saline and non - saline soil. **Agronomy** 10: 316 - 333.

Abrol, I.P., J.S.P Yadav and F.I. Massoud. 1988. **Salt - affected Soils and Their Management.** FAO Soil Bull. 39.

Agira, H., E. Urashima, M. Ito, N. Morizono, T. Kimura and S. Takahashi. 1992. Extracellular polysaccharide from encapsulated *Streptococcus salivarius* subsp. *Thermophilus* OR901 isolated from commercial yogurt. **J. Food Sci.** 57: 625 - 628.

Alami, Y., W. Achouak, C. Marol and T. Heulin. 2000. Rhizosphere soil aggregation and plant growth promotion of sunflowers by expolysaccharide producing *Rhizobium* sp. strain isolated from sunflower roots. **Appl. Environ. Microbiol.** 66: 3393 - 3398.

Albareda, M., D.N. Rodriguez. Navarro, M. Camacho and F.J. Temprana. 2008. Alternatives to peat as a carrier for rkizobia inoculants: solid and liquid formulations. **Soil Biol. Biochem.** 40: 2271 - 2279.

Amellal, N., G. Burtin, F. Bartoli and T. Heulin. 1998. Colonization of wheat roots by an exopolysaccharide - producing *Pantoea agglomerans* strain and Its effect on rhizosphere soil aggregation**. Appl. Environ. Microbiol.** 64: 3740 - 3747.

Amezketa, E. 1999. Soil aggregate stability: a review. **J. Sustainable Agric**. 14: 83 - 151.

Andhare, P., K. Chauhan, M. Dave and H. Pathak. 2014. Microbial exopolysaccharides: advances in applications and future prospects. **Microb. Biotechnol.** 3: 1 - 25.

Andre, L.A.M. , C.R. Soccol , V. Thomaz - Soccol and M. Nogueira Jr. 2009. Evaluation of *Baullua Sphaericus* bioinsecticide produce with soybean meal as culture medium for the control of *Culex (culex) quinfuafasciatus.* **Artica** 25: 563 - 569.

Angers, D.A. and M.R. Carter. 1996. Aggregation and organic matter storage in cool, humid agricultural soils, pp. 193 - 211. In M.R. Carter and B.A. Stewart, eds. **Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils.** CRC Press, Boca Raton.

Apse, M. P. and E. Blumwald. 2007. Na^+ transport in plants. **FEBS Lett**. 581: 2247 - 2254.

Arias, S., A. del Moral, M.R. Ferrer, R. Tallon and E. Quesadal. 2003. Mauran, an exopolysaccharide produced by the halophilic bacterium *Halomonas maura,* with a novel composition and interesting properties for biotechnology. **Extremophiles.** 7: 319 - 326.

Arunin, S. and P. Pongwichian. 2015. Salt - affected soils and management in Thailand. **Bull. Soc. Sea Water Sci., Jpn.** 69: 319 - 325.

Asai, T. 1968. **Acetic Acid Bacteria Classification and Biochemistry Activities**. Tokyo Press, Tokyo.

Ashraf, M., H. Shahida, B. Odile and M. Tariq. 2004. Inoculating wheat seedlings with exopolysaccharide producing bacteria restricts sodium uptake and stimulate plant growth under salt stress. **Biol. Fertil. Soils.** 40: 157 - 162.

___, S. Hasnain and F. Hussain. 2005. Exo - polysaccharides (exopolysaccharide) producing biofilm bacteria in improving physiochemical characteristics of the salt affected soils, pp. 1527 - 1536. In **International Conference Environmentally Sustainable Development.** Institute of Information Technology, Abbottabad, Pakistan.

Awasthi, A., P. Srivastava and P. Kumar Mishra. 2017. Application of EPS in agriculture: an important natural resource for crop improvement. **Agri Res Tech.** 8: 1 - 3.

Banik, R.M., A. Santhiagu and U. Padhyay. 2007. Optimization of nutrients for gellan gum production by *Sphingomonas paucimobilis* ATCC-31461 in molasses based medium using response surface methodology**. Bioresour. Technol.** 98: 792 - 797.

Bashan, Y., G. Holguin and L.E. de - Bashan. 2004. *Azospirrilum* - plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental advances. **Can. J. Microbiol.** 50: 521 - 577.

Batool, R. and S. Hasnain. 2005. Growth stimulatory effects of *Enterobacter* and *Serratia* located from biofilms on plant growth and soil aggregation. **Biotechnol.** 4: 347 - 353.

Behravan, J., B.S.F. Bazzaz and Z. Salimi. 2003. Optimization of dextran production by *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B - 512 using cheap and local sources of carbohydrate and nitrogen. **Biotechnol. Appl. Bichem**. 38: 267 - 269.

Bejar, V., I. Llamas, C. Calvo and E. Quesada. 1998. Characterization of exopolysaccharides produced by 19 halophilic strains of the species *Halomonas eurihalina*. **J. Biotechnol.** 61: 135 - 141.

BeMiller, J.N. and R.L. Whistler. 1996. Carbohydrate, pp. 157 - 223. In O. R. Fennema, ed. **Food Chemistry.** Marcel Dekker, New York.

Bensalim, S., J. Nowak and S.K. Asiedu. 1998. A plant growth promoting *rhizobacterium* and temperature effects on performance of 18 clones of potato**. Am. Potato Res.** 75: 145 - 152.

Berg, D.J.C., G.W. Robijn and A.C. Janssen. 1995. Production of a novel extracellular polysaccharide by *Lactobacillus sake* 0 - 1 and characterization of the polysaccharide. **Appl. Environ. Microbiol**. 61: 2840 - 2844.

Bhaskar, P.V. and N.B. Bhosle. 2005. Microbial extracellular polymeric substances in marine biogeochemical processes. **Curr. Sei India**. 25: 45 - 53.

Blumwald, E. 2000. Sodium transport and salt tolerance in plants. **Curr. Opin. Cell Biol.** 12: 431 - 434.

Bronick, C.J. and R. Lal. 2005. Soil structure and management : a review. **Geoderma** 124: 3 - 22.

Bueno, S.M. and C.H. Garcia-Cruz. 2006. Optimization of polysaccharides production by bacteria isolated from soil. **Braz. J. of Microbiol.** 37: 296 - 301.

Burton J.C. 1979. New development in inoculating legumes, pp. 308 - 405. In N.S. Subba Rao, ed. **Recent Advances in Biological Nitrogen Fixation**. Oxford & IBH publishing Co., New Delhi, India.

Celik, G.Y., B. Aslim and Y. Beyatli. 2008. Characterization and production of the exopolysaccharide (EPS) from *Pseudomonas aeruginosa* G1 and *Pseudomonas putida* G12 strains. **Carbohydr. Polym.** 73: 178 - 182.

Chang, M.H. and Q.A. Sipio. 2002. Reclamation of saline - sodic soils by rice husk**. J. Drain. Water Manage**. 5: 29 - 33.

Chen, J. and J.Y. Dai. 1994. Correlation among photosynthesis, lipid peroxidation and ultrastructural changes of mesophyll cells in corn leaves under water stress. **Maize Science (in Chinese)** 2: 36 - 40.

Chen, J.H. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility, pp. 89 - 99. In Z.S. Chen and T. Vearasilp, eds. **International workshop on Sustained Management of the Soil - Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer use**. Land development Department, Bangkok, Thailand.

Chenu, C., J. Guerif and A.M. Jaunet. 1994. Polymer bridging: a mechanism of clay and soil structure stabilization by polysaccharides, pp. 403 - 410. In **15th World Congress of Soil Science.** Acapulco, Mexico.

Chookietwattana, K. 2003. **Diversity of Halophilic Bacteria in Saline Soil at Nong Bo Reservoi, Mahasarakham Province, Thailand**. Ph.D. Thesis, Suranaree University of Technology.

Clementi, F. 1997. Alginate production by *Azotobacter vinelandii*. **Crit. Rev. Biotechnol.** 17: 327 - 361.

Compere, A.L. and W.L. Griffith. 1978. Production of high viscosity glucans from hydrolyzed cellulosics developments in Industrial. **Microbiology** 19: 601 - 607.

Czarnes, S., P.D. Hallett, A.G. Bengough and I.M. Young. 2000. Root - and microbial - derived mucilages affect soil structure and water transport. **Europ. J. Soil Sci**. 51: 435 - 443.

D 'Souza, M.P., A. Amini, M.A. Dojka, I.J. Pickering, S.C. Dawson, N.R. Pace and N. Terry. 2001. Identification & characterization of bacteria in a selenium - contaminated hypersaline evaporation ponds. **Appl. Environ. Microbiol.** 67: 3785 - 3794.

Dawes, E.A., D.W. Ribbons and P.J. Large. 1966. The route of ethanol formation in *Zymomonas mobilis.* **Biochem. J.** 98: 795 - 805.

Deavin, L., T. R. Jarman, C. J. Lawson, R. C. Righelato and S. Slocombe. 1977. The production of alginic acid by *Azotobacter vinelandii* in batch and continuous culture, pp. 14 - 26 In P.A. Sandford and A.Laskin, eds. In **Extracellular Microbial Polysaccharidrs**. American Chemical Society, Washington.

Deka, P., G. Goswami, P. Das, T. Gautom, N. Chowdhury, R.C. Boro and M. Barooah. 2019. Bacterial exopolysaccharide promotes acid tolerance in *Bacillus amyloliquefaciens* and improves soil aggregation. **Mol. Biol. Rep**. 46: 1079 - 1091.

Dexter, A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. **Soil Tillage Res**. 11: 199 - 238.

Dhawan, C.I. and V.P. Mahajan. 1986. Declamination in saline alkaline soil with rice husk. **Fertility** 32: 27 - 32.

Dudman, W.F. 1977. The role of surface polysaccharides in natural environments, pp. 357 - 414. In I. W. Sutherland, ed. **Surface Carbohydrates of the Prokaryotic Cell.** Academic Press, New York.

Emtiazi, G., Z. Ethemadifar and M.H. Habibi. 2004. Production of extracellular polymer in *Azotobacter* and biosorption of metal by exopolymer. **Afr. J. of Biotechnol**. 3: 330 - 333.

Epstein, E. 1972. **Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives.** John Wiley and Sons, New York.

Fan, L., A.T. Soccol, A. Pandey and C.R. Soccol. 2007. Effect of nutritional and environmental conditions on the production of exo - polysaccharide of *Agaricus brasiliensis* by submerged fermentation and its antitumor activity**. LWT - Food Sci. Technol**. 40: 30 - 35.

Figreiredo, M.V., H.A. Burity, C.R. Martmez and C. Chanway. 2008. Alleviation of drought stress in the common bean *Phaseolus vulgaris* L. by coinoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici.* **Appl. soil Ecol.** 4: 182 - 188.

Flemming, H.C. and J. Wingender. 2010. The biofilm matrix. **Nat. Rev. Microbiol.** 8: 623 - 633.

___, ___, R. Moritz, W. Borchard and C. Mayer. 1999. Physico - chemical properties of biofilm - a short review, pp. 1 - 12. In C.W. Keevill, A. Godfree, D. Holt and C. Dow, eds. **Biofilms in the Aquatic Environment**. the Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.

Freitas, C.C.G., J.G. Barbosa, C.F. Silva, Y.F. Rodrigues, M.F. Teixeira, L.F.P Oliverra and J. Kuklinsky. 2015. **Exopolysaccharides Production under Saline Stress by Bacteria Isolate from Atriplex Nummularia l.** Souce : Http:// Sociedade brasileira de Microbiologia : sbmicrobiologia.org.br/en/, 2 March 2017.

Fusconi, R. and M.J.L. Godinho. 2002. Screening for exopolysaccharide - producing bacteria from sub - tropical polluted groundwater. **Braz. J. of Bio**. 62: 363 - 369.

Geddie, J.L. and I.W. Sutherland. 1993. Uptake of metals by bacterial polysaccharides. **J. Appl. Bacteriol.** 74: 467 - 472.

Ghanem, M.E., R.M. Han, B. Classen, J. Quetin-Leclerq, G. Mahy, C.J. Ruan, P. Qin, F. Perez - Alfocea and S. Lutts. 2010. Mucilage and polysaccharides in the halophyte plant species *Kosteletzkya virginica*: localization and composition in relation to salt stress. **J. Plant Physiol.** 167: 382 - 392.

Goswami, G., P. Deka, P. Das, S.S. Bora, R. Samanta, R.C. Boro and M. Barooah. 2017 Diversity and functional properties of acid - tolerant bacteria isolated from tea plantation soil of Assam. **Biotech.** 7: 1 - 16.

Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. **Ann. Rev. Pl. Physiol**. 31: 149 - 19.

Grieve, I.C. 1979. Soil **Aggregate Stability Tests for the Geomorphologist. British Geomorphological Research Group technical bulletin no. 25**. 28 pp.

Harada, T. 1977. Production, properties and application of curdlan, pp. 265 - 283. In P.A. Sandford and A. Laskin, eds. **Extracellular Mcrobial Polysaccharide**. American Chemical Society, Washinton D.C.

Harahap, N., D.A. Santosa and N. Gofar. 2018. The potential of exopolysaccharide - producing bacteria from rhizosphere of rubber plants for improving soil aggregate. **J. of Degrad. Min. Land Manage.** 5: 1275 - 1281.

Hausenbuiller, R.L. 1985. **Soil Science Principles and Practice.** Brown Co Ltd., Dubuque. Iowa.

Haynes, R.J. 2000. Interactions between soil organic matter status, cropping history, method of quantification and sample pretreatment and their effects on measured aggregate stability. **Biol. Fert Soil.** 30: 270 - 275.

Heathman, G.C., L.R. Ahuja, D.J. Timlin and K.E. Johnsen. 1995. Surface aggregates and macropore effects on chemical transport in soil under rainfall. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 59: 990 - 997.

Hereher, F., A. Elfallal, M. Abou-Dobara and E. Toson. 2018. Cultural optimization of a new exopolysaccharide produce "*Micrococcus roseus*". **Beni-Suef Univ. Basic Appl. Sci**. 7: 632 – 639.

Hu, C., Y. Liu, B.S. Paulsen, D. Petersen and D. Klaveness. 2003. Extracellular carbohydrate polymers from five desert soil algae with different cohesion in the stabilization of fine sand grain. **Carbohydr. Polym.** 54: 33 - 42.

Humphrey, G.S. 1990. Monitoring for the evaluation of sustainability: adiscussion with reference to acid soils, pp. 149 - 166. In **the Establishment of Experiments for the Management of Acid Soils.** ZBSRAM Technical Note no.5 Thailand.

Ibekwe, A.M., J.A. Poss, S.R. Grattan, C.M. Grieve and D. Suarez. 2010. Bacterial diversity in cucumber (*Cucumis sativus*) rhizosphere in response to salinity, soil pH, and boron. **Soil Biol. Biochem.** 42: 567 - 575.

Jeschke, W.D. 1984. K^+ - Na^+ exchange at cellular membranes, intracellular compartmentation of cations, and salt tolerance, pp. 37 - 66. In R.C. Staples, ed. **Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement**. Wiley, Chichester.

Johannes, L., C.R. Matthias, T. Janice, A.M. Caroline, C.H. William and C. David. 2011. Biochar effects on soil biota A review. **Soil Biol. Biochem**. 43: 1812 - 1836.

Kang, K.S. G.T. Veeder and D.D. Richey. 1977. Zanflo - a novel bacterial heteropolysaccharide. **ACS Symposium Series 45**. 10 pp.

Karlen, D. 1990. Soil tilth: a review of past perceptions and future needs. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 54: 153 - 161.

Kasotia, A., A. Varma, N. Tuteja and D.K. Choudhary. 2016. Amelioration of soybean plant from saline induced condition by exopolysaccharide producing *Pseudomonas* - mediated expression of high affinity K^+ transporter (HKT1) gene. **Curr. Sci.** 111: 1961 - 1967.

Kay, B.D. 1998. Soil structure and organic carbon: a review, pp. 169 - 197. In R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett and B.A. Stewart, eds. **Soil Processes and the Carbon Cycle**. CRC press, Boca.

Khan, T., J.K. Park and J.H. Kwon. 2007. Functional biopolymers produced by biochemical technology considering applications in food engineering. **Korean J. Chem. Eng.** 24: 816 - 826.

Kimmel, S.A., R.F. Roberts and G.R. Ziegler. 1998. Optimization of exopolysaccharide production by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* RR grown in a semidefined medium. **Appl. Environ. Microbiol.** 64: 659 - 664.

Kodali, V.P., S. Das and R. Sen. 2009. An exopolysaccharide from a probiotic: biosynthesis dynamic, composition and emulsifying activity. **Food Res. Int**. 42: 695 - 699.

Kojima, I., T. Saito, M. lizuka, N. Minamiura. and S. Ono. 1993. Characteriazation of leven produced by *Serratia* sp. **J. Ferment. Bioeng**. 75: 9 - 12.

Kolbel - Boelke, J., B. Tienken and A. Nehrkorn. 1988. Microbial communities in the satured groundwater environment I: methods of isolation and characterization of heterotrophic bacteria. **Microb. Ecol.** 16: 17 - 29.

Konicek, J., J. Lasik and M. Wurst. 1977. Production and characteristics of the exocellular polysaccharide in mutant strains of *Xanthomonas fuscans.* **Folia Microbiol (Praha)** 22: 2 - 8.

Kumar, A.S., K. Mody and B. Jha. 2007. Bacterial exopolysaccharides: A perception. **J. Basic Microbiol**. 47: 103 - 117.

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

Leigh, J.A. and D.L. Coplin. 1992. Exopolysaccharides in plant - bacterial interactions, **Ann. Rev. Microbiol**. 46: 307 - 346.

Linton, J.D., S.G Ash and L. Huybrechts. 1991. Microbial polysaccharides, pp. 215 - 261. In D. Byrom, ed. **Biomaterials**. Macmillan publishers Limited, New York.

Lipiec, J., J. Kus, A. Nosalewicz and M. Turski. 2006. Tillage system effects on stability and sorptivity of soil aggregates. **Int. Agrophysics**. 20: 189 - 193.

Liu, Y, H. Tang, Z. Lin and P. Xu. 2015. Mechanisms of acid tolerance in bacteria and prospects in biotechnology and bioremediation. **Biotechnol. Adv.** 33: 1484 - 1492.

Llamas, I., H. Amjres, J.A. Mata, E. Quesada and V Bejar. 2012. The potential biotechnological applications of the exopolysaccharide produced by the halophilic bacterium *Halomonas almeriensis.* **Molecules.** 17: 7103 - 7120.

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

Lynch, J.M. and E. Bragg. 1985**. Microorganisms and Soil Aggregate Stability**. Springer, New York.

Malam, I.O., Y. Issa, L. Bissonnais, C. Defarg and J. Trichet. 2001. Role of a *cyanobacteria* cover on structural stability of sandy soil in the sahelian part of Western Niger. **Geoderm**a 101: 15 - 30.

Mandal B., S. Mandal, A.S. Csinos, N. Martinez and A.K. Culbreath. 2008. Biological and molecular analyses of the acibenzolar - S - methyl - induced systermic acquired resistance in flue - cured tobacco against Tomato spotted wilt virus. **Phytopathology** 98: 196 - 204.

Maqubela, M.P., P.N.S. MnkenI, O. Malamissa, M.T. Pardo and L.P. Dacqui. 2009. *Nostoc cyanobacterial* inoculation in South African agricultural soils enhances soil structure, fertility, and maize growth. **Plant Soil** 315: 79 - 92.

Martens, D.A. and W.T. Frankenberger. 1993. Soil saccharide extraction and detection. **Plant Soil.** 149: 145 - 147.

Martinez - Checa, F., V. Bejar, M.J. Martinez-Canovas, I. Llamas and E. Quesada. 2005. *Halomonas almeriensis* spp. nov., a moderately halophilic, exopolysaccharide - producing bacterium from Cabo de Gata, Almeria, south - east Spain. **Int. J. Syst. Evol. Microbiol.** 55: 2007 - 2011.

Masaoka, S., T. Ohe and N. Sakota, 1993. Production of cellulose from glucose by Acetobacter xylinum. **J. Ferment. Bioengineer**. 75: 18 - 22.

Massadeh, A.M., F.A. Al - Momani and H.I. Haddad. 2005. Removal of lead & cadmium by halophilic bacteria isolated from the Dead sea shore, Jordan. **Biol. Trace Elem. Res**. 108: 259 - 269.

Mata, J.A., V. Bejar, I. Llamas, S. Arias and P. Bressollier. 2006. EPS produced by the recently described halophilic bacteria *Halomonas ventosae* and *Halomonas anticariensis*. **Res Microbiol.** 157: 827 - 835.

McIntire, T.M., A. David and F. Brant. 1997. Imaging of individual biopolymers and supramolecular assemblies using noncontact atomic force microscopy. **Biopolymers** 42: 133 - 146.

McNeely, W. 1967. Biosynthetic polysaccharides, pp. 381 - 402. In H.J Peppler, ed. **Microbial Technology Reinhold.** Press Ltd, New York.

Mehmet, C. 2004. Temperature profiles of *Agaricus bisporus* in composting stages and effects of different composts formulas and casing materials on yield. **Afr. J. Biotechnol**. 3: 456 - 462.

Miller, K. J. and J. M. Wood. 1996. Osmoadoptation by rhizosphere bacteria. **Annu. Rev. Microbiol**. 50: 101 - 136.

Misaki, A., Y. Tsumuraya, M. Kakuta, H. Takemoto and T. Igarashi. 1979. D - Allose containing polysaccharide synthesized from methanol by *Pseudomonas* sp. **Carbohydr. Res**. 75: 8 - 10.

Mohammed, A. F. 2018. Effectiveness of exopolysaccharides and biofilm forming plant growth promoting rhizobacteria on salinity tolerance of faba bean (*Vicia faba* L.). **Afri. J. Microbiol. Res**. 12: 399 - 404.

Morris, E. and I.T. Norton. 1983. Polysaccharides aggregation in solutions and gels, pp. 132 - 167. In E. Wyn - jones, and J. gormally, eds. **Aggregation Processes in Solution**. Elsevier, Amsterdam.

Mu, M., S. Baharuddin, H. Fahruddin and B. Darwisah. 2015. Isolation and screening of exopolysaccharide producing bacterial (EPS) from potato rhizosphere for soil aggregation. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**. 4: 341 - 349.

Muniruzzaman, S. and S.I. Khan. 1992. Suitability of some local agro - industrial wastes as carrier materials for *Rhizobium* sp. infecting *Sesbania bispinosa*. **World J. Microtechnol. Biotechnol.** 8: 329 - 330.

Naseem, H. and A. Bano. 2014. Role of plant growth - promoting rhizobacteria and their exopolysaccharide in drought tolerance of maize. **J. Plant Interact.** 9: 689 - 701.

Nieto, J.J., R. Fernandez - Castillo, M.C. Marquez, A. Ventosa, E. Quesada, and F. Ruiz - Berraquero. 1989 . Survey of metal tolerance in moderately halophilic eubacteria. **Appl. Environ. Microbiol**. 55: 2385 - 2390.

Nisha R., A. Kaushik and C.P. Kaushik. 2007. Effect of indigenous *cyanobacterial* application on structural stability and productivity of an organically poor semi - arid soil. **Geoderma** 138: 49 - 56.

Oades, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma 56**: 182 - 186.

Ono, K., Y. Kawahara and S. Ueda, 1977. Effect of pH on the content of glycolipids in *Aureobasidium pullulans* S - 1. **Agric .Biol. Chem.** 41: 2313 - 2317.

Pananiraj, A. and V. Jayaraman. 2011. Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas Camprestris*. **J. Food Eng**. 106: 1 - 12.

Ponnamperuma, F. N. and A. K. Banyopadhya. 1980. Soil Salinity as a constraint on food production in the humid tropics, pp. 203 - 216. In: L. Baños, ed. **Priorities for Alleviating Soil - Related Constraints to Food Production in the Tropics**. IRRI, Philippines.

Prado, B., A. del Moral, E. Quesada, R. Rios and M. Monteoliva-Sanchez. 1991. Numerical taxonomy of moderately halophilic Gram negative rods isolated from the Solar of Atacama, Chile. **Syst. Appl. Microbiol.** 14: 275 - 281.

Prasad, B.R., K. Sudharsan, C.H. Reshma, G. Sekaran and A.B. Mandal. 2013. Characterization of exopolysaccharide from *Bacillus amyloliquefaciens* BPRGS for its bioflocculant activity. **Int. J. Sc. Eng. Res**. 4: 1697 - 1704.

Qader, S.A. U., L. Lqbal, A. Aman, E. Shireen and A. Azhar. 2005. Production of dextran by newly isolated strains *of Leuconostoc mesenteroides* PCSIR - 4 and PCSIR - 9. **Turk. J. Biochem.** 31: 21 - 26.

Quesada, E., V. Bejar and C. Calvo. 1993. Exopolysaccharide production by *Volcaniella eurihalina*. **Experientia**. 49: 1037 - 1041.

Qurashi, A.W. and A.N. Sabri. 2012. Bacterial exopolysaccaride and biofilm formation stimulate chickpea growth and soil aggregation under salt stress. **Braz. J. Microbiol.** 42: 1183 - 1191.

Raza, F. A. and M. Faisal. 2013. Growth promotion of maize by desiccation tolerant Micrococcus luteus-chp37 isolated from Cholistan desert, Pakistan. **AJCS.** 7: 1693 - 1698.

Ribbons, D.W. and W.C. Evans. 1962. Oxidative metabolism of protocatechuic acid by certain soil pseudomonads: a new ring - fission mechanism. **Biochem. J**. 83: 482 - 92.

Roberson, E.B. and M. K. Firestone. 1992. Relationship between desiccation and exopolysaccharide production in a soil *Pseudomonas* sp. **Appl. Environ. Microbiol**. 58: 1284 - 1291.

___, C. Chenu and M.K. Firestone. 1993. Microstructural changes in bacterial exopolysaccharides during desiccation. **Soil Biol. Biochem.** 25: 1299 - 1301.

Roseiro, J.C. 1992. Medium development for xanthan production. **Process Biochem**. 27: 167 - 175.

Ruas - Madiedo, P. and C. G. de los Reyes-Gavilan. 2005. Methods for the screening, isolation and characterization of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. **J. Dairy Sci.** 88: 843 - 856.

Sandhya, V. and S.K. Z Ali. 2014. Exopolysaccharide production by drought tolerant *Bacillus* spp. and effect on soil aggreation under drought stress. **J. Microbiol. Biotech. Food Sci**. 4: 51 - 57.

___ and S.K.Z. Ali. 2015. The Production of exopolysaccharide by *Pseudomonas putida* GAPP45 under various abiotic stress conditions and its role in soil aggregation. **Microbiology**. 84: 512 - 519**.**

Santi, L.P., A. Dariah and D.H. dan Goenadi. 2008. The increase in mineral soil aggregate stability by exopolysaccharide-producing bacteria (In Bahasa Indonesia). **Menara Perkebunan**. 76: 93 - 103.

Schiano Moriello, V., L. Lama, A. Poli, C. Gugliandolo, T.L. Maugeri, A. Gambacorta and B. Niclaus. 2003. Production of exopolysaccharides from a thermophilic microorganism isolated from a marine hot spring in flegrean aras. **J. Ind. Microbiol. Biotechnol.** 30: 95 - 101.

Seo, H.P., C.W. Son, C.H. Chung, D.I. Jung, S.K. Kim and R. A. Gross. 2004. Production of high molecular weight pullulan by *Aureobasidium pullulans* HP2001 with soybean pomace as a nitrogen source. **Bioresour. Technol**. 95: 293 - 299.

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

Shu, C.H. and S.T. Yang. 1990. Effects of temperature on cell growth and xanthan production in batch cultures of *Xanthomonas campestris*. **Biotechnol. Bioeng**. 35: 454 - 468.

Singh, D. 2013. **Exopolysaccharide Producing Rhizobacteria and their Role in Moisture Stress Alleviation**. M.S. Thesis, Indian Agricultural Research Institute.

Sivapriya, S.L. and P.R. Priya. 2017. Selection of hyper exopolysaccharide producing and cyst forming *Azotobacter* isolates for better survival under stress conditions. **Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci**. 6: 2310 - 2320.

Souw, P. and A.L. Demain. 1979. Nutritional studies on xanthan production by *Xanthomonas campestris* NRRL B1459. **Appl. Environ. Microbiol**. 37: 1186 - 1192.

Stauffer, K. R. and J. G. Leeder. 1978. Extracellular microbial polysaccharide production by fermentation on whey or hydrolyzed whey. **J. Food Sci**. 43: 756 - 758.

Sunil, T.P., A.B. Amarsinh, B.G.A. Trishala and R.N. Tejswini. 2013. Isolation, screening and optimization of exopolysaccharide producing bacterium from saline soil**. J. Microbiol. Biotechnol. Res.** 3: 24 - 31.

Sutherland, I.W. 1977. Bacterial exopolysaccharides-their nature and production, pp. 27 - 96. In I.W. Sutherland, ed. **Surface Carbohydrates of the Prokaryotic Cell**. Academic Press, New York.

Tikhonovich, I.A. and N.A. Provorvo. 2011. Microbiology is the basis of sustainable agriculture: an opinion. **Ann. Appl. Biol**. 159: 155 - 168.

Tisdall, J.M. and J.M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Eur. J. Soil Sci**. 33: 141 - 163.

Unger, P.W. 1997. Aggregate and organic carbon concentration interrelationships of a Torrertic Paleustoll. **Soil Till. Res**. 42: 95 - 113.

___ and O.R. Jones. 1994. Infiltration of simulated rainfall: Dry aggregate size effects. **J. Agro. Crop Sci**. 173: 100 - 105.

Upadhyay, S.K., J.S. Singh and D.P. Singh. 2011. Exopolysaccharide - producing plant growth - promoting rhizobacteria under salinity condition. **Pedosphere** 21: 214 - 222.

Vanhooren, P.T. and E.J. Vandamme. 1998. Biosynthesis, physiological role, use and fermentation process characteristic of bacteria exopolysaccharide**. Rec. Res. Develo. Fement. Bioeng.** 1: 253 - 299.

Vermeer, J. and M.E. McCully. 1982. The rhizosphere in zea: new insight into its structure and development. **Planta**. 156: 45 - 61.

Yadav S.N.,, A.K. Singh, J.K. Peter, H. Masih , J.C. Benjamin, D.K. Singh, S. Chaudhary, P.W. Ramteke and S.K. Ojha. 2018. Study of exopolysaccharide containing PGPRs on growth of okra plant under water stress conditions. **Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci**. 7: 3337 - 3374.

Yang, Y., Q. peng, Y. Han, H. Xiao and Z. Zhou. 2015. Isolation and characterization of dextran produced by *Leuconostoc citreum* NM105 from manchurian sauerkraut. **Carbohydr. Polym.** 133: 365 - 372.

Ying, C., S. Liping, Z. Yong, W. Lei and A. Liguo. 2006. The production - influencing factors of extracellular polysaccharide (EPS) from a strain of lactic acid bacteria and EPS extraction. **Front. Biol. (Beijing).** 3: 236 - 240.

Zulpa de Caire, G., M. Storni de Cano, M.C. Zaccaro de Mule, R.M. Palma and K. Colombo. 1997. Exopolysaccharide of *nostoc muscorum* (*Cyanobacteria*) in the aggregation of soil particles. **J. Appl. Phycol.** 9: 249 - 253.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การคัดแยกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ตามวิธีของ Fusconi and Godinho (2002)

1) การเก็บตัวอย่างดินเพื่อแยกเชื้อจุลินทรีย์

เก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบรากพืชชนิดต่างๆ ในพื้นที่ดินเค็ม ดินกรด และพื้นที่ที่คราบเกลือที่ระดับความลึกของดิน 0 - 20 เซนติเมตร แล้วนำมาเก็บในตู้เย็นเพื่อใช้ในการแยกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อไป

2) การแยกแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

2.1) นำตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ลงในอาหารเหลว P medium ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่บรรจุในฟลาสก์ อาหารเลี้ยงเชื้อประกอบด้วย เปปโตน 1 กรัม กลูโคส 0.1 กรัม K_2HPO_4 0.076 กรัม $FeSO_47H_2O$ 0.02 กรัม และน้ำกลั่น 1 ลิตร (Kolbel-Boelke *et al*., 1988)

2.2) นำไปเขย่าในเครื่องเขย่า (incubator shaker) โดยใช้ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นนำสารละลายดินมาเจือจางตามลำดับส่วน แล้วจึงนำไปเกลี่ยบนอาหารแข็ง P medium (spread plate) แล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 2 – 3 วัน จะปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ

2.3) คัดเลือกโคโลนีของแบคทีเรียที่มีการสร้างเมือกเหนียวบนอาหารแข็ง หรือยืดเป็นสายเมื่อใช้ลูป (loop) แตะที่ผิวของโคโลนีแล้วดึงขึ้น (Ruas-Madiedo and de los Reyes-Gavilan, 2005) แยกให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ (single colony) โดยการขีดเชื้อหลายๆ ครั้ง (restreak) บนผิวหน้าอาหาร P medium และเก็บเชื้อไว้บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเดิมเพื่อใช้เป็นต้นตอเชื้อ (stock culture) โดยเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นเพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

ภาคผนวก ข
การคัดเลือกแบคทีเรียผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

1) การคัดเลือกขั้นแรก คัดเลือกแบคทีเรียที่มีลักษณะการสร้างเมือกเหนียว นำแบคทีเรียที่แยกได้มาขีด (streak) บนอาหารเลี้ยงเชื้อ P medium ในจานเพาะเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 - 7 วัน คัดเลือกแบคทีเรียที่มีลักษณะเยิ้ม มีเมือกมากเพื่อใช้ในการทดสอบกิจกรรมต่อไป

2) การคัดเลือกขั้นที่สอง คัดเลือกแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นเมือกมากมาจุด (point inoculation) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ ได้แก่ 0 มิลลิโมลาร์ (mM) หรือ 0 เดซิซีเมนต่อเมตร (dS m^{-1}) 37.5 มิลลิโมลาร์ หรือ 4 เดซิซีเมนต่อเมตร 75.0 มิลลิโมลาร์ หรือ 8 เดซิซีเมนต่อเมตร และ 150 มิลลิโมลาร์ หรือ 16 เดซิซีเมนต่อเมตร นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง 7 วัน แล้ววัดขนาดโคโลนี คัดเลือกแบคทีเรียที่มีขนาดโคโลนีกว้าง ที่สามารถเจริญได้ดีเพื่อนำไปทดสอบกิจกรรมต่อไป

3) การคัดเลือกขั้นที่สาม ทดสอบกิจกรรมการผลิตสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ โดยนำแบคทีเรียที่ได้จากการคัดเลือกขั้นที่สองมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 4 ระดับ ได้แก่ 5.0 5.5 6.5 และ 7.0 ความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ เช่นเดียวกันกับวิธีการการคัดเลือกขั้นที่สองเพื่อทดสอบกิจกรรมการผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ ตามขั้นตอนดังนี้

3.1) การเตรียมกล้าเชื้อ (inoculum) นำแบคทีเรียมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว ที่มีน้ำตาลซูโครส 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งคาร์บอน (Emtiazi *et al*., 2004 ; Santi *et al*., 2008) จำนวน

50 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร โดยเลี้ยงในเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1 วัน ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที นำไปเป็นกล้าเชื้อในการทดสอบต่อไป

3.2) นำกล้าเชื้อปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงในอาหารเหลว 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าในเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 วัน

3.3) นำไปเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.4) แยกตะกอนเซลล์ออกจากส่วนใส และล้างตะกอนเซลล์ โดยนำตะกอนที่ได้ไปใส่น้ำที่ปราศจากอิออน (DI) 5 มิลลิลิตร นำไปเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แยกตะกอนเซลล์ออกจากน้ำ เพื่อไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักเซลล์จะคงที่ แล้วนำไปชั่งบนเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักแห้งของเซลล์แบคทีเรีย

3.5) ส่วนใสที่แยกออกจากตะกอนเซลล์ในข้อ 3.4) นำมาผสมกับเอทานอลที่แช่เย็น อัตราส่วน 1 : 2 ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน ในตู้เย็น จะเกิดตะกอนของสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ขึ้น

3.6) นำไปเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนที่ความเร็วรอบ 9,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำตะกอนไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักแห้ง บันทึกน้ำหนักตะกอนของสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

3.7) คัดเลือกเชื้อที่สามารถผลิตเอ็กโซโพลิแซ็กคาร์ไรด์ได้สูง โดยพิจารณาจากปริมาณเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตได้ และค่าสัมประสิทธิ์การสร้างผลผลิตจากมวลเซลล์ (น้ำหนักของสารเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ต่อน้ำหนักเซลล์)

ภาคผนวก ค

การจำแนกชนิดของแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

นำเชื้อที่คัดเลือกได้ไปจำแนกเชื้อโดยเทคนิคทางชีวโมเลกุล ดังนี้

3.1 การสกัดดีเอนเอของแบคทีเรีย โดยใช้ชุดสกัด Wizard Genomic DNA Purification มีขั้นตอนดังนี้

1) นำแบคทีเรียที่คัดเลือกมาเลี้ยงในอาหารเหลวเพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อ แล้วนำแบคทีเรียปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่หลอดไมโครเซนตริฟิวก์ (microcentrifuge tube)

2) นำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที เทส่วนใสทิ้ง

3) เติม Nuclei lysis solution 600 ไมโครลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

4) เติม RNase solution 3 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 - 60 นาที เติม Protein precipitation solution 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วบ่มบนน้ำแข็งเป็นเวลา 5 นาที นำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที

5) ดูดส่วนใส ใส่หลอดใหม่แล้วเติม isopropanol 600 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที ดูดส่วนใสทิ้งล้างตะกอนด้วย Ethanol 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 600 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที แล้วเทน้ำใสทิ้ง ปล่อยให้ตะกอนแห้งแล้วละลายตะกอนดีเอ็นเอด้วย Rehydration solution 100 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.2 การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอในส่วน 16S rRNA ด้วยเทคนิค Polymerase chain reaction (PCR)

นำดีเอ็นเอของแบคทีเรียที่สกัดได้ มาทำปฏิกิริยา PCR ในปริมาตรรวม 50 ไมโครลิตร ประกอบด้วยดีเอ็นเอ 1 ไมโครลิตร dNTPs 0.25 มิลลิโมลาร์ (dATP, dCTP, dTTP, dGTP) 0.40 ไมโครลิตร, 1X buffer 1.5 มิลลิโมลาร์ $MgCl_2$, 0.5 ไมโครโมลาร์ universal primer 16S rDNA (16S 9f: GAG TTT GAT CCT GGC TCA G และ16S 1512 r: ACG GCT ACC TTG TTA CGA CTT) และ 2.5 unit Taq DNA Polymerase ปฏิกิริยาสังเคราะห์ดีเอ็นเอเริ่มต้น หรือ initial denaturation ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที denaturing ที่อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วินาที annealing ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และ extension ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จำนวน 30 รอบ และตามด้วยอุณหภูมิที่ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้เครื่อง DNA thermal cycle ผลผลิตพีซีอาร์ที่ได้ 5 ไมโครลิตร นำมาตรวจสอบด้วยเทคนิค gel electrophoresis บนอะกาโรสเจล (agarose gel) 1.0 เปอร์เซ็นต์ ใน 1X TAE buffer และผลผลิตพีซีอาร์อีกส่วนนำมาวิเคราะห์ลำดับเบส

ภาคผนวก ง
คำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดินในการขยายเชื้อผลิตภัณฑ์สารเร่งซุปเปอร์ พด.3
(กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

1) ผสมสารเร่งซุปเปอร์ พด.3 และรำข้าว ในน้ำ 5 ลิตร คนให้เข้ากันนาน 5 นาที

2) รดสารละลายซุปเปอร์ พด.3 ลงในกองปุ๋ยหมักและคลุกเคล้าให้เข้ากัน

3) ตั้งกองปุ๋ยที่คลุกผสมเข้ากันดีแล้ว เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ย เพื่อรักษาความชื้นให้ได้ 60 - 70 เปอร์เซ็นต์

4) กองปุ๋ยหมักให้อยู่ในที่ร่มเป็นเวลา 7 วัน

ตารางภาคผนวกที่ 1 ขนาดโคโลนีของแบคทีเรียที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นของ NaCl 4 ระดับ

ลำดับที่	รหัสเชื้อ	ขนาดโคโลนี (ซม.)			
		NaCl 0 mM	NaCl 37.5 mM	NaCl 75.0 mM	NaCl 150 mM
1	NK 8/4	1.8	1.50	1.65	1.50
2	NK 16/3	1.90	1.95	1.90	1.70
3	NK 16/4	1.60	1.55	1.50	1.50
4	NK 21/2	1.25	1.50	1.60	0.90
5	NK 21/5	130	1.30	1.20	1.05
6	KK 20/1	1.00	1.30	1.40	1.30
7	KK 20/3	1.00	1.20	1.20	0.00
8	KK 23/1	1.00	0.90	0.90	0.80
9	KK 23/2	0.75	0.00	0.00	0.00
10	KK 23/3	0.60	0.60	0.80	0.00
11	KK 24/1	0.80	0.90	1.05	1.00
12	VG 2/1	1.20	1.10	1.00	0.65
13	VG 2/3	1.00	0.00	1.00	0.00
14	VG 2/4	0.90	0.70	0.70	0.60
15	VG 4/1	1.00	0.90	0.90	0.00
16	VG 4/2	1.10	1.20	0.55	0.55
17	VG 4/3	0.00	0.00	0.85	0.00
18	VG 5/1	0.60	0.00	0.80	0.00
19	VG 5/2	0.00	0.00	0.70	0.00
20	VG 6/1	0.50	0.45	0.60	0.50
21	VG 7/1	1.30	1.40	1.25	1.10
22	VG 7/2	0.00	0.00	0.80	0.00
23	VG 8/1	0.00	0.00	0.70	0.00
24	VG 8/2	0.00	0.00	0.70	0.00
25	VG 9/1	0.00	0.00	0.60	0.00
26	VG 9/2	1.00	0.85	0.90	0.00
27	VG 10/2	1.40	1.40	1.10	0.85
28	VG 11/2	1.00	1.10	1.15	0.80
29	VG 14/2	0.00	0.00	0.30	0.00
30	VG 14/3	0.50	0.00	0.50	0.00
31	VG 14/4	0.75	0.00	0.80	0.00
32	NY 1	1.00	1.70	1.70	1.60
33	NY 2	0.00	2.20	1.60	0.60

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเชื้อ	ขนาดโคโลนี (ซม.)			
		NaCl 0 mM	NaCl 37.5 mM	NaCl 75.0 mM	NaCl 150 mM
34	NY 3	1.5	1.55	1.90	1.60
35	NY 5	1.5	1.70	1.60	1.60
36	NY 6	1.70	1.70	1.80	1.60
37	NY 13	1.60	1.00	1.80	1.50
38	NY 14	1.70	1.90	1.90	1.80
39	NY 20	0.40	0.40	0.50	0.60
40	PT 3	0.90	1.10	1.30	0.80
41	PT 4	0.80	0.65	0.80	0.80
42	PT 5/1	1.05	1.00	1.10	0.90
43	PT 5/2	1.05	1.00	1.20	0.90
44	PT 6	0.90	1.40	1.20	1.00
45	SSK 1/1	0.00	1.50	1.40	0.80
46	SSK 1/2	0.80	1.10	1.60	1.00
47	SSK 3/2	1.15	1.00	1.30	1.10
48	SSK 3/4	0.70	0.80	1.00	0.85
49	SSK 4/1	1.10	1.40	1.50	1.40
50	SSK 4/2	0.75	1.20	1.10	1.00
51	SSK 4/3	0.30	0.00	1.30	0.50
52	SSK 4/4	0.90	1.10	1.00	1.20
53	SSK 5/1	0.50	0.80	1.10	0.50
54	SSK 6/1	0.70	0.80	1.10	1.05
55	SSK 7/2	0.85	1.00	1.10	1.20
56	SSK 9/2	1.25	1.35	1.15	1.35
57	SSK1 0/1	0.90	1.10	1.00	1.30
58	SSK 11/1	1.00	1.20	1.00	1.05
59	SSK 11/2	0.00	1.45	0.00	0.00
60	SSK 11/3	0.65	1.20	1.35	1.00
61	SSK 11/4	0.90	0.80	1.30	1.20
62	SSK 13/1	1.00	0.30	1.00	0.90
63	SSK 13/3	0.70	0.70	0.85	1.00
64	SSK 13/5	0.30	1.05	0.70	1.30
65	SSK 14/1	0.30	0.80	1.00	1.10

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณแบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์ในผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 - 12 เดือน

ตำรับการทดลอง	ปริมาณเชื้อ (log no./ก.)												
	0 วัน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน	5 เดือน	6 เดือน	7 เดือน	8 เดือน	9 เดือน	10 เดือน	11 เดือน	12 เดือน
1. ปุ๋ยหมัก	9.12 a	8.05 a	8.43 b	7.72 a	7.69 a	7.21 ab	7.08 a	6.37 a	5.75 a	5.10 b	5.01 b	nd	nd
2. เพอร์ไลต์	8.71 ab	8.92 a	9.18 a	8.08 a	7.61 a	7.49 a	6.74 b	6.17 a	5.83 a	5.69 a	5.54 a	nd	nd
3. ขุยมะพร้าว	9.63 a	4.75 b	4.69 d	4.57 c	3.04 c	2.92 c	4.09 c	3.69 c	3.21 b	2.91 c	2.85 c	nd	nd
4. ถ่านแกลบ	7.84 b	7.60 a	6.57 c	6.53 b	5.87 b	6.68 b	7.01 a	5.41 b	5.49 a	5.78 a	5.11 b	nd	nd
F-test	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-	-
CV (%)	5.94	9.64	3.26	5.80	6.86	6.73	1.79	3.07	4.71	3.61	3.56	-	-

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางภาคผนวกที่ 3 ระดับความรุนแรงของความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH, ดิน : น้ำ = 1:1)

ระดับ	ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด	< 3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก	3.5 - 4.5
เป็นกรดจัดมาก	4.6 - 5.0
เป็นกรดจัด	5.1 - 5.5
เป็นกรดปานกลาง	5.6 - 6.0
เป็นกรดเล็กน้อย	6.1 - 6.5
เป็นกลาง	6.6 - 7.3
เป็นด่างเล็กน้อย	7.4 - 7.8
เป็นด่างปานกลาง	7.9 - 8.4
เป็นด่างจัด	8.5 - 9.0
เป็นด่างจัดมาก	> 9.0

ที่มา : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

ตารางภาคผนวกที่ 4 ค่าการนำไฟฟ้าและระดับความเค็มดิน

ค่าการนำไฟฟ้า (dS m^{-1})	ระดับความเค็ม
< 2	ไม่เค็ม
2 - 4	เค็มเล็กน้อย
4 - 8	เค็มปานกลาง
8 - 16	เค็มมาก
> 16	เค็มจัด

ที่มา : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

ตารางภาคผนวกที่ 5 ระดับอินทรียวัตถุในดิน (Soil organic matter)

ระดับ	อินทรียวัตถุ (%)
ต่ำมาก	< 0.5
ต่ำ	0.5 - 1.0
ค่อนข้างต่ำ	1.0 - 1.5
ปานกลาง	1.5 - 2.5
ค่อนข้างสูง	2.5 - 3.5
สูง	3.5 - 4.5
สูงมาก	> 4.5

ที่มา : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

ตารางภาคผนวกที่ 6 ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน

ธาตุอาหาร	ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืช (มล./กก.)				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
ฟอสฟอรัส (P)	< 3	3 - 10	11 - 15	16 - 45	> 45
โพแทสเซียม (K)	< 30	30 - 60	61 - 90	91 - 120	> 120
แคลเซียม (Ca)	< 400	400 - 1000	101 - 200	2001 - 4000	> 4000
แมกนีเซียม (Mg)	< 36	36 - 120	121 - 365	366 - 975	> 975
กำมะถัน (S)	< 5	5 - 10	11 - 20	21 - 30	> 30

ที่มา : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

ตารางภาคผนวกที่ 7 สมบัติของวัสดุรองรับในการผลิตผลิตภัณฑ์แบคทีเรียผลิตเอ็กโสโพลิแซ็กคาไรด์

ชนิดของวัสดุ	ไนโตเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)	อินทรียวัตถุ (%)
ปุ๋ยหมัก	1.26	3.67	0.92	18.81
ถ่านแกลบ	0.45	1.08	0.96	69.59
เพอร์ไลต์	0.05	0.02	4.11	0.80

ตารางภาคผนวกที่ 8 สมบัติของปุ๋ยหมักที่ใช้ในการขยายเชื้อและปุ๋ยคอกจากมูลวัวที่ใช้ในการทดลองในภาคสนาม

ชนิดของวัสดุ	ไนโตเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)	อินทรียวัตถุ (%)
ปุ๋ยหมัก	1.26	3.67	0.92	18.81
ปุ๋ยคอกจากมูลวัว	1.86	1.31	0.62	

ตารางภาคผนวกที่ 9 การจำแนกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ปุ๋ยธาตุหลักสำหรับข้าวโพด

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

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2548)

ตารางภาคผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของข้าวโพดหวานในดินกรดแต่ละตำรับการทดลอง

รายการ	ตำรับการทดลอง								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.ค่าแรงงาน (บาท/ไร่)									
- ไถเตรียมดิน	400	400	400	400	400	400	400	400	400
- ปลูก	400	400	400	400	400	400	400	400	400
- ใส่ปุ๋ยและผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์	-	400	400	400	400	400	400	400	400
- กำจัดวัชพืช	400	400	400	400	400	400	400	400	400
- เก็บเกี่ยว	400	400	400	400	400	400	400	400	400
2. ค่าวัสดุ (บาท/ไร่)									
- เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน	750	750	750	750	750	750	750	750	750
- ปุ๋ยเคมี สูตร 18 – 46 - 0	-	248	-	-	-	124	-	-	248
- ปุ๋ยเคมี สูตร 46 - 0 - 0	-	926	-	-	-	463	-	-	926
- ปุ๋ยคอก	-	-	2,000	-	2,000	2,000	-	2,000	2,000
รวมต้นทุน (บาท/ไร่)	2,350	3,924	4,750	2,750	4,750	5,337	2,750	4,750	5,924
ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)	354	1,100	872	506	640	999	430	1,113	929
รายได้ (บาท/ไร่)	3,186	9,900	7,848	4,554	5,760	8,991	3,870	10,017	8,361
รายได้สุทธิ (บาท/ไร่) ไม่คิดค่าปุ๋ยหมัก	836	5,976	3,098	1,804	1,010	3,654	1,120	5,267	2,437

หมายเหตุ : - ค่าแรง 200 บาทต่อคนต่อวัน
- ราคาปุ๋ยเคมี สูตร 18 - 46 - 0 เท่ากับ 11,398 บาทต่อตัน
- ราคาปุ๋ยเคมี สูตร 46 - 0 - 0เท่ากับ 16,330 บาทต่อตัน
- ราคาปุ๋ยคอก 2,000 บาทต่อตัน
- ราคาเมล็ดพันธุ์ 500 บาทต่อต้น (ใช้อัตรา 1.5 กิโลกรัมต่อไร่)
- ราคาข้าวโพดหวาน 9 บาทต่อกิโลกรัม
- ปุ๋ยหมักผลิตเอง

ตารางภาคผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของข้าวโพดหวานในดินเค็มแต่ละตำรับการทดลอง

รายการ	ตำรับการทดลอง								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.ค่าแรงงาน (บาท/ไร่)									
- ไถเตรียมดิน	400	400	400	400	400	400	400	400	400
- ปลูก	400	400	400	400	400	400	400	400	400
- ใส่ปุ๋ยและผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์	-	400	400	400	400	400	400	400	400
- กำจัดวัชพืช	400	400	400	400	400	400	400	400	400
- เก็บเกี่ยว	400	400	400	400	400	400	400	400	400
2. ค่าวัสดุ (บาท/ไร่)									
- เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน	750	750	750	750	750	750	750	750	750
- ปุ๋ยเคมี สูตร 18 - 46 - 0	-	248	-	-	-	124	-	-	248
- ปุ๋ยเคมี สูตร 46 - 0 - 0	-	926	-	-	-	463	-	-	926
- ปุ๋ยคอก	-	-	2,000	-	2,000	2,000	-	2,000	2,000
รวมต้นทุน (บาท/ไร่)	2,350	3,924	4,750	2,750	4,750	5,337	2,750	4,750	5,924
ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)	361	548	429	448	545	622	466	724	686
รายได้ (บาท/ไร่)	3,249	4,932	3,861	4,032	4,905	5,598	4,194	6,516	6,174
รายได้สุทธิ (บาท/ไร่) ไม่คิดค่าปุ๋ยหมัก	899	1,008	-889	1,282	155	261	1,440	1,766	250

หมายเหตุ : - ค่าแรง 200 บาทต่อคนต่อวัน
- ราคาปุ๋ยเคมี สูตร 18 - 46 - 0 เท่ากับ 11,398 บาทต่อตัน
- ราคาปุ๋ยเคมี สูตร 46 - 0 - 0 เท่ากับ 16,330 บาทต่อตัน
- ราคาปุ๋ยคอก 2,000 บาทต่อตัน
- ราคาเมล็ดพันธุ์ 500 บาทต่อต้น (ใช้อัตรา 1.5 กิโลกรัมต่อไร่)
- ราคาข้าวโพดหวาน 9 บาทต่อกิโลกรัม
- ปุ๋ยหมักผลิตเอง