



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

..... วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (กฏวิทยา)

ปริญญา

..... กฏวิทยา

สาขา

..... กฏวิทยา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากดินนาภาคกลางของประเทศไทย
ต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, *Nilaparvata lugens* (Stål)

Effects of Bacteria Isolated from Paddy Soil in Central Region of Thailand
on Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål)

نامผู้วิจัย นายสุรศักดิ์ ใจกล้า

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(..... อาจารย์จรัสวัฒน์ เกษธรรมพิทักษ์, วท.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(..... รองศาสตราจารย์วิบูลย์ จงรัตนเมธิกุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(..... อาจารย์เอกวัฒน์ วิถีประดิษฐ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

..... (..... รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากดินนาภาคกลางของประเทศไทย
ต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, *Nilaparvata lugens* (Stål)

Effects of Bacteria Isolated from Paddy Soil in Central Region of Thailand
on Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål)

โดย

นายสุรศักดิ์ ใจกล้า

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (กัญญาวิทยา)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุรศักดิ์ ใจกล้า 2557: ผลของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากดินนาภาคกลางของประเทศไทย
ต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, *Nilaparvata lugens* (Stål)

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (กีฏวิทยา) สาขากีฏวิทยา ภาควิชากีฏวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์จรัสวัฒน์ เถาธรรมพิทักษ์, วท.ค. 126 หน้า

การใช้สารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชในนาข้าวอย่างผิดวิธี ทำให้เกิดผลกระทบหลายด้านทั้ง
สุขภาพ สภาพแวดล้อมและสารพิษตกค้าง การใช้ชีววิธีเป็นอีกหนึ่งแนวทาง ในการแก้ไขปัญหา
ดังกล่าวข้างต้น การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากดินนาภาคกลางใน
จังหวัดลพบุรี ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลดีที่สุดจำนวน 5 สายพันธุ์
ได้แก่ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 นำมาทดสอบผลต่ออัตราการตายของเพลี้ย
กระโดดสีน้ำตาลระดับห้องทดลองที่เวลาต่างๆ การสร้างเอนไซม์โปรตีนเอส (proteinase) การชักนำ
ให้ต้นข้าวผลิตเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase และการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้น
ข้าว ผลการทดลองพบว่าเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55, LBR67 มี
แนวโน้มในการส่งผลต่อค่าเฉลี่ยการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ
กรรมวิธีไม่ใส่ปัจจัยใดๆ และยังพบว่าเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13 และ LBR34 สามารถ
ส่งเสริมให้ต้นข้าวมีความสูงต้นและความยาวรากมากกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
นอกจากนี้เชื้อแบคทีเรียทั้ง 5 สายพันธุ์ดังกล่าวยังมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ proteinase
โดยวิธีทดลอง enzyme plate assay และสามารถชักนำให้ต้นข้าวผลิตเอนไซม์ β -1,3-glucanase และ
เอนไซม์ Peroxidase การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพ สามารถนำมา
ประยุกต์ใช้ในการควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และลดการใช้
สารเคมีกำจัดแมลง ตลอดจนการชักนำให้พืชสร้างเอนไซม์ที่มีผลต่อความแข็งแรงของพืชได้

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Surasak Jaikla 2014: Effects of Bacteria Isolated from Paddy Soil in Central Region of Thailand on Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål).

Master of Science (Entomology), Major Field: Entomology, Department of Entomology.

Thesis Advisor: Mr. Jaruwat Thowthampitak, Ph.D. 126 pages.

Misuse of chemical pesticides in rice field affected many aspects of human health ,environment and chemical residue. Therefore biocontrol method is one of the alternative ways to resolve these problems that mentioned above. This study aims to bring the bacteria isolated from rice field soil in Lopburi province ,central of Thailand that best effectiveness in controlling *Nilaparvata lugens* (Stål) (Brown plant hopper, BPH) 5 bacterial strains such as LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 and LBR67. Laboratory test results on mortality rate of *Nilaparvata lugens* (Stål) in different time ,Production of enzyme protease (proteinase) ,Induction of rice producing Peroxidase and β -1,3 glucanase enzymes and promote the growth of rice plant. The results of these experiments that mention above showed that the bacterial strains LBR10, LBR13, LBR34, LBR55, LBR67 likely to affect the mortality rate of *Nilaparvata lugens* (Stål) without any factors significantly. It also found that bacterial strains LBR10, LBR13 and LBR34 can encourage the rice plant height and root length than untreated controls significantly. In addition, the 5 bacterial strains also has the ability to produce the enzyme proteinase by enzyme plate assay protocol and can induce the production of rice enzymes,Peroxidase and β -1,3-glucanase enzymes.This study shows that effective bacteria can be used in pest control by biocontrol method to promote the growth of rice plants and reduce the use of chemical pesticides as well as induction of plant enzymes that affect the strength of the plant.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____/____/____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์จรัสวัฒน์ เถาธรรมพิทักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
รองศาสตราจารย์วิบูลย์ จงรัตนเมธิกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาอบรม
สั่งสอน ทั้งในการเรียนและการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จ
สมบูรณ์ได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ คุณพ่อ และบุคคลในครอบครัวทุกคน ที่ให้ความรัก
ความห่วงใย คอยให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจ ช่วยเหลือด้านการศึกษามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณจำเริญ กัดสุวรรณ และครอบครัว ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการ
ทดลอง อุปกรณ์ที่จำเป็น ตลอดจนการช่วยเหลือต่างๆ จนกระทั่งทดลองเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการสอบ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก อาจารย์และบุคลากร
ภาควิชาเคมีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ทุกๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือ
แนะนำสิ่งต่างๆ ทั้งในการศึกษาและการทำวิจัยจนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย อีกทั้งยังเป็น
กำลังใจที่ดีเสมอมา ตลอดเวลาที่ข้าพเจ้าทำการศึกษาวิจัย

สุดท้ายนี้ ประโยชน์และคุณค่าอันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอบมอบแด่คุณแม่
คุณพ่อ บุพการี และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้เมตตาเลี้ยงดูอบรมสั่งสอนจนถึงปัจจุบัน

สุรศักดิ์ ใจกล้า

ธันวาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	44
ผล	44
วิจารณ์	100
สรุปและข้อเสนอแนะ	106
สรุป	106
ข้อเสนอแนะ	110
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	112
ภาคผนวก	119
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	126

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ตัวอย่าง Plant Growth Promoting Rhizobacteria	27
2 ตัวอย่าง Plant Growth Promoting Rhizobacteria ที่ช่วยควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช	28
3 รายละเอียดกรรมวิธีทดลองในระดับแปลงปลูกเกษตรกร	40
4 อัตราการตายเฉลี่ยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ	46
5 การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล	49
6 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการสร้างเอนไซม์ proteinase บนอาหารทดสอบที่เวลาต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ	52
7 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ Peroxidase ที่อายุต่างๆ ในสภาพโรงเรือนปลูกทดลอง	56
8 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ β -1,3-glucanase ที่อายุข้าวต่างๆ ในสภาพโรงเรือนปลูกทดลอง	60
9 อัตราการตายเฉลี่ยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล <i>Nilaparvata lugens</i> (Stål) ในการทดสอบระดับโรงเรือนปลูกทดลอง	64
10 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวในแต่ละสัปดาห์	70
11 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตด้านความยาวรากของข้าวในแต่ละสัปดาห์	76
12 น้ำหนักแห้งเมล็ดข้าว 1,000 เมล็ด (กรัม)	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
13 ปริมาณแมลงศัตรูพืชจากการสุ่มสำรวจโดยใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ข้าวอายุต่างๆ	81
14 ปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติเฉลี่ยที่ได้จากการสุ่มสำรวจ โดยใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ข้าวอายุต่างๆ	83
15 ปริมาณแมลงเฉลี่ยรวมทั้ง 3 สัปดาห์ที่สำรวจได้จากการใช้ quadrat	85
16 ปริมาณแมลงศัตรูพืชจากการวางกับดักกาวเหนียวที่ข้าวอายุต่างๆ	87
17 ปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติจากการวางกับดักกาวเหนียวที่ข้าวอายุต่างๆ	89
18 ปริมาณแมลงเฉลี่ยรวมทั้ง 10 สัปดาห์ที่สำรวจได้โดย sticky traps	91
19 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ Peroxidase ที่ข้าวอายุต่างๆ ในสภาพไร่นา	94
20 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรีย ในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ β -1,3-glucanase ที่ข้าวอายุต่างๆ ในสภาพไร่นา	98
21 จำนวนการตายเฉลี่ยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในการทดสอบประสิทธิภาพ เบื้องต้นของเชื้อแบคทีเรีย 100 สายพันธุ์ในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในระดับห้องปฏิบัติการ	121

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	วิธีการทดสอบการสร้างเอนไซม์โปรตีนเอส
2	อัตราการตายเฉลี่ยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ
3	แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการสร้างเอนไซม์ proteinase บนอาหารทดสอบที่เวลาต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ
4	แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ Peroxidase ที่อายุต่างๆ ในสภาพโรงเรือนปลูกทดลอง
5	แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ β -1,3-glucanase ที่อายุข้าวต่างๆ ในสภาพโรงเรือนปลูกทดลอง
6	อัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล <i>Nilaparvata lugens</i> (Stål) ในระดับโรงเรือนปลูกทดลอง
7	แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวในแต่ละสัปดาห์
8	แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตด้านความยาวรากของข้าวในแต่ละสัปดาห์
9	ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ Peroxidase ที่ข้าวอายุต่างๆ ในสภาพแปลงเกษตรกร
10	ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ β -1,3-glucanase ที่ข้าวอายุต่างๆ ในสภาพแปลงเกษตรกร

ผลของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากดินนาภาคกลางของประเทศไทย

ต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, *Nilaparvata lugens* (Stål)

**Effects of Bacteria Isolated from Paddy Soil in Central Region of Thailand
on Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål)**

คำนำ

เกษตรกรถือเป็นอาชีพหลักของประเทศไทย และในปัจจุบันประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมาก แต่ถึงกระนั้นบุคคลผู้ทำอาชีพเกษตรกรก็ยังมีฐานะยากจนและทำงานไม่คุ้มค่าแรง สาเหตุหนึ่งเป็นเพราะมีการลงทุนสูงแต่ราคาขายต่ำ ทำให้มีรายได้น้อย อีกทั้งยังประสบปัญหาการระบาดของศัตรูพืช รวมไปถึงการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในปริมาณมาก จนส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภค รวมถึงการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและแหล่งน้ำ นอกจากนี้การใช้สารเคมียังทำให้เกิดความต้านทานต่อสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในแมลงศัตรูธรรมชาติของเกษตรกร เนื่องจากสารเคมี ส่งผลเสียความหลากหลายทางชีวภาพ วิทยานิพนธ์นี้จึงเกิดขึ้นภายใต้แนวคิดของการทำการเกษตรแบบลดต้นทุนและอนุรักษ์สภาพแวดล้อม โดยมีจุดประสงค์ให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตในส่วนของการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ทำให้สามารถมีผลกำไรมากขึ้น ส่งผลให้เกิดสภาพคล่องทางการเงินและฐานะความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นตามลำดับ

การศึกษานี้มีแนวคิดมาจากการใช้ชีววิธีในการควบคุมศัตรูพืช ซึ่งก็คือการใช้ตัวห้ำ (Predator) ตัวเบียน (Parasitoids) และ เชื้อโรค (Pathogen) โดยจะมุ่งเน้นไปในการใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการควบคุมศัตรูพืชและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียจากดินนาภาคกลางที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญเพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้ได้จริงในสภาพไร่ และเพื่อลดหรือทดแทนการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชให้น้อยลง โดยการใช้เชื้อแบคทีเรียในการควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีจะเป็นวิธีการที่ลดสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมี ซึ่งในปัจจุบันเกษตรกรนิยมใช้สารเคมีควบคุม

ศัตรูพืชที่มีความสะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมศัตรูพืช หากแต่ไม่มีความยั่งยืน อีกทั้งยังมีสารเคมีตกค้างในสินค้าเกษตร ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคและตัวเกษตรกรเอง รวมถึงยังทำให้แมลงอื่นๆที่เป็นประโยชน์ เช่น แมลงศัตรูธรรมชาติและแมลงผสมเกสรลดจำนวนลงเนื่องจากผลกระทบของการใช้สารเคมี โดยแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพ นอกจากจะสามารถควบคุมแมลงศัตรูพืชได้โดยตรงแล้ว ยังสามารถชักนำให้พืชเกิดภูมิต้านทานแมลงได้ในทางอ้อมอีกด้วย

ศึกษาวิจัยโดยนำแบคทีเรียที่แยกได้จากดินจากแปลงนาข้าว อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี นำมาทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนปลูกทดลอง ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการสร้างเอนไซม์ proteinase ประสิทธิภาพในการชักนำให้ต้นข้าวผลิตเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase การป้องกันกำจัดแมลงในสภาพแปลงปลูกเกษตรกร ซึ่งวัดผลจากการสุ่มสำรวจประชากรแมลงในแปลงข้าว การเจริญเติบโตและ yield components เบื้องต้น เปรียบเทียบกับกันในการวิธีที่ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช

วัตถุประสงค์

1. คัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่แยกจากดินนาภาคกลางมาทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล
2. ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียที่แยกจากดินนาภาคกลางในการสร้างเอนไซม์ proteinase
3. ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียที่แยกจากดินนาภาคกลางในการชักนำให้ต้นข้าวผลิตเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase
4. ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียที่แยกจากดินนาภาคกลางในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวและความคุมแมลงศัตรูข้าวในระดับแปลงปลูกเกษตรกร

การตรวจเอกสาร

ข้าว *Oryza sativa*

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (Gramineae) บริโภคเมล็ดเป็นอาหาร จากการค้นคว้าของ นักวิชาการด้านโบราณคดีและมานุษยวิทยา ให้ความเห็นว่าแหล่งกำเนิดของข้าวตามธรรมชาติ อยู่ในแถบเทือกเขาหิมาลัยทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศจีน และตอนเหนือของประเทศเวียดนาม และต่อมานุษยจึงเริ่มปลูกข้าวและแพร่กระจายพื้นที่ปลูกทั่วไป (ศรีศักร, 2531) ข้าวถือเป็นพืชอาหารหลักที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก โดยเฉพาะประเทศในแถบภูมิภาคเอเชียที่นิยมรับประทาน ข้าวเป็นอาหารหลักมากกว่าในเขตภูมิภาคอื่นๆของโลก การผลิต การบริโภคและการค้าข้าวส่วนใหญ่จึงกระจุกตัวรวมกันอยู่ในทวีปเอเชีย แต่ข้าวที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะใช้ในการบริโภคภายในประเทศ ทำให้มีข้าวเพียงประมาณร้อยละ 6 เท่านั้นที่ออกสู่ตลาดการค้าข้าวระหว่างประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2555 ประเทศผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ที่สุดคือ อินเดีย (9.75 ล้านตัน) เวียดนาม (7 ล้านตัน) ไทย (6.5 ล้านตัน) ปากีสถาน (3.75 ล้านตัน) และสหรัฐฯ (3.5 ล้านตัน) ตามลำดับ โดยเฉลี่ยประเทศไทยส่งออกข้าวปีละประมาณ 7 ล้านตัน เป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 30 ของการส่งออกข้าวทั้งหมด โดยข้าวที่นิยมบริโภคมีอยู่ 2 species ใหญ่ๆ คือ *Oryza glaberrima* ปลูกเฉพาะในเขตร้อนของแอฟริกาเท่านั้น และ *Oryza sativa* ปลูกได้ทั่วไปในทุกภูมิภาค นอกจากนี้ข้าวชนิด *O. sativa* ยัง แยกออกได้เป็น Indica เป็นข้าวที่ปลูกในประเทศต่างๆ ในเขตร้อน เช่น ศรีลังกา จีนตอนใต้และตอนกลาง อินเดีย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ ไทย ฟิลิปปินส์, Japonica เป็นข้าวที่ปลูกในประเทศจีนตอนเหนือและตะวันออก ญี่ปุ่น เกาหลี และประเทศอื่นๆ ที่อยู่ในเขตอบอุ่น และ Javanica เป็นข้าวที่พบในประเทศอินโดนีเซียเท่านั้น ข้าวที่ปลูกในประเทศไทยเป็นพวก Indica ซึ่งแบ่งออกเป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว นอกจากนี้ ข้าวยังได้ถูกมนุษย์คัดสรรและปรับปรุงพันธุ์มาโดยตลอดตั้งแต่มีประวัติศาสตร์การเพาะปลูก ข้าวในปัจจุบัน จึงมีหลากหลายสายพันธุ์ทั่วโลกที่ให้รสชาติและประโยชน์ใช้สอยต่างกันไป พันธุ์ข้าวที่มีชื่อเสียงระดับโลกของไทย คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105

ลักษณะที่สำคัญของข้าว

1. ลักษณะด้านการเจริญเติบโตของต้นข้าว ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ รากเป็นส่วนที่อยู่ใต้ผิวดิน ใช้ยึดลำต้นกับดินเพื่อให้ต้นตั้งตรงอยู่ได้โดยไม่ล้ม และยังมีหน้าที่ดูดซึมสารอาหารและน้ำขึ้นมาเลี้ยงต้นข้าว แต่ในบางครั้งอาจมีรากพิเศษเกิดขึ้นที่ข้อซึ่งอยู่เหนือพื้นดิน ข้าวมีระบบรากแบบ fibrous root system (ระบบรากฝอย) ไม่มีรากแก้ว แต่มีรากฝอยแตกแขนงกระจายอยู่ใต้ผิวดิน ลำต้นเป็นโพรงตรงกลาง แบ่งออกเป็นข้อและปล้อง โดยมีข้อกั้นระหว่างปล้อง ความยาวของปล้องนั้นแตกต่างกัน จำนวนปล้องจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว โดยปกติจะมีประมาณ 20 ถึง 25 ปล้อง ใบ ต้นข้าวมีใบไว้ใช้สำหรับสังเคราะห์แสง เพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุ อาหาร น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ให้เป็นแป้ง นำมาใช้ในการบวนการเจริญเติบโตและการสร้างเมล็ดของต้นข้าว ใบข้าวประกอบด้วย กาบใบและแผ่นใบ

2. ลักษณะด้านการขยายพันธุ์ ต้นข้าวมีการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดซึ่งเกิดจากการผสมระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย เพราะฉะนั้น ลักษณะที่สำคัญเกี่ยวกับการ ขยายพันธุ์ ได้แก่ รวงข้าว ดอกข้าวและเมล็ดข้าว รวงข้าว (panicle) คือช่อดอกของข้าว (inflorescence) ซึ่งเกิดขึ้นที่ข้อของปล้องสุดท้ายของต้นข้าว ระยะระหว่างข้อบนของปล้องสุดท้ายกับข้อต่อของใบธง (flag leaf) เรียกว่า คอรวง ดอกข้าว หมายถึง ส่วนที่อยู่ของเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย ดอกข้าวประกอบด้วยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่นประสานกัน เพื่อห่อหุ้มส่วนที่อยู่ภายในไว้ เปลือกนอกใหญ่แผ่นนอกเรียกว่า เลมมา (lemma) ส่วนเปลือกนอกใหญ่แผ่นใน เรียกว่า พาเลีย (palea) ทั้งสองเปลือกนี้ภายนอกอาจมีขนหรือไม่มีขนก็ได้ เมล็ดข้าว หมายถึงส่วนที่เป็นแป้ง เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) และส่วนที่เป็นคัพภะ ซึ่งห่อหุ้มไว้โดยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่น เอ็นโดสเปิร์มเป็นแป้งที่ใช้ในการบริโภค คัพภะเป็นส่วนที่มีชีวิตและจะงอกเป็นต้นข้าวเมื่อนำไปเพาะปลูก

ชนิดของข้าว

ข้าวที่ปลูกเพื่อบริโภค สามารถแบ่งออกได้เป็นชนิดต่างๆ ได้หลายชนิด โดยใช้เกณฑ์ดังนี้

1 สภาพพื้นที่ปลูก

สามารถแบ่งได้เป็น ข้าวไร่ ข้าวนาสวน และข้าวขึ้นน้ำ ข้าวไร่ (upland rice) เป็นข้าวที่ปลูกได้ทั้งบนที่ราบและที่ลาดชัน ไม่ต้องทำคันนาเก็บกักน้ำ นิยมปลูกกันมากในบริเวณที่ราบสูงตามไหล่เขาทางภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณ ร้อยละ 10 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศ ข้าวนาสวนหรือนาดำ (lowland rice) หมายถึงข้าวที่ปลูกแบบปักดำหรือหว่านและระดับน้ำในนาลึกไม่เกิน 80-100 เซนติเมตร เป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มทั่วไป ในสภาพที่มีน้ำหล่อเลี้ยงต้นข้าวตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยว โดยที่สามารถ รักษาระดับน้ำได้และระดับน้ำต้องไม่สูงเกิน 1 เมตร ข้าวนาสวนนิยมปลูกกันมากแทบทุกภาคของประเทศคิดเป็น เนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 80 ของเนื้อที่ ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวนาเมือง (floating rice) เป็นข้าวที่ปลูกในแหล่งที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้ บางครั้งระดับน้ำในบริเวณที่ปลูกอาจสูงกว่า 1 เมตร ต้องใช้ข้าวพันธุ์พิเศษที่เรียกว่า ข้าวลอยหรือข้าวฟางลอยปลูกส่วนมากปลูก แถบจังหวัดพระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี ลพบุรี พิจิตร อ่างทอง ชัยนาทและสิงห์บุรี คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศ

2 ชนิดของแป้งในเมล็ด

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว โดยข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีต้นและลักษณะอื่นคล้ายกันทุกประการ แต่มีข้อแตกต่างกันที่เมล็ดข้าวเจ้า จะประกอบด้วยแป้ง Amylose ประมาณ 15-30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเมล็ดข้าวเหนียว จะประกอบด้วยแป้ง Amylopectin เป็นส่วนมากประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ และมีแป้ง Amylose เป็นส่วนน้อย ประมาณ 5-7 เปอร์เซ็นต์ แป้ง Amylopectin จะทำให้เมล็ดข้าวเหนียวมีความเหนียว เมื่อนึ่งสุกแล้ว

3 อายุการเก็บเกี่ยว

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ ข้าวเบา ข้าวกลาง และข้าวหนัก ข้าวเบามีอายุการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 90-100 วัน ข้าวกลาง 100-120 วัน และข้าวหนัก ตั้งแต่ 120 วันขึ้นไป โดยอายุการเก็บเกี่ยวจะนับตั้งแต่การเพาะกล้าหรือหว่านข้าวในนา จนถึงการเก็บเกี่ยว

4 ลักษณะความไวต่อช่วงแสง

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ข้าวไวแสงและข้าวไม่ไวต่อแสง ข้าวที่ไวต่อแสงจะมีอายุการเก็บเกี่ยวที่ไม่แน่นอน เพราะการออกดอกของข้าวต้องอาศัยระยะเวลาในช่วงที่มีความยาวของกลางวันสั้นกว่าช่วงกลางคืน ซึ่งในประเทศไทยช่วงเวลาดังกล่าวจะเริ่มในเดือนตุลาคม เพราะฉะนั้น ข้าวประเภทนี้ต้องปลูกในฤดูนาปี (ฤดูฝน) เท่านั้น ส่วนข้าวที่ไม่ไวต่อแสง จะสามารถปลูกได้ในทุกฤดูกาล

5 รูปร่างของเมล็ดข้าวสาร

สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทคือ ข้าวเมล็ดสั้น (short grain) มีความยาวของเมล็ดไม่เกิน 5.50 มิลลิเมตร ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (medium-long grain) มีความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 5.51-6.60 มิลลิเมตร ข้าวเมล็ดยาว (long grain) มีความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 6.61-7.50 มิลลิเมตร ส่วนข้าวเมล็ดยาวมาก (extra-long grain) จะมีความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 7.51 มิลลิเมตร ขึ้นไป

6 ฤดูปลูก

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ข้าวนาปีและข้าวนาปรัง ข้าวนาปี หรือข้าวนาฝน คือข้าวที่ปลูกในฤดูการทำนาปกติ โดยเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมและจะเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้นสุด ไม่เกินเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนข้าวนาปรัง คือข้าวที่ปลูกนอกฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่

เดือนมกราคมในบางท้องที่ และจะเก็บเกี่ยวอย่างช้าที่สุดไม่เกินเดือนเมษายน นิยมปลูกในเขตชลประทาน เช่นภาคกลาง

การปลูกข้าว

การปลูกข้าวเป็นงานที่สำคัญอย่างยิ่งของประเทศไทยตั้งแต่โบราณกาล จนถึงกับมีพระราชพิธีจรดพระนังคัลแรกนาขวัญ เพื่อเป็นปฐมฤกษ์ในการทำนาปลูกข้าวของแต่ละปี เพื่อเป็นสิริมงคลแก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าว โดยพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวจะมอบหมายให้เจ้าหน้าที่ฝ่ายเกษตรเป็นพระยาแรกนา ทำการไถและหว่านเมล็ดข้าว ชาวนาจะเก็บเมล็ดพันธุ์นี้ไปรวมกับเมล็ดพันธุ์ที่เขาใช้ปลูก เพราะถือว่าเป็นสิริมงคลยิ่ง

การปลูกข้าวในภาคต่างๆ ของประเทศไทย

ภาคเหนือ ลักษณะภูมิประเทศของภาคเหนือเป็นภูเขาสลับซับซ้อน จึงทำการปลูกข้าวนาสวนในที่ราบระหว่างภูเขาเป็นส่วนใหญ่ เพราะมีระดับน้ำในนาตื้นกว่า 80 เซนติเมตร และทำการปลูกข้าวไร่ในที่ดอนและที่สูงบนภูเขา เพราะไม่มีน้ำขังในพื้นที่ปลูก ส่วนมากชนิดของข้าวที่ปลูกมีทั้งข้าวเหนียวและข้าวเจ้า และในบางท้องที่มีการปลูกข้าวนาปรังด้วย

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ลักษณะภูมิประเทศของภาคอีสานเป็นที่ราบสูง สภาพของพื้นนาจึงเป็นที่ราบ และมักจะแห้งแล้งในฤดูปลูกข้าวเสมอ ชาวนาทำการปลูกข้าวนาสวน ทางตอนเหนือของภาคปลูกข้าวเหนียวอายุเบา ส่วนทางตอนใต้ปลูกข้าวเจ้าอายุหนัก

ภาคกลาง ลักษณะภูมิประเทศภาคกลางเป็นที่ราบลุ่ม เหมาะแก่การปลูกข้าวเป็นอย่างมาก เกษตรกรส่วนใหญ่จึงเป็นชาวนา พื้นที่ทำนาเป็นที่ราบลุ่มทำการปลูกข้าวเจ้ากันเป็นส่วนใหญ่ ในเขตจังหวัด ปทุมธานี อยุธยา อ่างทอง สิงห์บุรี อุทัยธานี นครสวรรค์ พิจิตร พิษณุโลก สุพรรณบุรี

และปราจีนบุรี ระดับน้ำในนาระหว่างเดือนกันยายนและพฤศจิกายน จะลึกประมาณ 1-3 เมตร ด้วยเหตุนี้ ชาวนา ในจังหวัดดังกล่าวจึงต้องปลูกข้าวนาเมืองหรือข้าวขึ้นน้ำ นอกนั้นปลูกข้าวนาสวน

ภาคใต้ สภาพพื้นที่ที่ปลูกข้าวในภาคใต้เป็นที่ราบริมทะเล และเป็นที่ราบระหว่างภูเขา ส่วนใหญ่ใช้น้ำฝนในการทำนา และฝน จะมาล่าช้ากว่าภาคอื่น ด้วยเหตุนี้การทำนาในภาคใต้จึงล่าช้ากว่าภาคอื่น ชาวนาในภาคนี้ปลูกข้าวเจ้าในฤดู นาปีกันเป็นส่วนใหญ่

ศัตรูข้าว

ศัตรูพืช หมายถึง สิ่งซึ่งเป็นอันตรายและก่อความเสียหายแก่พืช เช่น เชื้อ โรคพืช แมลง สัตว์ หรือพืชที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืช (พระราชบัญญัติกักพืช (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2542) ศัตรูพืช หมายถึง สัตว์ที่ทำความเสียหาย หรือรบกวนมนุษย์ สัตว์เลี้ยง พืชปลูก เช่น แมลง ไ่ว ไล่เดือนฝอย หนอน นก รวมไปถึงสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น เชื้อรา แบคทีเรีย ไวรัส และวัชพืช ศัตรูพืช หมายถึง สิ่งที่ไม่ต้องการไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ หรือเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งก่อปัญหา และเป็นเหตุให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการป้องกันกำจัด

ศัตรูข้าว นับเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำลายต้นข้าวส่งผลให้ผลผลิตเสียหายเป็นจำนวนมาก โดยศัตรูข้าวสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. โรคข้าว มีโรคที่สำคัญคือ โรคใบไหม้ โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคใบขีดสีน้ำตาล โรคใบวงสีน้ำตาล โรคกาบใบแห้ง โรคกาบใบเน่า โรคเมล็ดด่าง โรคถอดฝักดาบ โรคขอบใบแห้ง โรคใบขีดโปรงแสง โรคใบสีส้ม โรคใบหงิก (โรคจู๋) โรคหูด โรคเหี่ยวเฉา โรคใบสีแสด โรคเหลืองเฉา ไล่เดือนฝอยรากปม โรคใบแถบแดง โรคเมตาอซังและโรคดอกกระถิน

2. วัชพืชในข้าว มีชนิดที่สำคัญดังนี้ ข้าวหาง ข้าวตืดหรือข้าวเต้ง หญ้าข้าวนก หญ้านกสีชมพู หญ้าแดง หญ้าดอกขาว ผักปอดนา ขาเขียด กกขนาก กกทราย หนวดปลาชุก และผักแว่น

3. ศัตรูข้าว มีชนิดที่สำคัญดังนี้ นกกระต๊อ หุ้มนู หนูท้องขาว หนูนาใหญ่ หนูพุกใหญ่ หนูพุกเล็ก และหอยเชอรี่

4. แมลงศัตรูข้าว โดยทั่วโลกมีมากกว่า 800 ชนิด ที่พบในประเทศไทยมีประมาณ 50 ชนิด แต่การปลูกข้าวในที่ราบภาคกลาง แมลงศัตรูข้าวที่ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงและเป็นปัญหาสำคัญของการปลูกข้าวคือ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล หนอนห่อใบข้าว หนอนกอข้าว และเพลี้ยไฟ (พิสุทธิ. 2550)

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล *Nilaparvata lugens* (Stål) เป็นแมลงจำพวกปากดูด ตัวเต็มวัยมีลำตัวสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลปนดำ มีรูปร่าง 2 ลักษณะ คือ ชนิดปีกยาว และชนิดปีกสั้น ชนิดที่มีปีกยาวสามารถเคลื่อนย้ายและอพยพไปได้ทั้งในระยะทางใกล้และระยะทางไกล โดยอาศัยกระแสลมเป็นตัวช่วยในการเคลื่อนที่ ตัวเต็มวัยเพศเมีย ส่วนใหญ่วางไข่ที่กาบใบข้าวหรือเส้นกลางใบ โดยวางไข่เป็นกลุ่ม เรียงแถวตามแนวตั้งฉากกับกาบใบข้าว บริเวณที่วางไข่จะมีรอยขี้เป็นสีน้ำตาล ไข่มีลักษณะรูปกระสวย โคนคล้ายกล้วยหอม มีสีขาวขุ่น ตัวอ่อนมี 5 ระยะ โดยระยะตัวอ่อนมีอายุ 16-17 วัน ตัวเต็มวัยมีชีวิตประมาณ 2 สัปดาห์ ในหนึ่งฤดูปลูกข้าว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถเพิ่มปริมาณได้ 3-4 รุ่น เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยสามารถเข้าทำลายข้าวโดยการดูดกินน้ำเลี้ยงบริเวณโคนต้นข้าวระดับเหนือผิวน้ำ ทำให้ต้นข้าวมีอาการใบเหลืองแห้งลักษณะคล้ายถูกน้ำร้อนลวก แห้งตายเป็นหย่อมๆ เรียกว่าอาการไหม้ หรือ hopper burn โดยทั่วไปพบอาการไหม้ในระยะข้าวแตกกอถึงระยะออกรวง ซึ่งตรงกับช่วงอายุขัยที่ 2-3 ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในนาข้าวที่ขาดน้ำตัวอ่อนจะลงมาอยู่ที่บริเวณโคนกอข้าวหรือบนพื้นดินที่ชื้นและนอกจากนี้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ยังเป็นพาหะนำเชื้อไวรัสโรคใบหงิกมาสู่ต้นข้าวทำให้ต้นข้าวมีอาการแคระแกร็น ต้นเตี้ย ใบสีเขียวแคบและสั้น ใบแก่ช้ากว่าปกติ ปลายใบบิดเป็นเกลียว และขอบใบแห้งวิน

ปัจจัยที่มีผลต่อการระบาด

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการระบาดคือวิธีการปลูกข้าว ในการปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตมมีปัญหาการระบาดมากกว่านาดำเพราะนาหว่านมีจำนวนต้นข้าวหนาแน่น ทำให้อุณหภูมิและความชื้นในแปลงนาเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเป็นอย่างมาก ประกอบกับการใช้ปุ๋ยในอัตราสูง โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้การเพิ่มจำนวนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าวมีแนวโน้มมากขึ้น สามารถทำลายข้าวได้อย่างต่อเนื่องเนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจน จะส่งผลในการเร่งการเจริญเติบโตทางใบ ทำให้ใบข้าวเขียวและหนาแน่น ต้นข้าวมีสภาพอวบน้ำเหมาะแก่การเข้าดูกินและขยายพันธุ์ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในส่วนของการควบคุมน้ำในนาข้าว สภาพนาข้าวที่มีน้ำขังในนาตลอดเวลา ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถเพิ่มจำนวนได้มากกว่าสภาพที่มีการระบายน้ำในนาออกเป็นครั้งคราว เพราะมีความชื้นที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ทางราชการไม่แนะนำให้ใช้ ศัตรูธรรมชาติจะถูกทำลายและสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชก็ไม่สามารถทำลายไข่ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ ทำให้ตัวอ่อนที่ฟักออกจากไข่มีโอกาสรอดชีวิตสูง

การป้องกันกำจัด

1. เลือกพันธุ์ข้าวที่มีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และไม่ควรปลูกข้าวพันธุ์เดียวกันเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง เพื่อลดโอกาสที่เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จะปรับตัวได้ง่าย ข้าวพันธุ์ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เช่น สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 90 ปทุมธานี 1 พิษณุโลก 2 ชัยนาท 1 ชัยนาท 2 กข29 และ กข31 และไม่ควรปลูกพันธุ์เดียวกันติดต่อกันเกิน 4 ฤดูปลูก ควรปลูกหมุนเวียนสลับกันระหว่างพันธุ์ต้านทานสูงกับพันธุ์ทนทานหรือพันธุ์อ่อนแอปานกลาง
2. ในแหล่งที่มีการระบาดและสามารถควบคุมระดับน้ำในนาได้ หลังปักดำหรือหว่าน 2-3 สัปดาห์จนถึงระยะตั้งท้อง ให้ควบคุมน้ำในแปลงนาให้พอดีเปียก หรือมีน้ำเรี่ยผิวดินนาน 7-10 วัน แล้วปล่อยขังทิ้งไว้ให้แห้งเองสลับกันไป จะช่วยลดการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้ เนื่องจากมีความชื้นที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

3. ที่ข้าวอายุน้อยกว่า 40 วัน ควรใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเป็นตัวเต็มวัยชนิดปีกยาว จึงทำให้การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชไม่มีประสิทธิภาพ และยังมีผลกระทบต่อมวนเขียวคุดไข่ ซึ่งเป็นศัตรูธรรมชาติที่สำคัญที่คอยควบคุมปริมาณของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ที่ข้าวอายุ 40-60 วัน แนะนำให้ใช้สารบูโพรเฟซิน (แอฟฟลอค) หรือบูโพรเฟซิน/ไอโซโปรคาร์บ (แอฟซิน) หรืออีโทเฟนพรอกซ์ (ทริบอน) หากพบเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระยะตัวอ่อนวัยที่ 1-3 ตั้งแต่ 5 ตัวต่อต้นขึ้นไป ที่ข้าวอายุ 60-80 วัน แนะนำให้ใช้ สารไทอะมิโทแซม (แอคทารา) หรือสารไดโนทีฟูเร็น (สตาร์เกิล) หรือสารโคลไทอะนิน (เด็นท็อกซ์) เมื่อพบเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลอยู่ในระยะตัวอ่อนผสมตัวเต็มวัยชนิดปีกสั้น

4. ไม่ควรใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ได้แก่ สารกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ เช่น แอลฟาไซเพอร์เมทริน ไซเฮโลทริน หรือกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เช่น ไซเพอร์เมทริน เดคาเมทริน เอสเฟนแวลเอเรต เพอร์เมทริน แลมบ์ดาไซเฮโลทริน ไชนาโนเฟนฟอส เมทิล พาราไทออน ไอโซชาไทออน ไพริดาเฟนไทออน ควินาลฟอส เตตระคลอร์วินฟอส เป็นต้น

สาเหตุการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชไม่ได้ผล ประกอบด้วย

1. การทำนาหว่านที่หว่านข้าวที่หนาแน่นเกินไป ทำให้การพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชไม่ทั่วถึง เนื่องจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจะอยู่ที่บริเวณโคนต้น ถ้าต้นข้าวแน่นเกินไปจะทำให้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่พ่นไปไม่ถูกตัวเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยเฉพาะการใช้เครื่องชนิดพ่นสารชนิดใช้แรงลมจะมีปัญหามาก เนื่องจากส่วนใหญ่สารจะถูกแรงลมพัดพาให้ตกลงที่ส่วนบนของต้นข้าวมากกว่าส่วนล่างของลำต้น ดังนั้นชาวนาควรเลือกเครื่องพ่นสารที่สามารถกดหัวฉีดให้ละอองสารลงไปที่ต้นข้าว

2. การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ไม่มีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้ถูกแบ่งกลุ่มตามกลไกการออกฤทธิ์ ซึ่งจะมีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้น สำหรับสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในช่วงการระบาดที่ยังไม่รุนแรง ได้แก่กลุ่มนีโอนิโคตินอยด์ เช่น ไดโนทีฟูเรนด์ ไทอะมิโทแซม คลอไทอะนิน อิมิดาคลอพริด เป็นต้นกลุ่มฟินิลไพราโซล เช่น อิติโพรล

กลุ่มคาร์บาเมต เช่น ฟิโนบุคาร์บ ไอโซโพรคาร์บ คาร์โบซัลเฟน กลุ่มสารยับยั้งการสร้างไคติน หรือยับยั้งการลอกคราบของแมลง เช่น บูโพรเฟซิน (ใช้ได้เฉพาะตัวอ่อน) กลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ เช่น อีโทเฟนพรีอ (เป็นสารเพียงชนิดเดียวในกลุ่มไพรี-ทรอยด์ที่ยังแนะนำให้ใช้ในนาข้าว) และสารผสม 2 กลุ่มกลไกการออกฤทธิ์ เช่น บูโพรเฟซิน + ไอโซโพรคาร์บ

การควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี (Biological Control)

การควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีถือเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอย่างหนึ่ง ในการควบคุมปริมาณของสิ่งมีชีวิตด้วยสิ่งมีชีวิตด้วยกันเอง ไม่ว่าจะเป็น พืช แมลง สัตว์ และเชื้อโรค ถือว่าเป็นศัตรูธรรมชาติ มีหน้าที่รักษาระดับปริมาณของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ให้อยู่ในสภาพสมดุล

การควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี เป็นการใช้ประโยชน์จากศัตรูธรรมชาติ (Natural enemies) ซึ่งประกอบด้วย ตัวห้ำ (predators) ตัวเบียน (parasites) และเชื้อโรค (pathogens) ไปใช้ควบคุมศัตรูพืช ไม่ว่าจะเป็นโรคพืช แมลงศัตรูพืช หรือวัชพืช ประกอบไปด้วย

1. ตัวห้ำ (predators) คือ สัตว์หรือแมลงชนิดใดชนิดหนึ่งที่กินศัตรูพืชเป็นอาหาร โดยทั่วไปตัวห้ำจะมีขนาดใหญ่และแข็งแรงกว่าเหยื่อ และกัดกินเหยื่อทำให้เหยื่อตายในเวลาอันรวดเร็ว ตัวอย่างของสัตว์ตัวห้ำ ได้แก่ นก คางคก กิ้งก่า แมงมุม เป็นต้น ส่วนแมลงตัวห้ำที่สำคัญ เช่น แมลงปอ แมลงช้างปีกใส มวนพิฆาต มวนเพชฌฆาต เป็นต้น ตัวห้ำส่วนใหญ่จะล่าเหยื่อในขณะที่ยังเป็นตัวอ่อน

2. ตัวเบียน (parasites) คือ แมลงหรือสัตว์ขนาดเล็กที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ด้วยการเกาะกินอยู่บนตัวหรือในตัวแมลงอาศัย (hosts) ชนิดอื่นที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้แมลงหรือสัตว์อาศัยนั้นอ่อนแอ และตายในที่สุด ตัวเบียนจะสามารถเข้าทำลายและเจริญเติบโตได้ในทุกระยะของแมลงและสัตว์อาศัย ตัวเบียนเฉพาะตัวเมียเท่านั้นที่จะทำลายแมลงหรือสัตว์อาศัยโดยการใช้อวัยวะวางไข่ (ovipositor) ของมันวางไข่บนตัวหรือแทงเข้าไปวางไข่ในตัวแมลงหรือสัตว์อาศัย

3. เชื้อโรค (pathogens) คือ จุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่และเจริญเติบโตบนแมลงหรือสัตว์อาศัย ทำให้แมลงหรือสัตว์อาศัยนั้นเป็นโรคและตายในที่สุด โดยทั่วไปเกษตรกรมักใช้สารเคมีหรือนำจุลินทรีย์เพียงชนิดใดชนิดหนึ่งไปใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืช เพราะสะดวกกว่าการใช้จุลินทรีย์หลายๆ ชนิด เนื่องจากจุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิต จึงต้องมีการศึกษาวิธีการใช้ที่ถูกต้อง และเลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการพ่นให้เหมาะสม ไม่สามารถทำการฉีดพ่นได้ตลอดเวลา จึงทำให้เกษตรกรหันไปใช้สารเคมีมากกว่าการใช้จุลินทรีย์ แต่เนื่องจากพิษภัยของสารเคมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้มีการนำจุลินทรีย์มาใช้มากขึ้นทั้งในคำแนะนำไปผสมผสานใช้กับวิธีอื่นๆ หรือร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ

จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรค ได้แก่ เชื้อไวรัส เชื้อรา ไส้เดือนฝอย โปรโตซัว และเชื้อแบคทีเรีย ในธรรมชาติศัตรูพืช จะถูกจุลินทรีย์ต่างๆ ทำลายอยู่เสมอ จุลินทรีย์จึงเป็นศัตรูธรรมชาติที่สำคัญในการควบคุมประชากรของศัตรูพืช เพราะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ เป็นหนทางหนึ่งที่จะลดภาวะมลพิษในสิ่งแวดล้อม จุลินทรีย์ที่สำคัญได้แก่

เชื้อไวรัสควบคุมศัตรูพืช การนำเชื้อไวรัสโรคแมลงมาใช้ควบคุมแมลงศัตรูพืชกำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยทั่วไปจะพบการระบาดของเชื้อไวรัสของแมลงในสภาพธรรมชาติอยู่เสมอ ในแหล่งที่มีการระบาดของศัตรูพืชอย่างรุนแรง การระบาดของเชื้อไวรัสมักจะทำให้จำนวนของประชากรของศัตรูพืชลดลง เชื้อไวรัสเป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กมาก ประกอบด้วยชิ้นส่วนพันธุกรรมเป็นแกนกลางซึ่งอาจมีหรือไม่มีโปรตีนหุ้ม เชื้อไวรัสไม่อาจขยายพันธุ์หรืออยู่รอดนอกเนื้อเยื่อหรือสิ่งมีชีวิตที่เป็นแหล่งอาศัย เชื้อไวรัสหลายชนิดถูกพบในแมลงอาศัยหลายชนิด เชื้อไวรัสที่นำมาใช้ควบคุมแมลงศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ เชื้อไวรัสชนิด Nuclear Polyhedrosis Virus หรือที่เรียกย่อว่า NPV เป็นไวรัสที่มีความเฉพาะเจาะจงสูงมากทำลายเฉพาะแมลงเป้าหมาย เช่น เชื้อไวรัส NPV ของหนอนกระทู้หอม ก็จะทำลายเฉพาะหนอนกระทู้หอม ข้อดีของเชื้อไวรัส NPV คือ สามารถเพิ่มจำนวนแมลงที่มันทำลายได้เป็นจำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว และที่สำคัญ ไวรัส NPV สามารถสร้างผลึกโปรตีนห่อหุ้มอนุภาคเชื้อไวรัสเอาไว้ ทำให้อยู่คงทนในสภาพแวดล้อมตัวแมลงได้ดี

เชื้อราควบคุมศัตรูพืช เนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคกับแมลงแตกต่างกันไปจากเชื้อโรคอื่นๆ โดยไวรัส และแบคทีเรีย จะทำให้เกิดโรคโดยการกิน แต่เชื้อราส่วนใหญ่พบว่าแมลงมีการติดเชื้อเข้าไปทางผิวหนังมากที่สุด โดยจะเข้าทำลายส่วนต่างๆ ของแมลงจะย่อยและดูดกินสารอาหารในตัวแมลง หรือปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยหรือขับสารพิษออกมาเพื่อทำลายแมลงอาศัย (Butt, 2002) ส่วนการเข้าทำลายผ่านทางระบบหายใจและทางเดินอาหารพบน้อยมากเพียงแค่ 2-3 ชนิด โดยจะมีวิธีการเข้าทำลายที่แตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อรา และสภาพแวดล้อมความเป็นอยู่ของแมลง อีกทั้งเชื้อราสามารถผลิตได้เป็นจำนวนมากในอาหารเห็ด การใช้เชื้อราในการควบคุมแมลงนี้ได้มีการใช้ทดลองกันมานานแล้ว ส่วนใหญ่ใช้วิธี introduction และ colonization คือ การนำเชื้อรามาปล่อยในพื้นที่ที่มีประชากรแมลงอาศัย หรือการนำมาปล่อยเพื่อเพิ่มระดับเชื้อราซึ่งควบคุมแมลงอยู่แล้วแต่อยู่ในระดับต่ำ (มาลินี, 2536)

มีเชื้อรามากกว่า 400 ชนิดที่เป็นเชื้อโรคของแมลง นำมาใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชและวัชพืชได้ นอกจากใช้เชื้อราควบคุมแมลงและวัชพืชแล้ว ยังมีการนำเชื้อรามาใช้ควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชอีกหลายชนิด แต่ที่มีผลผลิตเป็นการค้าและได้รับความนิยมมากที่สุด คือ เชื้อราไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma harzianum*) เชื้อราชนิดนี้เป็นเชื้อราที่พบได้ทั่วไปในดินและเศษซากอินทรีย์วัตถุตามธรรมชาติ เชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคนี้ สามารถเข้าสู่ร่างกายของแมลงได้ โดยแทงทะลุผ่านเข้าไปทางผิวหนังและไปเจริญเติบโตภายในตัวแมลงโดยจะสร้างสารพิษ (Toxin) ทำลายเนื้อเยื่อและระบบต่างๆ ทำให้แมลงตายได้ การเกิดโรคราของแมลงจะเกิดได้ดีและรวดเร็ว เมื่อแมลงอ่อนแอและได้ถูกสัมผัสโดยตรงกับเชื้อราที่มีความรุนแรงในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของเชื้อรานั้นๆ เชื้อราควบคุมแมลงบางชนิด เช่น กลุ่ม Mastigomycotina, Zygomycotina แมลงอาศัยจะตายภายหลังที่ไม่ซีเลียมเจริญเติบโตทั่วตัวแมลง ทำให้แมลงขาดอากาศหรืออดอาหาร ในกลุ่มอื่น เช่น Ascomycotina และ Deuteromycotina แมลงตายเนื่องจากสารพิษที่เชื้อราปล่อยออกมาในช่วงเริ่มต้นของการเข้าทำลาย จากนั้นไมซีเลียมจะสร้างเส้นใยบนซากแมลง (Saprophytically) ในขณะที่เส้นใยของเชื้อราเจริญเติบโตจะดูดน้ำและสารอาหารจากแมลงอาศัย ทำให้ซากแมลงแห้ง เชื้อราควบคุมแมลงส่วนใหญ่เส้นใยจะออกมาจากตัวแมลงอาศัยหลังจากแมลงตายแล้ว ปกติแมลงจะเกาะติดกับต้นพืชหรือถูกทำให้ยึดติดโดยขบวนการเกิดโรค จากนั้นไมซีเลียมที่อยู่ภายนอกจะ

สร้างสปอร์ และสปอร์จะค่อยๆ ถูกปลดปล่อยหรือฟุ้งกระจายอย่างรวดเร็วเข้าสู่วงจรการเข้าทำลายต่อไป

ไส้เดือนฝอยควบคุมศัตรูพืช ไส้เดือนฝอยเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กรูปร่างคล้ายเส้นด้าย มีผิวหนังหยาบ อาศัยอยู่ในน้ำและในดิน หลายชนิดทำลายพืชและเป็นปัญหาที่ร้ายแรงในหลายพืช นอกจากนั้นหลายชนิดเป็นพยาธิของคนและสัตว์ และทำให้เกิดโรคร้ายแรง เช่น โรคริเวอร์บไลนด์เนส (river blindness) ในแอฟริกาตะวันตก ไส้เดือนฝอยหลายชนิดเป็นตัวเบียนของแมลง มีความสัมพันธ์หลายแบบระหว่างไส้เดือนฝอยกับแมลง แต่ในแง่ของการควบคุมโดยชีววิธี มีไส้เดือนฝอยที่มีชีวิตหากินอิสระอยู่ 2 กลุ่ม ที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการควบคุมแมลงศัตรูพืช คือ สไตน์เนอร์นีมา (steinernema) และ เฮเทอโรราบดิส (Heterorhabditis) ชนิดที่มีจำหน่ายอย่างเป็นทางการค้าและใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ *Steinernema carpocapsae* เพราะสามารถเข้าทำลายแมลงศัตรูพืชได้หลายชนิด โดยไส้เดือนฝอยจะจับตายแบคทีเรียชนิดหนึ่งซึ่งเป็นพิษต่อแมลงออกมาให้แมลงตายภายใน 24-48 ชั่วโมง แม้ว่าไส้เดือนฝอยจะมีความหลากหลาย แต่วจรชีวิตคล้ายคลึงกัน คือ หลังจากระยะไข่ จะเป็นระยะตัวอ่อน 4 ระยะ หนึ่งระยะหรือมากกว่าหนึ่งระยะจะอาศัยอยู่ภายนอกหืออาศัย เรียกว่า ระยะมีชีวิตอิสระ (free-living stage) ซึ่งระยะนี้ไส้เดือนฝอยจะเสาะหาเหยื่ออาศัยเรียกว่า ระยะเข้าทำลาย (infective stage) ไส้เดือนฝอยเจริญเติบโตอยู่ภายในเหยื่ออาศัยหลายระยะ ไส้เดือนฝอยบางชนิดจะออกจากแมลงอาศัยและเป็นตัวเต็มวัยในดิน ในขณะที่บางชนิดเป็นตัวเต็มวัยและขยายพันธุ์ในตัวเหยื่อและรุ่นลูกจะแพร่กระจายออกจากตัวเหยื่อ

เชื้อโปรโตซัวควบคุมศัตรูพืช โปรโตซัว (Protozoa) เป็นเชื้อโรคอีกชนิดหนึ่งที่เข้าทำลายแมลง โปรโตซัวเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีความหลากหลาย โรคที่เกิดจากโปรโตซัว ปกติเพียงทำให้ศัตรูพืชอ่อนแอมากกว่าที่จะฆ่าศัตรูพืช ส่งผลให้แมลงผลิตไข่น้อยลง แมลงจะได้รับเชื้อโดยการกินสปอร์ของโปรโตซัวเข้าไปหลังจากนั้นสปอร์จะงอกและเจาะทะลุผ่านกระเพาะแมลง แต่ระยะที่สารเชื้อออกฤทธิ์ทำลายแมลงนั้นใช้เวลานานถึง 2-4 อาทิตย์ สปอร์มีลักษณะเป็น โพลาร์แคปซูล (Polar capsule) ซึ่งภายหลังจากการย่อยจะงอกและเจาะผ่านเซลล์ผนังกระเพาะ เซลล์กระเพาะหรือไขมันจะเป็นจุดที่มีการติดเชื้อและสร้างสปอร์ ในแง่ของการควบคุมโดยชีววิธี โปรโตซัวกลุ่มที่

สำคัญอยู่ในชั้น Microsporidea ซึ่งเป็นกลุ่มที่เฉพาะเจาะจงต่อพวกอาร์โธพอด โปรโตซัวในกลุ่มนี้ไม่ก่อให้เกิดอาการโรคที่รุนแรงแต่จะยับยั้งการเจริญเติบโต การขยายพันธุ์ของเชื้อ โปรโตซัว Nosema และ Vairimorpha ซึ่งเป็นโปรโตซัวสกุลที่มีหลายชนิดที่มีความสามารถในการควบคุมโดยชีววิธี เช่น *Nosema locustae* เข้าทำลายตั๊กแตนหลายชนิด ในขณะที่ *Vairimorpha necatrix* เป็นเชื้อโรคที่มีฤทธิ์กว้าง เข้าทำลายแมลงในอันดับ Lepidoptera

เชื้อแบคทีเรียควบคุมศัตรูพืช แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไปในดินและพืช มีทั้งชนิดที่เป็นประโยชน์และชนิดที่ทำให้เกิดโทษ แบคทีเรียที่นำมาใช้ควบคุมศัตรูพืชนั้น ส่วนใหญ่อยู่ในสกุล (Bacillus) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ก่อให้เกิดพยาธิต่อมนุษย์และสัตว์ แบคทีเรียสกุลนี้ที่นำมาใช้ควบคุมศัตรูพืชส่วนใหญ่เป็น *Bacillus thuringiensis* หรือ BT ซึ่งข้อดีก็คือ เป็นแบคทีเรียที่มีความเฉพาะเจาะจงสูงต่อแมลงเป้าหมาย ปลอดภัยต่อแมลงศัตรูธรรมชาติและแมลงที่เป็นประโยชน์อื่นๆ

การใช้เชื้อแบคทีเรียในการควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี

ในปัจจุบันจำนวนของประชากรมนุษย์ยังคงขยายตัวอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลการสำรวจขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ พบว่าในโลกที่เราอาศัยอยู่มีประชากรประมาณ 800 ล้านคนที่ยังอดอยากมีอาหารบริโภคไม่เพียงพอ และมีประชากรอีกประมาณ 2,000 ล้านคนมีอาหารกินแต่การบริโภคยังไม่ถูกต้องและไม่ครบตามหมวดหมู่ ความหนาแน่นของประชากรโลกยังคงขยายตัวอย่างต่อเนื่อง จนเกิน 7,000 ล้านคนในที่สุด ฉะนั้นการผลิตอาหารให้เพียงพอต่อการบริโภคจึงเป็นเรื่องสำคัญยิ่ง โดยปัจจัยที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้อง โดยตรงกับการผลิตอาหารให้เพียงพอต่อการบริโภคของมนุษย์ก็คือศัตรูพืช กล่าวคือความเสียหายของผลผลิตทางการเกษตรหรือพืชอาหารที่เกิดจากการทำลายของศัตรูพืชชนิดต่างๆ เช่น โรค แมลง วัชพืช มีการประเมินรวมกันแล้วพบว่าในแต่ละปีมีความเสียหายเกิดขึ้นประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิต โดยแยกเป็นความเสียหายจากโรคพืชประมาณ 11.9 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายที่เกิดจากแมลงศัตรูพืชประมาณ 12.3 เปอร์เซ็นต์ และความเสียหายที่เกิดจากวัชพืชประมาณ 9.8 เปอร์เซ็นต์ (FAO,

1982) นอกจากนี้ผลผลิตทางการเกษตรในระยะเวลาช่วงหลังการเก็บเกี่ยวยังมีความเสียหายอีกประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าการสูญเสียผลผลิตกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ไปกับศัตรูพืช

ความสำเร็จส่วนใหญ่ในการควบคุมศัตรูพืชจะเกิดจากการใช้สารเคมีสังเคราะห์ แต่ในระยะเวลาต่อมาจะพบว่าประสิทธิภาพของสารเคมีในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชจะลดลง จนไม่สามารถกำจัดศัตรูพืชได้อีก เนื่องจากศัตรูพืชเกิดความต้านทานต่อสารเคมีนั่นเอง (pesticide resistance) โดยมีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชบางชนิดได้ถูกห้ามใช้ เนื่องจากมีผลตกค้างในสภาพแวดล้อมยาวนาน กระทบต่อห่วงโซ่อาหาร (food chain) และระบบนิเวศ (ecosystem) เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ (biodiversity loss) หรือกระทั่งการสูญพันธุ์ (extinction) สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชยังมีพิษตกค้างในอาหารมนุษย์และสัตว์ มีผลโดยตรงและผลข้างเคียงต่อสุขภาพ ตลอดจนคุณภาพของสินค้ากระทบต่อการค้าขายและการส่งออก สาเหตุเนื่องจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างผิดวิธี ขาดความรู้ในการจัดการ จึงทำให้เกิดแนวคิดของการจัดการศัตรูพืชวิธีอื่นนอกจากการใช้สารเคมีขึ้นมา เช่น การเกษตรกรรม การใช้พันธุ์ต้านทาน การใช้กับดัก การจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน ตลอดจนการใช้การควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีเช่น ตัวห้ำ ตัวเบียน และเชื้อจุลินทรีย์กำจัดแมลง

สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชเป็นพื้นฐานในการควบคุมศัตรูพืชต่างๆ แต่การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยไม่คำนึงผลกระทบต่างๆ จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศ การควบคุมศัตรูพืชด้วยการฆ่ามันจะทำให้แค่ชั่วคราว เมื่อเวลาผ่านไปประชากรศัตรูพืชก็จะกลับมาระบาดใหม่อีกเป็นจำนวนมาก ซ้ำยังเกิดปัญหาการดื้อยาของศัตรูพืชและการประยุกต์ใช้ซ้ำของผลิตภัณฑ์เคมี การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชทั่วโลกได้เพิ่มขึ้นเป็น 12 เท่าตั้งแตปี 1950 และราคาที่เกษตรกรต้องจ่ายในสหรัฐอเมริกาสำหรับสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้เพิ่มขึ้นเป็น 6 เท่าระหว่างปี 1951-1976 สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้พิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพในหลายๆกรณี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการควบคุมวัชพืชและโรคพืช เช่นการควบคุมแมลงศัตรูฝ้ายในหลายๆ ท้องที่ แต่ปัญหามางอย่างที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช รวมถึงความล้มเหลวในการ

ควบคุมศัตรูพืช การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และปัญหาสุขภาพของมนุษย์ ความกังวลเกี่ยวกับปัญหาเหล่านี้ ทำให้ในบางประเทศลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชลง

ขอบเขตของการควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี เป็นกรรมวิธีที่ใช้แมลง จุลินทรีย์ และสัตว์อื่นๆ ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยอาศัยสถานะของศัตรูธรรมชาติในระบบนิเวศ เพื่อใช้ในการควบคุมศัตรูพืช

การควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีและการจัดการศัตรูพืชอย่างผสมผสาน

การควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีเป็นการควบคุมกันเองของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติอย่างอิสระ ปราศจากการควบคุมใดๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบนิเวศที่พบในป่าไม้ และพื้นที่รกร้างต่างๆ ที่มี ความสมดุลของระบบนิเวศ เช่น วัชพืชในน้ำ วัชพืชในทุ่งหญ้า ศัตรูดอกไม้ป่า และแมลงในป่า แต่เมื่อมีการปลูกพืชเชิงเดี่ยวเป็นพื้นที่กว้าง จึงส่งผลให้สภาพแวดล้อมมีความเหมาะสมต่อการแพร่ ขยายพันธุ์ของศัตรูพืชมากขึ้น กล่าวคือมีแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยของศัตรูพืชเพิ่มขึ้น ในขณะที่ การใช้สารเคมีและการดัดแปลงสภาพแวดล้อมเพื่อการเพาะปลูก จะทำให้ศัตรูธรรมชาติถูกทำลาย ลงเป็นอย่างมาก และพื้นที่ปริมาณตามจำนวนของศัตรูพืชไม่ทัน แต่อย่างไรก็ตามศัตรูพืชหลายๆชนิด ยังคงต้องการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัด เพื่อคุณภาพและปริมาณของผลิตผล ในกรณีดังกล่าว จึงเกิดความขัดแย้งระหว่างการควบคุมโดยชีววิธีและการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช จึงเกิด แนวคิดใหม่ขึ้นมาคือการจัดการศัตรูพืชอย่างผสมผสาน เป็นการเลือก การรวม และการนำวิธีการ ต่างๆในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชมาบูรณาการร่วมกัน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis*

แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* Berliner จัดอยู่ในวงศ์ Bacillaceae (Jensen *et.al*, 2003; Lee *et.al*, 2006) เป็นจุลินทรีย์แกรมบวก (positive gram) มีการสร้างสปอร์และจัดอยู่ในกลุ่ม

facultative aerobic bacteria คือ สามารถเจริญได้ในสภาพที่มีอากาศเพียงเล็กน้อย แต่ขณะสร้างสปอร์จะต้องการสภาพที่มีอากาศอย่างเต็มที่ (จริยา และนฤมล, 2553)

แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* หรือเรียกย่อว่า บีที มีรูปร่างเป็นท่อนตรง (rod-shape) ขนาด $1-1.2 \times 3.5$ ไมครอน (Boucias and Pendland, 1998) เคลื่อนที่ด้วยแฟลกเจลลา (flagella) โคโลนีมีลักษณะสีขาวขุ่น ผิวไม่มัน ขอบไม่เรียบ ขนาดค่อนข้างใหญ่ 5-10 มิลลิเมตร โดยจะสร้างสปอร์ภายในเซลล์ที่เรียกว่า เอนโดสปอร์ (endospore) ขนาด 0.8×1.7 ไมครอน อยู่ที่อยู่ปลายทางด้านหนึ่งของเซลล์ และสร้างผลึกโปรตีนที่เรียกว่า Parasporal body, Crytal protein, Cry proteins หรือ delta-endotoxin ขนาด 0.5×1 ไมครอน อยู่ที่อยู่ปลายอีกด้านหนึ่งไปพร้อมๆกัน (Burgess and Jones, 1998) ผลึกโปรตีนไม่ทนต่อความร้อน ไม่ละลายน้ำ และ organic solvent อื่นๆแต่จะละลายในด่าง ทนอยู่ในน้ำหรือสภาพแห้งแล้งได้นาน รูปแบบของผลึกโปรตีนมีหลายประเภท เช่น รูปปิรามิดคู่ฐานชนกัน (bipyramid) รูปทรงกลม (spherical) รูปลูกบาศก์ (cubical) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับแต่ละสายพันธุ์ (จริยา, 2553)

การสร้างผลึกโปรตีนนี้เป็นลักษณะประจำของ *B. thuringiensis* ทุกสายพันธุ์ เมื่อเลี้ยง *B. thuringiensis* ในอาหารเพาะเลี้ยง เชื้อจะเจริญเติบโตในระยะ vegetative grow อย่างรวดเร็ว เมื่อสิ้นสุดการเติบโตของแบคทีเรีย จะเริ่มสร้างสปอร์ภายในเซลล์ ในขณะเดียวกันปลายอีกข้างหนึ่งของเซลล์ก็จะสร้างผลึกโปรตีนและสร้างเสร็จสมบูรณ์พร้อมๆกับการสร้างสปอร์ การสร้างผลึกโปรตีนขนาดใหญ่นี้เรียกว่า parasporal body ซึ่งไม่ใช่การตกผลึกของโปรตีนธรรมดาที่มีอยู่ภายในเซลล์แบคทีเรีย ในระยะ vegetative growth แต่เป็นโปรตีนหน่วยย่อยที่แบคทีเรียสร้างขึ้นโดยเฉพาะเมื่อมารวมกันเป็นผลึกโปรตีนและจะสร้างเฉพาะตอนที่สร้างสปอร์ หากใส่สารยับยั้งการสร้างสปอร์ก็จะไม่สร้างผลึกโปรตีนในเซลล์เช่นกัน

บีทีมีการกระจายตัวอย่างกว้างขวางพบได้ทั่วไปในอากาศ ดิน น้ำ ฯลฯ ในหลายพื้นที่ ตามที่รายงานของ Martin and Traver (1989) ได้แยกบีทีจากตัวอย่างดินในทวีปแอฟริกา เอเชีย ยุโรป อเมริกาใต้และเกาะใกล้เคียงพบบีทีทั้งหมด 27,000 ไอโซเลท จากตัวอย่างดิน 1,000 ตัวอย่าง

ในประเทศไทยได้มีการศึกษาถึงการกระจายตัวตามธรรมชาติของบีที รวบรวมได้ทั้งหมด 299 ไอโซเลท จำแนกได้ 14 สายพันธุ์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2544 จริยาและคณะได้แยกบีทีจากตัวอย่างดิน และเศษวัสดุพืชที่รวบรวมจากเขตป่าสมบูรณ์ในอุทยานแห่งชาติทั่วประเทศทั้งหมด 11 แห่ง รวมไปถึงเขตป่า ถ้ำ น้ำตก และดินจากหมู่บ้านเลี้ยงไหมทั้งหมดได้ 260 ไอโซเลท จำแนกได้สายพันธุ์ 6 สายพันธุ์ ได้เพิ่มอีก 3 สายพันธุ์รวมเป็นสายพันธุ์ที่จำแนกได้ในประเทศไทย 17 สายพันธุ์ได้แก่

kurstaki, alesti, kenyae, galleriae, canadensis, entomocidus, aizawai, kumamotoensis, tochiensis, toworti, neoleonensis, mexicanensis, leesis, chanpasis, sotto, colmeri และ thailandensis (จริยา, 2553)

สายพันธุ์ *B. thuringiensis* JC 590 มีคุณสมบัติเด่นตรงที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าหนอนใยผักที่เป็นแมลงศัตรูสำคัญต่อพืชผักตระกูลกะหล่ำ ผักคะน้า และผักกาดชนิดต่างๆ เทียบได้กับสายพันธุ์การค้า (จริยาและคณะ, 2544) ซึ่งสายพันธุ์บีที JC 590 ได้มีผลงานวิจัย คือ คุณลักษณะของยีน Cry 1 ที่ควบคุมการสร้างผลึกโปรตีนจาก *B. thuringiensis* JC 590 โดย *B. thuringiensis* JC 590 มียีน cry จำนวน 6 ชนิดและยีนแต่ละชนิดมีอย่างน้อย 2 ชุดกระจายอยู่บนโครโมโซมดีเอ็นเอ และผลผลิตของ *B. thuringiensis* JC 590 ซึ่งน่าจะส่งผลให้แบคทีเรียสายพันธุ์นี้มีการสร้างสารพิษ (toxicity) มากกว่าสายพันธุ์อื่นและการมียีนบนโครโมโซมดีเอ็นเอทำให้ยีนมีความเสถียรมากขึ้น (เขวาลักษณ์, 2548) และ มีผลให้การนำไปใช้ควบคุมแมลงศัตรูพืชในแปลงปลูกของเกษตรกรประสบความสำเร็จ

วงจรชีวิตของ *Bacillus thuringiensis*

เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม สปอร์จะงอกเซลล์ที่มีรูปร่างเป็นแท่งภายในเวลา 12 ชั่วโมง มีการแบ่งตัว (binary fission) ได้เซลล์รูปแท่งต่อกันเป็นสายคล้ายลูกโซ่ หลังจากนั้นอีก 24-48 ชั่วโมงจะสร้างสปอร์และผลึกโปรตีน (crystal protein) จากนั้นผนังเซลล์ซึ่งมีลักษณะบางจะสลายตัวไป สปอร์และผลึกจะลอยตัวเป็นอิสระอยู่ในอาหารหรือวัสดุที่เชื้ออาศัยอยู่ เมื่อแมลงมากิน สปอร์และผลึกโปรตีน สภาพความเป็นด่างในกระเพาะอาหารส่วนกลางของแมลงจะย่อยสลายผลึก

โปรตีนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก และมีน้ำย่อยโปรตีน (protease) จะช่วยย่อย protoxin ได้สารพิษที่เข้าทำลายเซลล์เยื่อบุกระเพาะอาหารของแมลงให้บวมและแตกออก หลังจากแมลงตาย ซากของแมลงจะแตกออก เชื้อบีทีจะกระจายตัวไปในธรรมชาติและขยายพันธุ์แบบนีต่อไปเรื่อยๆ (จริยา, 2553) ส่วนความเป็นพิษของเชื้อบีทีขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ สภาพการเพาะเลี้ยง และอัตราส่วนระหว่างสปอร์และผลึกโปรตีนที่แมลงได้รับ (จริยา, 2553)

กลไกการเข้าทำลายของ *Bacillus thuringiensis*

B. thuringiensis ทำให้เกิดโรคกับแมลงหลายชนิด โดยเฉพาะกับหนอนผีเสื้อซึ่งพบว่ามีหนอนผีเสื้อประมาณ 150 ชนิด ที่อ่อนแอต่อ *B. thuringiensis* สายพันธุ์ต่างๆ ที่พบ เนื่องจากมีผลต่อแมลงหลายชนิดอาการและการตอบสนองของแมลงต่อเชื้อจึงมีหลายแบบ ความอ่อนแอของแมลงต่อเชื้อ *B. thuringiensis* นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของแมลง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วยเช่น อายุของแมลง ความแข็งแรงของแมลง และสภาพแวดล้อมต่างๆ ส่วนความเป็นพิษของเชื้อแบคทีเรียนั้นขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ของเชื้อ อายุของเชื้อ สภาพการเพาะเลี้ยงเชื้อ และอัตราส่วนระหว่างสปอร์กับผลึกโปรตีนที่แมลงรับเข้าไป แมลงจะเป็นโรค โดยการกินเชื้อเข้าไป (ทิพย์วดี, 2535) *B.*

thuringiensis มีกลไกทำให้เกิดโรค 2 ประการหลักคือ

1. ทำให้เกิดอัมพาตทั่วตัว (general paralysis) เนื่องจากค่า pH ในเลือดเพิ่มขึ้น (Heimpel and Angus, 1959) มีค่าโพแทสเซียมไอออนในเลือดสูงขึ้น แมลงมีอาการอาเจียนและท้องร่วง จากนั้นอัมพาตทั่วตัว หัวใจหยุดเต้นและตาย (Nishiitsutsuji-Uwo and Endo, 1980)
2. ทำให้เกิดอัมพาตที่กระเพาะอาหาร กระเพาะอาหารจะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว โดยค่า pH ในเลือดไม่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่เป็นอัมพาตทั่วตัว (Heimple and Angus, 1959) แมลงหยุดกินอาหาร อาเจียน ท้องเสีย และตายภายใน 24-48 ชั่วโมง (Burges and Hussey, 1971)

สภาพแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อ *Bacillus thuringiensis*

สภาพแวดล้อมในไร่ทั้งแสงแดดและฝนจะทำลาย spore ลด toxic protein ทำให้ลดความสามารถในการก่อให้เกิดโรคกับแมลงได้มีคำแนะนำ การใช้แบคทีเรียชนิดน้ำอัตรา 60-100 มล.ต่อน้ำ 20 ลิตร หรือชนิดผงอัตรา 40-80 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (กองกัญและสัตววิทยา, 2541)

แสงแดดจะทำให้เชื้อบีที อยู่ในสภาพไร่ได้นาน 8 ชั่วโมงถึง 3 วัน (McGuire *et.al*, 1996) นิดฝนในช่วงตอนเย็น ตั้งแต่เวลาบ่าย 3 โมง เป็นต้นไป หรือช่วงแสงแดดอ่อนๆ มีความชื้นในแปลงสูงควรพ่นบีที 3-5 วัน ติดต่อกัน 2-3 ครั้ง ในช่วงที่หนอนเกิดการระบาด

ปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อความรุนแรงของการเป็นพิษของ *Bacillus thuringiensis*

จำนวนยีน (genes) ที่ทำให้เกิดสารพิษในแต่ละสายพันธุ์ ความแตกต่างของคุณลักษณะระหว่างยีนที่ทำให้เกิดสารพิษและโปรตีนของสารพิษ ปริมาณของยีนชนิดต่างๆ ที่แสดงออกในแต่ละระดับคุณสมบัติของผลึกสารพิษที่แต่ละสายพันธุ์สร้างขึ้นมา (จริยา และนฤมล, 2553)

ข้อดีของการใช้เชื้อ *Bacillus thuringiensis*

เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความเฉพาะเจาะจงต่อแมลงเป้าหมายสูง ในจำพวกหนอนแมลงศัตรูพืชต่างๆ จึงสามารถนำไปใช้กับแมลงที่ต้องการกำจัดเท่านั้น โดยไม่มีผลกระทบต่อแมลงชนิดอื่นๆที่ไม่ต้องการกำจัด เช่น แมลงศัตรูธรรมชาติ ซึ่งได้แก่ แมลงห้ำ แมลงเบียน แมลงผสมเกสร ตลอดจนแมลงที่มีประโยชน์อื่นๆ ได้มีการทดลองแล้วว่าปลอดภัยต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช ดังนั้นการใช้บีทีจึงปลอดภัยต่อเกษตรกรผู้ใช้และบริโภคพืชผล ไม่มีฤทธิ์ตกค้างเมื่อนำมาใช้บนพืชผัก หลังจากเก็บผลิตผลแล้วสามารถนำมาล้างทำความสะอาดแล้วบริโภคได้ทันที จัดเป็นจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ สามารถนำมาใช้ควบคุมแมลงศัตรูพืชได้ มีการผลิตจำหน่ายอย่างกว้างขวาง สามารถนำมาใช้ทดแทนสารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้มากมาย ได้มี

การศึกษาและพัฒนาสายพันธุ์หลากหลาย มีความสามารถในการควบคุมแมลงศัตรูพืชอย่างกว้างขวาง โอกาสที่แมลงสร้างความต้านทานต่อบีทีน้อยกว่าสารเคมีกำจัดแมลง สามารถนำไปใช้ร่วมกับวิธีป้องกันกำจัดวิธีการอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี สามารถนำไปใช้ทดแทนการใช้สารเคมีกำจัดแมลงในแหล่งที่มีปัญหาแมลงศัตรูพืชคือต่อสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช (จริยา และ นฤมล, 2553)

ข้อจำกัดของการใช้เชื้อ *Bacillus thuringiensis*

เนื่องจากบีทีมีความจำเพาะเจาะจงต่อแมลงศัตรูพืชจำพวกหนอนสูง จึงไม่สามารถใช้กับแมลงศัตรูพืชชนิดอื่นที่พบว่ามีกระบาดในแปลงหลายชนิด จึงจำเป็นต้องศึกษาก่อนว่าบีทีสามารถใช้ควบคุมแมลงศัตรูพืชชนิดใดบ้างก่อนที่จะนำไปใช้ ออกฤทธิ์ช้า ใช้เวลา 1-2 วัน หนอนจึงจะตาย เกษตรกรที่คุ้นเคยกับการใช้สารเคมีกำจัดแมลงซึ่งออกฤทธิ์เร็ว จึงเป็นเหตุให้เกษตรกรไม่นิยมใช้เชื้อบีที อีกทั้งเชื้อบีทีเป็นจุลชีพ มีขนาดเล็ก มักถูกทำลายโดยรังสีอุลตราไวโอเลตจากแสงอาทิตย์ เมื่อพ่นไปบนพืช บีทีจึงอยู่บนต้นพืชได้ไม่นาน ดังนั้นจึงควรพ่นบีทีในช่วงหลังบ่าย 3 โมงไปแล้วเพื่อหลีกเลี่ยงแสงอุลตราไวโอเลต จะช่วยให้บีทีคงอยู่บนใบพืชได้นานขึ้น โดยทั่วไปเชื้อบีทีจะมีราคาสูงกว่าสารเคมีกำจัดแมลง เกษตรกรมักนิยมใช้สารเคมีที่มีราคาถูกมาก โดยไม่นึกถึงความปลอดภัยต่อตัวเกษตรกรเอง และผลกระทบต่อผู้บริโภคในเรื่องพิษตกค้าง ไม่สามารถใช้บีทีร่วมกับสารฆ่าแมลง เนื่องจากสารเคมีกำจัดแมลงบางชนิดทำให้บีทีเสื่อมคุณภาพ (จริยา และ นฤมล, 2553)

Plant Growth Promoting Rhizobacteria

ในช่วงปี ค.ศ. 1888–1904 ได้มีการค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างแบคทีเรียในดินกับระบบรากของพืช (rhizosphere) โดย Hellriegel and Wilfarth (1888) ซึ่งพบว่าแบคทีเรียมีกิจกรรมในบริเวณ rhizosphere ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างมาก รวมไปถึงการสร้างปมในรากของพืชตระกูลถั่วของแบคทีเรียในสกุล *Rhizobium* ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen

Fixation) จากอากาศ ทำให้พืชนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น จึงอาจกล่าวได้ว่าการค้นพบ *Rhizobium* เป็นการเริ่มต้นของงานวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับปุ๋ยชีวภาพและ PGPR อย่างแท้จริง

Plant Growth Promoting Rhizobacteria หรือ PGPR เป็นกลุ่มของแบคทีเรียหลากหลาย species และหลากหลายสายพันธุ์ ซึ่งกลุ่มของ PGPR ส่วนใหญ่จะอยู่ในสกุล *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Gluconacetobacter* และ *Serratia* เป็นต้น

ประเภทของ Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

1. ประเภทที่มีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันกับต้นพืช หรือที่เรียกว่าความสัมพันธ์แบบ Symbiosis คือแบคทีเรียประเภทที่สามารถเข้าสู่รากพืชแล้วมีกลไกกระตุ้นให้เกิดกระบวนการต่างๆ ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของพืชได้
2. ประเภทที่อาศัยแบบอิสระในดิน (Free-living form) มักจะพบอยู่ใกล้ๆ บริเวณรากพืช โดยเป็นแบคทีเรียจำพวก PGPR ที่จะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ช่วยส่งเสริมให้ผลผลิตของพืชสูงขึ้น

กระบวนการของ Plant Growth Promoting Rhizobacteria ในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช

1. กระบวนการในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง
 - ช่วยย่อยสลายธาตุฟอสฟอรัสในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ได้มากขึ้น
 - ตรึงธาตุไนโตรเจนให้กับพืช
 - ผลิตสาร phytohormones เช่น Auxin, Cytokinin, Gibberelin เป็นต้น
 - ช่วยลดความเข้มข้นของเอทิลีนในพืช

- สามารถผลิตซีเดอร์โฟร์ (Siderophores) ช่วนนำธาตุเหล็กไปให้พืชใช้ประโยชน์ได้
ง่ายขึ้น

2. กระบวนการในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชโดยทางอ้อม

- ช่วยในการควบคุมโรคพืช ทั้งโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราสาเหตุโรคพืช และเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคพืช
 - ผลิตสารปฏิชีวนะ (Antibiotic) ที่ใช้ในการควบคุมโรคพืชได้
 - ผลิตเอนไซม์ที่สามารถย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้
 - ผลิตสาร Antifungal Metabolites
 - จำกัดปริมาณธาตุเหล็กที่เป็นประโยชน์ของเชื้อโรคพืช ทำให้สามารถป้องกันการแพร่พันธุ์ และการขยายจำนวนของเชื้อโรคพืชได้โดยการผลิตซีเดอร์โฟร์ (Siderophores)

ตารางที่ 1 ตัวอย่าง Plant Growth Promoting Rhizobacteria

ชื่อวิทยาศาสตร์ของ Plant Growth Promoting Rhizobacteria ชนิดต่างๆ	
<i>Azorhizobium caulinodans</i>	<i>Citrobacter freundii</i>
<i>Azospirillum amazonense</i>	<i>Curtobacterium flaccumfaciens</i>
<i>Azospirillum halopraeferens</i>	<i>Enterobacter agglomerans</i>
<i>Azospirillum irakense</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>
<i>Azospirillum lipoferum</i>	<i>Erwinia herbicola</i>
<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Flavomanas oryzihabitans</i>
<i>Azotobacter Chroococcum</i>	<i>Hydrogenophaga pseudoflava</i>
<i>Bacillus cereus</i>	<i>Klebsiella planticola</i>
<i>Bacillus coagulans</i>	<i>Kluyvura ascorbata</i>
<i>Bacillus laterosporus</i>	<i>Kluyvera cryocrescens</i>
<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Phyllobacterium rubiacearum</i>
<i>Bacillus macerans</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>Bacillus megaterium</i>	<i>Pseudomonas aureofaciens</i>
<i>Bacillus mycoides</i>	<i>Pseudomonas corrugata</i>
<i>Bacillus pasteurii</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
<i>Bacillus polymyxa</i>	<i>Pseudomonas marginalis</i>
<i>Bacillus pumilus</i>	<i>Pseudomonas putida</i>
<i>Bacillus sphaericus</i>	<i>Pseudomonas rubrilineans</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Rathyibacter rathayi</i>
<i>Burkholderia cepacia</i>	<i>Serratia marcescens</i>
<i>Burkholderia gladioli</i>	<i>Stenotrophomonas sp.</i>
<i>Burkholderia graminis</i>	<i>Streptomyces griseoviridis</i>
<i>Burkholderia vietnamensis</i>	

ตารางที่ 2 ตัวอย่าง Plant Growth Promoting Rhizobacteria ที่ช่วยควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช

PGPR	เชื้อราสาเหตุโรคพืช	ชนิดพืช
<i>Actinoplanes</i> spp.	<i>Pythium ultimum</i>	Table beet
	<i>Rhizoctonia solani</i>	Table beet
<i>Bacillus</i> spp.	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	ข้าวสาลี
<i>Bacillus subtilis</i> GB03	<i>Fusarium oxysporum</i> sp. <i>ciceris</i>	ถั่วเขียว
<i>B. subtilis</i> BACT-D	<i>Pythium aphanidermatum</i>	มะเขือเทศ
<i>Burkholderia cepacia</i> A3R	<i>Fusarium graminearum</i>	ข้าวสาลี
	<i>Fusarium</i> spp.	ข้าวสาลี
<i>Burkholderia cepacia</i> PHQM 100	<i>Phythium</i> spp.	ข้าวโพด
<i>Comamonas acidovorans</i> HF42	<i>Magnaporthe poae</i>	Kentucky bluegrass
<i>Enterobacter</i> sp BF14	<i>Magnaporthe poae</i>	Kentucky bluegrass
<i>Pseudomonas chloroaphis</i> MA342	<i>Drehslera graminea</i>	ข้าวบาเลย์
	<i>D. avenea</i>	ข้าวโอ๊ต
	<i>Ustilago avenea</i>	ข้าวโอ๊ต
	<i>Tilletia caries</i>	ข้าวสาลี
<i>P. chloroaphis</i> PCL 1391	<i>Fusarium oxysporum</i> sp. <i>radicis-lycopersici</i>	มะเขือเทศ
<i>P. fluorescens</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> sp. <i>raphani</i>	หัวผักกาด
<i>P. fluorescens</i> Q8r1-96	<i>Gaeumannomyces graminis</i>	ข้าวสาลี
<i>P. fluorescens</i> VO61	<i>Pythium ultimum</i>	ข้าว
	<i>Rhizoctonia solani</i>	
<i>P. putida</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> sp. <i>raphani</i>	หัวผักกาด
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> C3	<i>Rhizoctonia solani</i>	Tall fescue

การชักนำให้พืชเกิดภูมิต้านทานต่อแมลง

เชื้อจุลินทรีย์ เช่น โพรโตซัว เชื้อรา และเชื้อแบคทีเรียที่ช่วยย่อยสลายเศษซากต่าง ๆ ในดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ขึ้น และพืชที่ปลูกในบริเวณดังกล่าวก็เจริญเติบโตได้ดี (Zimmerman, 1982) แบคทีเรียเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศทั้งในธรรมชาติและระบบเกษตร อาจสามารถนำมาปรับปรุงหรือชักนำ ให้พืชเกิดความแข็งแรงและต้านทานต่อเชื้อสาเหตุโรคพืชได้ (Phiriyaprasath *et al*, 2002)

วิธีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ เพื่อควบคุมโรค-แมลง และกระตุ้นภูมิต้านทานของพืช

1. การคลุกเมล็ด (Seed treatment) เป็นการคลุกด้วยสูตรจุลินทรีย์สูตรน้ำ วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัด เหมาะสำหรับการใช้ควบคุมโรคในระบบราก และลำต้นส่วนใต้ดิน รวมทั้งยังควบคุมโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ และส่งเสริมหรือกระตุ้นเพิ่มพูนความแข็งแรงของต้นกล้าได้ดี
2. การใส่หรือเติมลงในดิน (Soil treatment) เป็นวิธีการที่ช่วยให้เชื้อจุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับประชากรของเชื้อโรคพืชในดินอย่างทั่วถึง และมีปริมาณมากพอที่จะเจริญแข่งขัน หรือผลิตสารยับยั้งเชื้อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ประชากรเชื้อโรคลดลงอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืช แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดเนื่องจากต้องใช้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและแรงงาน การใส่เชื้อจุลินทรีย์ลงดินสามารถปฏิบัติได้หลายรูปแบบ คือ

2.1 การใช้เฉพาะสูตรเชือราดดิน

2.2 การใส่ร่วมกับวัสดุหรือสารพาที่ได้จากธรรมชาติ (Natural substrates)

2.3 การใส่ร่วมกับวัสดุสารพาที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic substrates)

3. การพ่นบนพืช (Aerial spray) เป็นวิธีการพ่นเชื้อจุลินทรีย์ลงบนต้นพืชโดยตรง เพื่อควบคุมโรคที่เกิดกับใบและลำต้นส่วนเหนือดิน ซึ่งมีปัจจัยหลายประการเข้ามาเกี่ยวข้องและส่งผลต่อความสำเร็จของการใช้ เช่น ความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ที่จะเจริญครอบครองบนผิวพืชโดยใช้อาหารและความชื้นบนผิวพืช รวมทั้งการควบคุมโรคสำคัญของถั่วเหลือง และถั่วเหลืองฝักสดที่มีการผลิตเป็นการค้าเพื่อการส่งออก ตลอดจนผักชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นการศึกษาวิจัยของภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Prathuangwong et al, 2005)

4. การใส่ลงบนส่วนขยายพันธุ์และกล้าพืช (Propagating material and transplanting treatment) เป็นวิธีการที่ช่วยให้เชื้อจุลินทรีย์ได้สัมผัสกับส่วนของพืชที่จะใช้ขยายพันธุ์ รวมทั้งกล้าพืชก่อนที่เชื้อโรคจะมีโอกาสเข้าทำลายพืช เป็นวิธีที่ได้ผลดี ประหยัดค่าใช้จ่าย และสะดวกต่อการปฏิบัติ การพ่นหรือการใส่เชื้อจุลินทรีย์หลังจากพืชเจริญอยู่ในระยะต้นกล้า และก่อนที่เชื้อโรคพืชจะเข้าทำลายพืชนั้น ยังสามารถช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืชได้ในลักษณะเกี่ยวกับการปลูกเชื้อไวรัสสายพันธุ์อ่อนแอลงบนต้นกล้าพืช (เช่น มะละกอ) จะช่วยให้ต้นกล้าพืชที่ได้รับการกระตุ้น สามารถต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อไวรัสสายพันธุ์ที่รุนแรงได้ (cross protection) หลักการนี้ก็สามารถประยุกต์ใช้กับเชื้อจุลินทรีย์และโรคพืชอื่นๆ ได้เช่นกัน

แผนการวิจัย

สมมติฐาน

1. เชื้อแบคทีเรียที่นำมาทดสอบมีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงเรือนปลูกทดลอง
2. เชื้อแบคทีเรียที่นำมาทดสอบมีประสิทธิภาพในการสร้างเอนไซม์ proteinase
3. เชื้อแบคทีเรียที่นำมาทดสอบมีประสิทธิภาพในการชักนำให้ต้นข้าวผลิตเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase
4. เชื้อแบคทีเรียที่นำมาทดสอบมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดแมลงในสภาพแปลงปลูกเกษตรกร
5. เชื้อแบคทีเรียที่นำมาทดสอบมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของข้าวได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมแมลงทดสอบ การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากดินนา และการเตรียมเชื้อ เพื่อใช้ในการทดลอง

1.1 การเลี้ยงเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

เตรียมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเพื่อใช้ในการทดสอบ โดยการเพาะเมล็ดข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในถาดเพาะกล้าขนาดประมาณ 15X30 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร เพาะกล้าข้าวให้มีความหนาแน่นพอสมควร จนเมื่อต้นข้าวสูงประมาณ 5-7 เซนติเมตร จึงปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมการข้าวลงในกล้าข้าวที่เตรียมไว้ เติมน้ำในถาดกล้าข้าวอยู่เสมอเพื่อให้มีความชื้นเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในกรณีที่ข้าวในถาดเลี้ยงเริ่มเหี่ยวหรือมีอาการไหม้ (hopper burn) ให้นำถาดเพาะกล้าใหม่มาวางเคียงถาดเดิม เพื่อให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลย้ายมาอาศัยในถาดใหม่ และเมื่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลวางไข่ โดยสังเกตบริเวณกาบใบข้าว ในบริเวณที่วางไข่จะมีรอยขีดเป็นสีน้ำตาล ให้นำถาดเพาะกล้าใหม่มาวางเคียงกับถาดเดิม เพื่อให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่ฟักตัวออกมา ย้ายมาอยู่ในถาดใหม่ เลี้ยงต่อจนได้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลรุ่นที่ 2 ตัวเต็มวัยที่สมบูรณ์แข็งแรง แล้วจึงนำมาทดสอบ

1.2 การแยกเชื้อแบคทีเรีย

ทำการเก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบรากของต้นข้าวที่มีความสมบูรณ์ไม่มีร่องรอยการทำลายของแมลง จากแปลงนาข้าว อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี โดยกำหนดการสุ่มกลุ่มตัวอย่างอย่างเป็นระบบ (Systematic Random Sampling) 10 จุดต่อแปลง เดินเก็บตัวอย่างตามลักษณะตัวอักษร W ในพื้นที่แปลงประมาณ 1 ไร่ นำมาแยกเชื้อแบคทีเรียจากดินด้วยวิธี dilution method โดยชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่นที่ผ่านการนิ่งมาเชื้อแล้ว 90 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าด้วยเครื่องเขย่านานประมาณ 15 นาที เพื่อให้ตัวอย่างดินผสมกับน้ำ จากนั้นนำน้ำที่มีสารแขวนลอยของ

ตัวอย่างดินมาเจือจาง ด้วยวิธี ten fold dilution 6 ครั้ง แล้วดูดสารแขวนลอยของดินที่ความเข้มข้นต่างๆ ในปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร หยดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient agar (NA) แล้วเกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าอาหาร จากนั้นบ่มจานอาหารที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 – 48 ชั่วโมง แล้วจึงนำแบคทีเรียที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโคโลนีที่ต่างกัน นำมา streak plate ให้เป็นเชื้อบริสุทธิ์ จากนั้นเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียบนอาหารแข็ง NA เพื่อเตรียมไว้สำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

1.3 การเตรียมเชื้อแบคทีเรียเพื่อใช้ในการทดลอง

การเตรียมเชื้อแบคทีเรียเพื่อใช้ในการทดลอง โดยนำเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้ในขั้นตอน 1.2 และทำการแยกจนได้เชื้อที่บริสุทธิ์ หลังจากนั้นทำการเตรียมเชื้อแบคทีเรียโดยเจือเชื้อที่เจริญแล้วบนอาหารแข็ง nutrient agar (NA) จำนวน 1 Loop ลง ใส่ในขวดรูปชมพู่ (flask) ขนาด 200 มิลลิลิตร ที่มีอาหารเหลวเลี้ยงเชื้อ nutrient broth (NB) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าเชื้อด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้อง ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับห้องปฏิบัติการ

2.1 ทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากดินนาภาคกลางในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากดินนาในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยนำเชื้อแบคทีเรียที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1.3 มาทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยเพาะกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ลงในถ้วยพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร สูงประมาณ 4 เซนติเมตร ใช้ดินข้าวประมาณ 8 - 10 ต้นต่อ 1 ถ้วยเพาะ เมื่อต้นข้าวสูงประมาณ 7 เซนติเมตร นำกล้าข้าวพร้อมถ้วยพลาสติก วางลงในถ้วยพลาสติกใส ขนาด 22 oz. จากนั้นปล่อยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตัวเต็มวัยอายุ 2-3 วัน จำนวน 20 ตัว

พ่นสารละลายเชื้อแบคทีเรียที่เตรียมไว้ลงในถ้วยทดสอบทันที ปริมาณ 10 มิลลิลิตรต่อซ้ำ ความเข้มข้น 1×10^8 cfu/ml ปิดถ้วยด้วยฝาสำเร็จรูปของถ้วย ทำการทดลองกรรมวิธีละ 4 ซ้ำ บันทึกอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

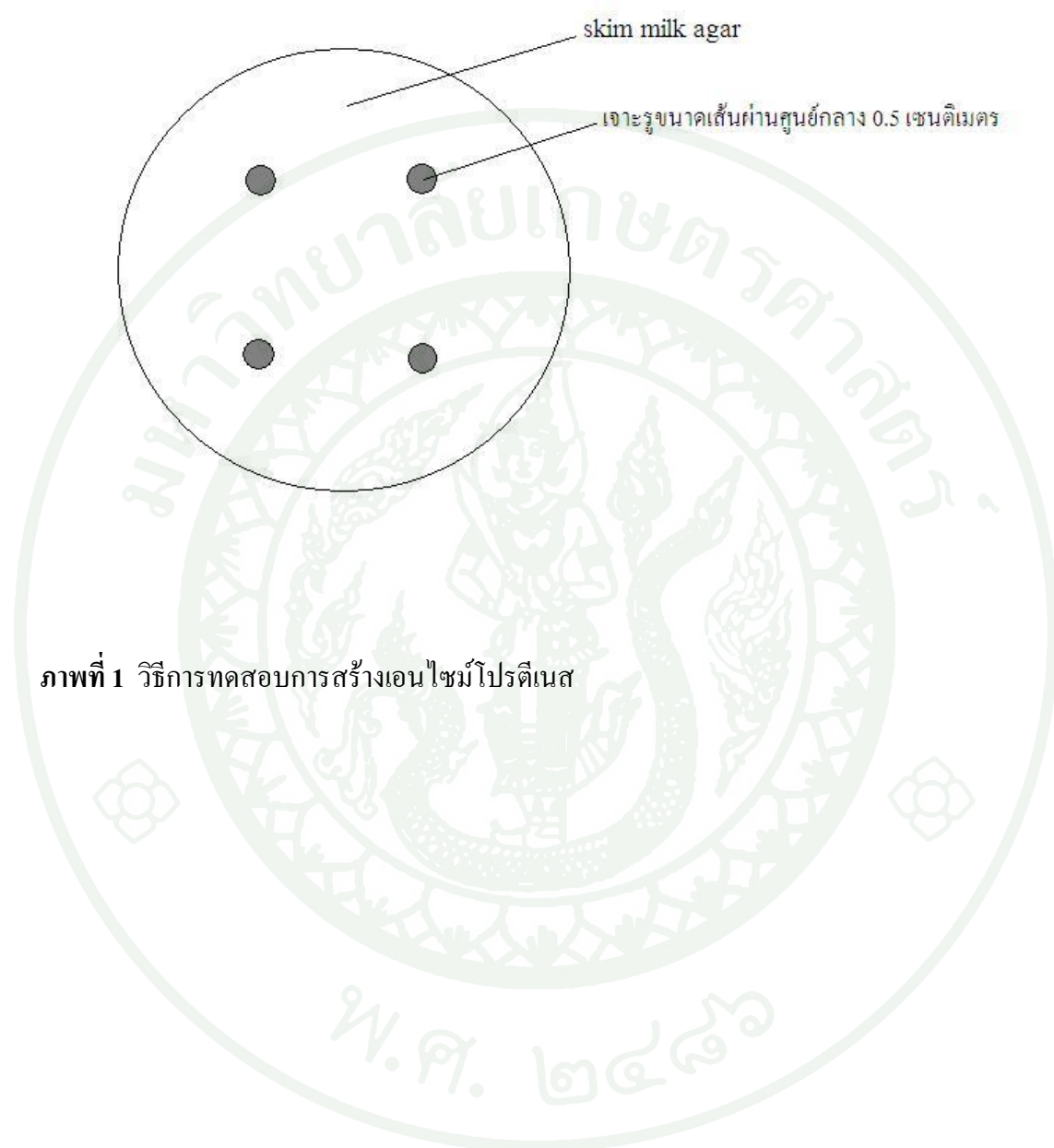
2.2 ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

เตรียมต้นข้าวพันธุ์หอมปทุม อายุประมาณ 10 วัน สูงประมาณ 7 – 10 เซนติเมตร หุ้มรากด้วยลำลีชุบน้ำและห่อทับด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ หลังจากนั้นทำการทดลองทั้งหมดรวม 7 กรรมวิธีโดยเตรียมสารละลายเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดสอบในขั้นตอนที่ 2.1 จำนวน 5 สายพันธุ์ได้แก่สายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 ความเข้มข้น 1×10^8 cfu/ml เตรียมเชื้อแบคทีเรียเพื่อใช้ในการทดลองตามกรรมวิธีในข้อ 1.3 ทำการจุ่มต้นข้าวที่เตรียมไว้ในสารละลายเชื้อแบคทีเรียจนถึงระดับลำลีเป็นเวลาประมาณ 10 วินาที หลังจากนั้นนำมาวางผึ่งไว้ให้นาน 1-2 นาที่ เปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่จุ่มต้นข้าวในสารละลายไพมีโตรซีน (Pymetrozine) ความเข้มข้น 10 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร และกรรมวิธีควบคุมซึ่งจุ่มต้นข้าวในน้ำเปล่า ทำการทดลองกรรมวิธีละ 3 ซ้ำ โดยนำเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตัวเต็มวัยอายุ 2-3 วันที่เลี้ยงขยายพันธุ์ไว้รวมให้สลบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สุกัญญาและคณะ, 2557) นานประมาณ 5 วินาที จากนั้นใช้พู่กันเขี่ยเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่สลบแล้ว ลงในหลอดทดลองในแต่ละกรรมวิธี โดยใช้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลกรรมวิธีละ 5 คู่ (เพศผู้ 5 ตัว เพศเมีย 5 ตัว) บันทึกอัตราการตายทุก 24 ชั่วโมง จนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตายทั้งหมด เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการตายของแต่ละกรรมวิธีโดย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการสร้างเอนไซม์โปรตีนเอส (proteinase) ในระดับห้องปฏิบัติการ

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากดินนาในการสร้างเอนไซม์โปรตีนเอส (proteinase) ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยนำเชื้อแบคทีเรียที่ผ่านการทดสอบ

ประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อแบคทีเรียโคคัสในระดับห้องปฏิบัติการ (ข้อ 2) มาทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ proteinase ด้วยวิธีการ enzyme assay ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวมีรายงานว่ามีความสามารถในการย่อยสลายผนังลำตัวของแมลง (จิระเดช แจ่มสว่าง, 2546) โดยเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในอาหาร NB ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ปรับค่าความขุ่นสำหรับใช้ในการทดลองด้วยเครื่อง spectrophotometer ให้มีค่า optical density (OD) เท่ากับ 0.2 ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (ความเข้มข้น 1×10^8 cfu/ml) ตกตะกอนด้วยเครื่อง Centrifuge และกรองเซลล์เชื้อแบคทีเรียออกจากนั้นนำสารกรองที่ได้มาทดสอบการสร้างเอนไซม์โปรตีนเอส โดยเตรียมอาหารทดสอบคือ skim milk agar ทำการแบ่งอาหารทดสอบเป็น 4 ส่วน เจาะรู้ด้วย pasteur pipette เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 1 หลุม ต่อ 1 ส่วนของอาหาร จากนั้นหยดสารละลายเชื้อแบคทีเรียปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงบนอาหารทดสอบ บ่มจานอาหารที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการทดลองกรรมวิธีละ 4 ซ้ำ จากนั้นทำการวัดขนาดบริเวณใส (clear zone) บันทึกผล และทำการวิเคราะห์สถิติ (ภาพที่ 1)



4. ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำการผลิตเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase ในระดับโรงเรือนปลูกทดลอง

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้พืชสร้างภูมิคุ้มกันต่อการเข้าทำลายของแมลง โดยศึกษาประสิทธิภาพในการสร้างสารชีวเคมีบางชนิดที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มความต้านทานของพืช ให้สามารถต้านทานหรือต่อต้านการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืชได้

นำเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ฆ่าเชื้อด้วย Clorox 10 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อ คลุกเมล็ดข้าวด้วยสารละลายเชื้อแบคทีเรีย (ความเข้มข้น 10^4 cfu/ml พร้อมเติมสารจับใบและลดแรงตึงผิว (Tension T7) 0.01 เปอร์เซ็นต์) อัตราส่วนเมล็ดข้าวต่อ สารละลายเชื้อแบคทีเรียเท่ากับ 10 : 2 กรัมต่อมิลลิลิตร นาน 3-5 นาที และปลูกทันทีในดินที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ หลังจากนั้นพ่นสารละลายของเชื้อแบคทีเรีย จำนวน 3 ครั้ง (เมื่อข้าวอายุ 14, 21, และ 28 วัน) เก็บตัวอย่างใบข้าวหลังพ่น 1 วัน นำมาเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่พ่นด้วยน้ำกลั่น ทำการทดลองกรรมวิธีละ 4 ซ้ำ หลังจากนั้นทดสอบความสามารถของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำหรือสังเคราะห์สารเพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกันพืช ดังนี้

ก่อนการวัดปริมาณเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase ต้องทำการสกัดโปรตีนรวมของต้นข้าว เริ่มด้วยการบดใบข้าวปริมาตร 0.1 กรัม ใน homogenization buffer ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนตามวิธีการของ Bradford (1976) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร โดยใช้ Bovine serum albumin (BSA) เป็น standard จากนั้นนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณหาปริมาณโปรตีนรวม ดังสมการ โปรตีนรวม = $0.1074 \times \text{Absorbance} + 0.1329$ มีหน่วยเป็น μg^{-1} chatechol mg^{-1} protein โดย Absorbance = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณของเอนไซม์ β -1,3 glucanase

วัดกิจกรรมสังเคราะห์สาร β -1,3-glucanase จะตรวจสอบได้ตามวิธีการของ (Pan *et al.*, 1991) 1 หน่วยของกิจกรรม หมายถึง $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$ โดยนำตัวอย่างพืชที่ผ่านการสกัดโปรตีนรวม ปริมาตร 125 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย 4 เปอร์เซนต์ Laminarin ปริมาตร 125 ไมโครลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติม 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) ปริมาตร 750 ไมโครลิตร หลังจากนั้นต้มที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายที่ได้ปริมาตร 600 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณหาปริมาณของ β -1,3 glucanase ดังสมการ β -1,3 glucanase

$$= \frac{1.4622 \times (\text{Average absorbance}) + 0.0152}{\text{Total protein}}$$

มีหน่วยเป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$ โดย Average absorbance = ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงที่วัดได้

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณของเอนไซม์ Peroxidase

นำตัวอย่างพืชที่ผ่านการสกัดโปรตีนรวม ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย peroxidase substrate 1,019 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร บันทึกค่าที่อ่านได้ทุกๆ 20 วินาที จนครบ 2 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณหาปริมาณของ เอนไซม์ peroxidase ดังสมการ

$$\text{PO} = \frac{0.1074 \times (\text{Average absorbance}) + 0.8329}{\text{Total protein}}$$

มีหน่วยเป็น $\text{min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$ โดย Average absorbance = ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงที่วัดได้

5. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการควบคุมเชื้อโรคสืมน้ำตาลในสภาพโรงเรือนปลูกทดลอง

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในสภาพโรงเรือนทดลอง โดยทดสอบกับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในกระถางขนาด 4 นิ้ว ปลูกข้าวกระถางละ 10 ต้น รองกระถางด้านในด้วยถุงพลาสติกเพื่อขังน้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยมี 6 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีที่ 1-5 เป็นกรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อโรคสืมน้ำตาลในระดับห้องปฏิบัติการ (ข้อ 2) ที่ได้ผลดีที่สุด 5 สายพันธุ์ ได้แก่สายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 โดยพ่นเชื้อแบคทีเรียเมื่อข้าวอายุ 14 วัน ความเข้มข้นของเชื้อ 1×10^8 cfu/ml กรรมวิธีที่ 6 คือกรรมวิธีไม่ใส่ปัจจัยใดๆ (negative control) ทำกรรมวิธีละ 4 ซ้ำ ปลอ่ยเชื้อโรคสืมน้ำตาลตัวเต็มวัยกระถางละ 30 ตัว ใช้พลาสติกใสทรงกระบอกครอบต้นข้าวในกระถาง บันทึกอัตราการตายของเชื้อโรคสืมน้ำตาลที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับหลังทำการทดลอง

6. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในระดับแปลงเกษตรกร

ทำการทดสอบในระดับแปลงเกษตรกร ณ ต.หนองแม่ไก่ อ.โพธิ์ทอง จ.อ่างทอง โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ใช้แปลงนาขนาด 5x7 เมตร พันธุ์ข้าวที่ใช้ทดลองคือ พันธุ์หอมปทุม ทำการทดลองกรรมวิธีละ 4 Block ในแต่ละ Block คือ 1 ซ้ำ รวมทั้งหมด 4 ซ้ำ มีทั้งหมด 7 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีที่ 1-5 เป็นกรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อโรคสืมน้ำตาลในระดับห้องปฏิบัติการ (ข้อ 2) ที่ได้ผลดีที่สุด 5 สายพันธุ์ ได้แก่สายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 โดยการคลุกเมล็ดก่อนปลูก และพ่นเชื้อแบคทีเรียจำนวน 3 ครั้ง ที่ข้าวอายุ 21, 35 และ 49 วัน กรรมวิธีที่ 6 คือ กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีที่ 7 คือ กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) รายละเอียดกรรมวิธี ดังตาราง

ตารางที่ 3 รายละเอียดกรรมวิธีทดลองในระดับแปลงปลูกเกษตรกร

กรรมวิธี	รายละเอียด
1	คลุกเมล็ดก่อนปลูก และพ่นด้วยสารละลายเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 จำนวน 3 ครั้ง ที่ข้าวอายุ 21, 35 และ 49 วัน
2	คลุกเมล็ดก่อนปลูก และพ่นด้วยสารละลายเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 จำนวน 3 ครั้ง ที่ข้าวอายุ 21, 35 และ 49 วัน
3	คลุกเมล็ดก่อนปลูก และพ่นด้วยสารละลายเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 จำนวน 3 ครั้ง ที่ข้าวอายุ 21, 35 และ 49 วัน
4	คลุกเมล็ดก่อนปลูก และพ่นด้วยสารละลายเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 จำนวน 3 ครั้ง ที่ข้าวอายุ 21, 35 และ 49 วัน
5	คลุกเมล็ดก่อนปลูก และพ่นด้วยสารละลายเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR67 จำนวน 3 ครั้ง ที่ข้าวอายุ 21, 35 และ 49 วัน
6	กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)
7	กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)

- กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงและโรค

พืชโดยพ่นที่ข้าวอายุ 30, 60 และ 80 วัน และใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 เมื่อข้าวอายุ 30 และ 60 วัน

- กรรมวิธีอื่นๆ ใส่ปุ๋ยเช่นเดียวกันกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) แต่ไม่มีการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงและโรคพืช

หลังจากนั้นบันทึกผลการทดลอง 3 ลักษณะคือ

6.1 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว

บันทึกการเจริญเติบโตของต้นข้าวทุกสัปดาห์ โดยวัดความสูงต้นและความยาวรากโดยการขุดต้นข้าวขึ้นมาจากแปลงแล้วทำการวัด จำนวนต้นข้าวที่สุ่มเก็บตัวอย่าง ข้าวละ 10 ต้น สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ที่ต้นข้าวอายุ 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 และ 84 วัน และ ทำการวัด yield components เบื้องต้นโดยการสุ่มเก็บตัวอย่างรวงข้าวข้าวละ 10 รวง นำมาคัดเลือกเมล็ดเต็มสมบูรณ์ 1,000 เมล็ด อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักแห้ง เปรียบเทียบกันระหว่างกรรมวิธีทดลองต่างๆ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในทางสถิติ ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

6.2 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากดินนาในการป้องกันกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงศัตรูพืชที่สำคัญ

สำรวจจำนวนประชากรแมลงเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ศัตรูพืชและศัตรูธรรมชาติ โดยทำการสำรวจจำนวนประชากรแมลงในแปลงนา 2 วิธี คือ

6.2.1 สำรวจด้วยการติดตั้งกับดักกาวเหนียว (sticky traps) ขนาด 30x20 เซนติเมตร ในแปลงทดลองทุกซ้ำ ในแต่ละกรรมวิธี สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ที่ต้นข้าวอายุ 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 และ 84 วัน ตรวจสอบจำนวนแมลงที่ติดกับดักกาวเหนียว

6.2.2 สำรวจจำนวนประชากรแมลงในแปลงนาโดยใช้กรอบ 4 เหลี่ยมจัตุรัส (quadrat) ขนาด 50x50 เซนติเมตร สุ่มวางลงบนแปลงนาแล้วตรวจสอบแมลงที่อยู่ในกรอบ ทำการสำรวจทุกซ้ำ ในแต่ละกรรมวิธี โดยแบ่งช่วงการสำรวจเป็น 3 ช่วงเวลาตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ดังนี้

1. ช่วงเจริญเติบโตทางลำต้น (ข้าวอายุประมาณ 30 วัน)

2. ช่วงเจริญพันธุ์ (ข้าวอายุประมาณ 60 วัน)
3. ช่วงพัฒนาการของเมล็ด (ข้าวอายุประมาณ 80 วัน)

6.3 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำภูมิคุ้มกันของข้าว ด้วยการวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase

สุ่มถอนต้นข้าวนำมาวัดปริมาณเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3-glucanase 4 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 14 วัน ครั้งที่ 2 ที่ข้าวอายุ 28 วัน ครั้งที่ 3 ที่ข้าวอายุ 42 วัน และครั้งที่ 4 ที่ข้าวอายุ 56 วัน จากนั้นก่อนทำการวิเคราะห์ปริมาณเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase ต้องสกัดโปรตีนรวมของต้นข้าว โดยการบดใบข้าวปริมาตร 0.1 กรัม ใน homogenization buffer ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนตามวิธีการของ Bradford (1976) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร โดยใช้ BSA เป็น standard จากนั้นนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณหาปริมาณโปรตีนรวม ดังสมการ

โปรตีนรวม = $0.1074 \times \text{Absorbance} + 0.1329$ มีหน่วยเป็น μg^{-1} chatechol mg^{-1} protein

โดย Absorbance คือค่าเฉลี่ยการดูดกลืนคลื่นแสงที่วัดได้ จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณของเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3-glucanase ดังนี้

6.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณของเอนไซม์ β -1,3-glucanase

กิจกรรมสังเคราะห์สาร β -1,3-glucanase จะตรวจสอบได้ตามวิธีการของ (Pan *et al.*, 1991) โดย 1 หน่วยของกิจกรรม หมายถึง μg glucose released min^{-1} mg^{-1} protein โดยนำตัวอย่างพืชที่ผ่านการสกัดโปรตีนรวม ปริมาตร 125 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย 4 เปอร์เซนต์ Laminarin ปริมาตร 125 ไมโครลิตร คัมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติม dimetriosail cyclic acid (DNS) ปริมาตร 750 ไมโครลิตร คัมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายปริมาตร 600 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณหาปริมาณของ β -1,3-glucanase ดังสมการ

$$\beta\text{-1,3 glucanase} = \frac{1.4622 \times (\text{Average absorbance}) + 0.0152}{\text{Total protein}} \quad \text{มีหน่วยคือ } \mu\text{g glucose}$$

released min⁻¹ mg⁻¹ protein โดย Average absorbance คือค่าเฉลี่ยการดูดกลืนคลื่นแสงที่วัดได้

6.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณของเอนไซม์ Peroxidase

นำตัวอย่างพืชผ่านการสกัดโปรตีนรวม ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ผสมกับ สารละลาย peroxidase substrate 1,019 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร บันทึกค่าที่อ่านได้ทุกๆ 20 วินาที จนครบ 2 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณหาปริมาณของ เอนไซม์ peroxidase ดังสมการ

$$\text{PO} = \frac{0.1074 \times (\text{Average absorbance}) + 0.8329}{\text{Total protein}} \quad \text{มีหน่วยคือ } \text{min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$$

โดย Average absorbance คือค่าเฉลี่ยการดูดกลืนคลื่นแสงที่วัดได้

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากดินนาภาคกลาง และการเตรียมเชื้อแบคทีเรียเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง

จากการเก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบรากของต้นข้าวที่มีความสมบูรณ์ไม่มีร่องรอยการทำลายของแมลง จากพื้นที่ปลูกข้าวในจังหวัดลพบุรี สามารถนำตัวอย่างดินมาทำการแยกเชื้อแบคทีเรียให้เป็นโคโลนีบริสุทธิ์ได้ 100 สายพันธุ์ โดยทำการตั้งชื่อให้เป็นสายพันธุ์ LBR ย่อมาจาก Lopburi (ลพบุรี) และเรียงตามลำดับหมายเลข 1 ถึง 100 เพื่อใช้ในการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ โรงเรือนทดลอง และแปลงปลูกเกษตรกรในขั้นตอนต่อไป

2. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับห้องปฏิบัติการ

2.1 ทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากดินนาภาคกลางในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ จากการทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงเบื้องต้น พบว่า เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 มีประสิทธิภาพดีที่สุด 5 ลำดับแรกในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ที่เวลา 24 ชั่วโมง กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีอัตราการตายเฉลี่ยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กรรมวิธีควบคุม ไม่พบการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในทุกช่วงเวลาทดลอง (ตารางที่ 4)

ที่เวลา 72 ชั่วโมง พบอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงขึ้น โดยกรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13 และ LBR34 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงที่สุดคือ 10 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR55 และ LBR67 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเท่ากัน คือ 5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ไม่พบอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ตารางที่ 4)

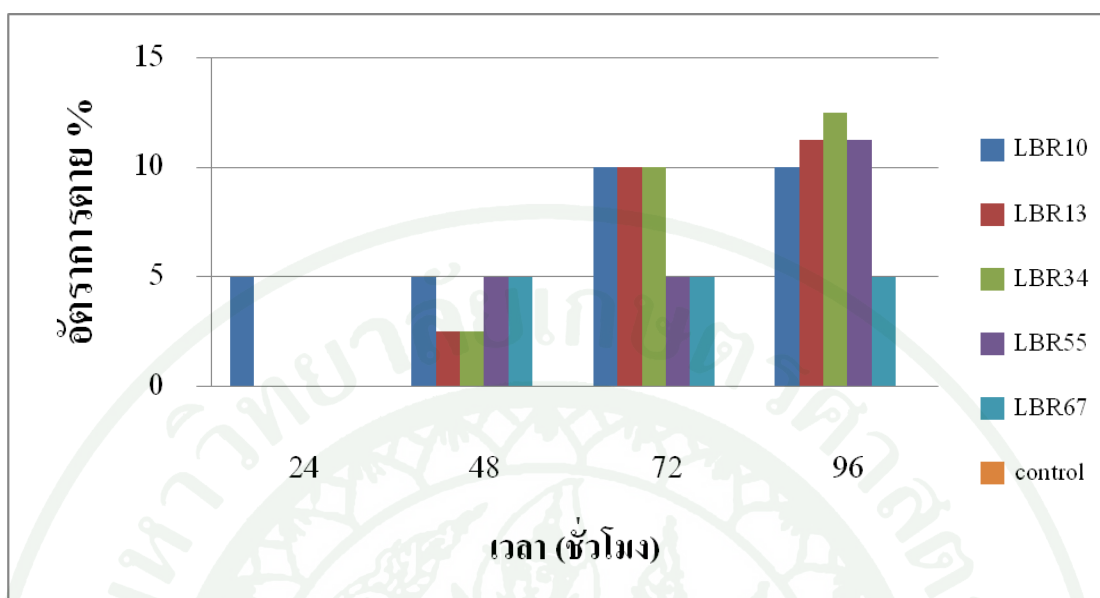
ที่เวลา 96 ชั่วโมง กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นเป็น 12.5 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือสายพันธุ์ LBE13 และ LBR55 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 11.25 เปอร์เซ็นต์ สายพันธุ์ LBR10 เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ และสายพันธุ์ LBR67 มีอัตราการตาย 5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ไม่พบอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 อัตราการตายเฉลี่ยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ

เวลา (ชม.)	อัตราการตายเฉลี่ยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์)					
	กรรมวิธี					
	LBR10	LBR13	LBR34	LBR55	LBR67	control
24	5b	0a	0a	0a	0a	0a
48	5a	2.5a	2.5a	5a	5a	0a
72	10b	10b	10b	5ab	5ab	0a
96	10bc	11.25c	12.5c	11.25c	5ab	0a

- วิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

- ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญตามข้อมูลแนวนอนของตาราง



ภาพที่ 2 อัตราการตายเฉลี่ยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ

2.2 ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

จากตารางที่ 5 พบว่าในวันที่ 1 กรรมวิธีที่จุ่มต้นข้าวในสารละลายไพมีโทรีน เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีอัตราการตายสูงที่สุดคือ 66.7 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีอื่นๆ และในวันที่ 4 กรรมวิธีที่จุ่มต้นข้าวในสารละลายไพมีโทรีน มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 100 เปอร์เซ็นต์

ในวันที่ 5 กรรมวิธีที่ชุบต้นข้าวด้วยเชื้อแบคทีเรียทั้ง 5 สายพันธุ์ มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมากกว่ากรรมวิธีควบคุมซึ่งจุ่มต้นข้าวในน้ำเปล่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเท่ากับ 30, 26.7, 30, 30 และ 33.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ในวันที่ 7 กรรมวิธีที่ชุบต้นข้าวด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13, LBR34 และ LBR67 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเท่ากับ 73.3, 73.3 และ 83.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สูงกว่ากรรมวิธีที่ชุบต้นข้าวด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR55 และกรรมวิธีควบคุมซึ่งจุ่มต้นข้าวในน้ำเปล่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในวันที่ 9 กรรมวิธีที่ชุบต้นข้าวด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34, LBR55 และ LBR67 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 100 เปอร์เซ็นต์

ในวันที่ 10 พบว่ากรรมวิธีที่ชุบต้นข้าวด้วยเชื้อแบคทีเรียในทุกสายพันธุ์มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 100 เปอร์เซ็นต์

ในวันที่ 11 กรรมวิธีควบคุมซึ่งจุ่มต้นข้าวในน้ำเปล่าจึงมีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

เวลา (วัน)	ค่าเฉลี่ยอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่เวลาต่างๆ						
	LBR10	LBR13	LBR34	LBR55	LBR67	Chem.	Cont.
1	6.7b	3.3b	3.3b	0b	6.7b	66.7a	0b
2	13.3b	6.7b	10b	0b	6.7b	76.7a	0b
3	20b	10b	20b	16.7b	13.3b	96.7a	6.7b
4	20b	10b	20b	16.7b	13.3b	100a	6.7b
5	30b	26.7b	30b	30b	33.3b	100a	10c
6	53.3b	53.3b	60b	46.7b	63.3b	100a	16.7c
7	56.7c	73.3b	73.3b	56.7c	83.3b	100a	36.7d
8	76.7b	76.7b	86.7b	83.3b	83.3b	100a	43.3c
9	96.7a	96.7a	100a	100a	100a	100a	60b
10	100a	100a	100a	100a	100a	100a	86.7b
11	100a	100a	100a	100a	100a	100a	100a

- ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติโดย Duncan's New

Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

- Chem. = กรรมวิธีใช้สารเคมีไพเมโทรีซีน (Pymetrozine)

- Cont. = กรรมวิธีใช้น้ำเปล่า

3. ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการสร้างเอนไซม์โปรตีนเอส (proteinase) ในระดับห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการสร้างเอนไซม์โปรตีนเอส พบว่าเชื้อแบคทีเรีย 5 สายพันธุ์ได้แก่ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 มีความสามารถในการสร้างบริเวณใส (clear zone) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมด้วยน้ำเปล่าหนึ่งฆ่าเชื้อในระดับห้องปฏิบัติการ โดยหลังจากหยดเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ลงบนอาหารทดสอบเอนไซม์โปรตีนเอส พบว่า ที่เวลา 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ในแต่ละกรรมวิธี พบค่าเฉลี่ยรัศมีการสร้าง clear zone จากจุดที่หยดสารมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยการสร้าง clear zone จากจุดที่หยดสารของแต่ละกรรมวิธี ที่เวลา 12 ชั่วโมง พบว่าเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยการสร้าง clear zone มากที่สุด คือสายพันธุ์ LBR13 รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10, LBR34, LBR55 และสายพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยการสร้าง clear zone จากจุดที่หยดสารน้อยที่สุด คือ สายพันธุ์ LBR67 โดยมีค่าเฉลี่ยการสร้าง clear zone เท่ากับ 1.90, 1.88, 1.80, 1.76 และ 1.52 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมด้วยน้ำเปล่าหนึ่งฆ่าเชื้อที่ไม่มีการสร้าง clear zone (ตารางที่ 6)

ที่การทดสอบ 24 ชั่วโมง พบว่าเชื้อแบคทีเรียมีการสร้าง clear zone เป็นบริเวณกว้างขึ้น โดยสายพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยการสร้าง clear zone มากที่สุดคือสายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ย clear zone เท่ากับ 2.28 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR55, LBR10, LBR34 มีค่าเฉลี่ย clear zone เท่ากับ 2.70, 2.5, 2.44 เซนติเมตร และสายพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ย clear zone จากจุดที่หยดสารน้อยที่สุด คือ สายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ย clear zone เท่ากับ 2.40 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมด้วยน้ำเปล่าหนึ่งฆ่าเชื้อที่ไม่มีการสร้าง clear zone (ตารางที่ 6)

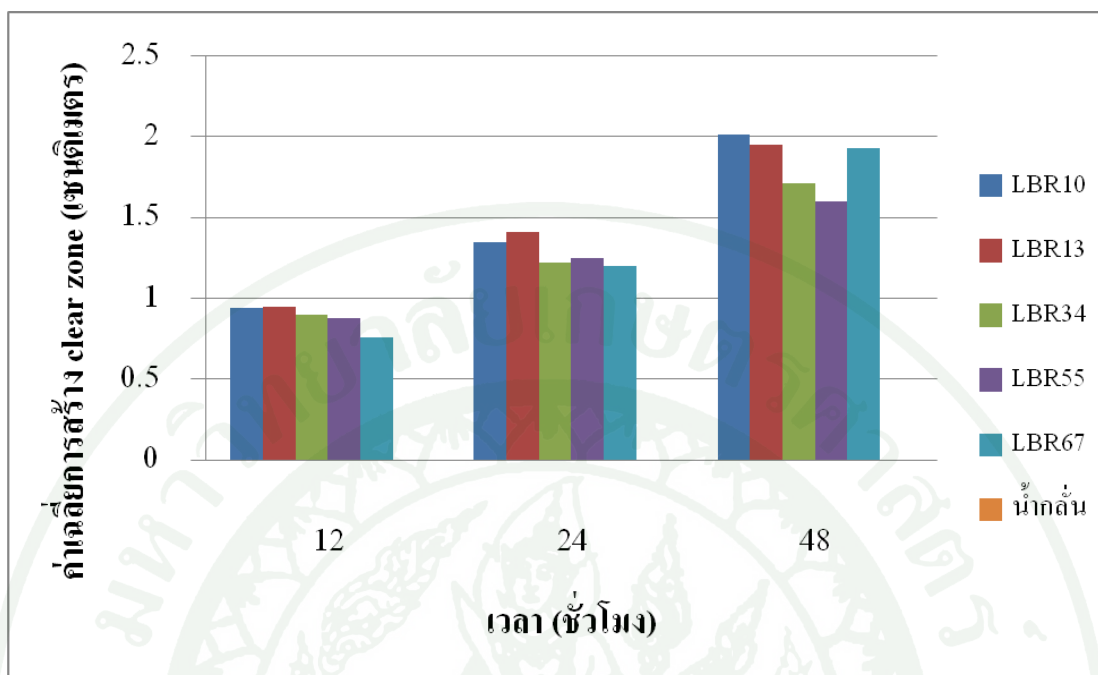
ที่การทดสอบ 48 ชั่วโมง พบว่าเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยการสร้าง clear zone มากที่สุดคือสายพันธุ์ LBR10 รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR13, LBR67, LBR34 และสายพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยการสร้าง clear zone น้อยที่สุด คือ สายพันธุ์ LBR55 โดยมีค่าเฉลี่ยการสร้าง clear zone เท่ากับ 4.02, 3.90, 3.86, 3.42 และ 3.20 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมด้วยน้ำเปล่าหนึ่งฆ่าเชื้อที่ไม่สร้าง clear zone (ตารางที่ 6)



ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการสร้างเอนไซม์ proteinase บนอาหารทดสอบที่เวลาต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ

ค่าเฉลี่ยการสร้าง clear zone (เซนติเมตร) บนอาหารทดสอบ						
เวลา(ชั่วโมง)	กรรมวิธี					
	LBR10	LBR13	LBR34	LBR55	LBR67	น้ำกลั่น
12	1.88a	1.90a	1.80b	1.76c	1.52d	0.00e
24	2.70b	2.82a	2.44d	2.50c	2.40e	0.00f
48	4.02a	3.90b	3.42d	3.20e	3.86c	0.00f

- วิเคราะห์การสร้าง clear zone โดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์
- ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญตามข้อมูลแนวนอนของตาราง
- เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ที่ใช้ปรับค่าความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ให้มีค่า optical density (OD) เท่ากับ 0.2 ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (ความเข้มข้น 1×10^8 cfu/ml) ปริมาณที่ใช้ 10 ไมโครลิตร/จุด



ภาพที่ 3 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการสร้างเอนไซม์ proteinase บนอาหารทดสอบที่เวลาต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ

- วิเคราะห์การสร้าง clear zone โดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
- เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ที่ใช้ปรับค่าความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ให้มีค่า optical density (OD) เท่ากับ 0.2 ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (ความเข้มข้น 1×10^8 cfu/ml) ปริมาณที่ใช้ 10 ไมโครลิตร/จุด

4. ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ข้าวผลิตเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase ในระดับโรงเรือนปลูกทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณของเอนไซม์ Peroxidase

จากการเก็บตัวอย่างต้นข้าวที่ผ่านการคลุกเมล็ด (ความเข้มข้น 10^4 โคโลนีต่อมิลลิตร) และพ่นด้วยสารละลายของเชื้อแบคทีเรีย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 จำนวน 3 ครั้ง เมื่อพืชอายุ 14, 21, และ 28 วัน (ความเข้มข้น 10^8 โคโลนีต่อมิลลิตร พร้อมเติมสารจับใบและลดแรงตึงผิว (Tension T7) 0.01 เปอร์เซ็นต์) ผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่คลุกเมล็ดและพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 ตรวจพบปริมาณการสะสมเอนไซม์ Peroxidase สูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

จากตารางที่ 7 พบว่า ครั้งที่ 1 เมื่อข้าวอายุ 8 วัน กรรมวิธีที่คลุกด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด 4.971 กรรมวิธีที่คลุกด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR67 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 4.821 กรรมวิธีที่คลุกด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR13 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 4.770 กรรมวิธีที่คลุกด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR55 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 4.569 และกรรมวิธีที่คลุกด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR34 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase น้อยที่สุด 4.549 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมมีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 1.150 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

ครั้งที่ 2 เมื่อข้าวอายุ 15 วัน กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด 5.284 กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 5.223 กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR34 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 5.085 กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR67 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 5.082 และกรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR55 มีค่าปริมาณ

เอนไซม์ Peroxidase น้อยที่สุด 4.583 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมมีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 1.771 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$ (ตารางที่ 7)

ครั้งที่ 3 เมื่อข้าวอายุ 22 วัน กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด 5.341 กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 5.310 กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR34 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 5.276 กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR67 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 5.159 และกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase น้อยที่สุด 5.134 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมมีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 1.938 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$ (ตารางที่ 7)

ครั้งที่ 4 เมื่อข้าวอายุ 29 วัน กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด 5.791 กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 5.771 กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 5.613 กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR34 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 5.342 และกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรีย LBR67 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase น้อยที่สุด 5.295 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมมีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 1.507 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ Peroxidase ที่อายุต่างๆ ในสภาพโรงเรือนปลูกทดลอง

ค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase ที่ต้นข้าวอายุต่างๆ ในสภาพโรงเรือนปลูกทดลอง						
อายุข้าว (วัน)	กรรมวิธี					
	LBR10	LBR13	LBR34	LBR55	LBR67	น้ำกลั่น
8	4.971	4.770	4.549	4.569	4.821	1.150
15	5.223	5.284	5.085	4.583	5.082	1.771
22	5.134	5.310	5.276	5.341	5.159	1.938
29	5.613	5.791	5.342	5.771	5.295	1.507

- สูตรในการวิเคราะห์ค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase

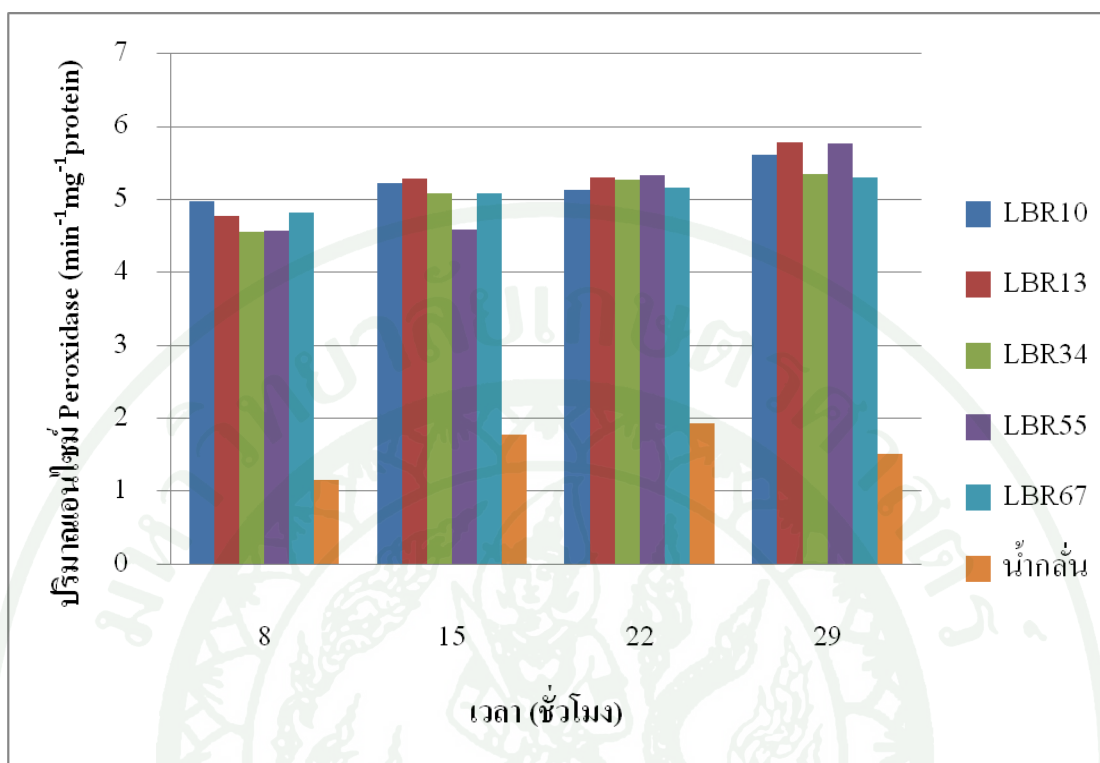
$$PO = \frac{0.1074 \times (\text{Average absorbance}) + 0.8329}{\text{Total protein}}$$

- หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer

- คลุกเมล็ดด้วยเชื้อแบคทีเรียก่อนปลูก และฉีดพ่นเชื้อแบคทีเรีย 3 ครั้ง ที่ข้าวอายุ 14, 21 และ 28 วัน
เก็บตัวอย่างใบข้าวหลังฉีดพ่น 1 วัน

- สุ่มถอนต้นข้าวนำมาวัดปริมาณเอนไซม์ Peroxidase 4 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 8 วัน ครั้งที่ 2 ที่ข้าวอายุ 15 วัน ครั้งที่ 3 ที่ข้าวอายุ 22 วัน และครั้งที่ 4 ที่ข้าวอายุ 29 วัน



ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ Peroxidase ที่อายุต่างๆ ในสภาพโรงเรือนปลูกทดลอง

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณของเอนไซม์ β -1,3 glucanase

จากการเก็บตัวอย่างต้นข้าวที่ผ่านการคลุกเมล็ด (ความเข้มข้น 10^4 โคโลนีต่อมิลลิเมตร) และพ่นด้วยสารละลายของเชื้อแบคทีเรีย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 จำนวน 3 ครั้ง เมื่อพืชอายุ 14, 21, และ 28 วัน (ความเข้มข้น 10^8 โคโลนีต่อมิลลิเมตร พร้อมเติมสารจับใบและลดแรงตึงผิว (Tension T7) 0.01 เปอร์เซ็นต์) ผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่คลุกเมล็ดและพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 ตรวจพบปริมาณการสะสมเอนไซม์ β -1,3 glucanase สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม

จากตารางที่ 8 พบว่า ครั้งที่ 1 กรรมวิธีที่คลุกด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR67, LBR34, LBR55, และ LBR13 โดยมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 13.617, 12.902, 11.980, 11.841 และ 11.733 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 8.993 หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

ครั้งที่ 2 กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR67, LBR34, LBR13 และ LBR55 โดยมีมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 13.364, 13.350, 12.633, 11.830 และ 9.761 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 9.946 หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$ (ตารางที่ 8)

ครั้งที่ 3 กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR55 LBR13 LBR67 และ LBR34 โดยมีมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 15.157, 14.548, 14.534, 14.401 และ 13.702 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 9.319 หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$ (ตารางที่ 8)

ครั้งที่ 4 กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10, LBR34, LBR55 และ LBR67 โดยมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 16.922, 15.820, 15.144, 14.642 และ 14.270 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 9.154 หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{protein}$ (ตารางที่ 8)



ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ β -1,3 glucanase ที่อายุข้าวต่างๆ ในสภาพโรงเรือนปลูกทดลอง

ค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3-glucanase ที่ต้นข้าวอายุต่างๆ ในสภาพโรงเรือนปลูกทดลอง						
อายุข้าว (วัน)	กรรมวิธี					
	LBR10	LBR13	LBR34	LBR55	LBR67	น้ำกลั่น
8	13.617	11.733	11.980	11.841	12.902	8.993
15	13.364	11.830	12.633	9.761	13.350	9.946
22	15.157	14.534	13.702	14.548	14.401	9.319
29	15.820	16.922	15.144	14.642	14.270	9.154

- สูตรในการวิเคราะห์ค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3-glucanase

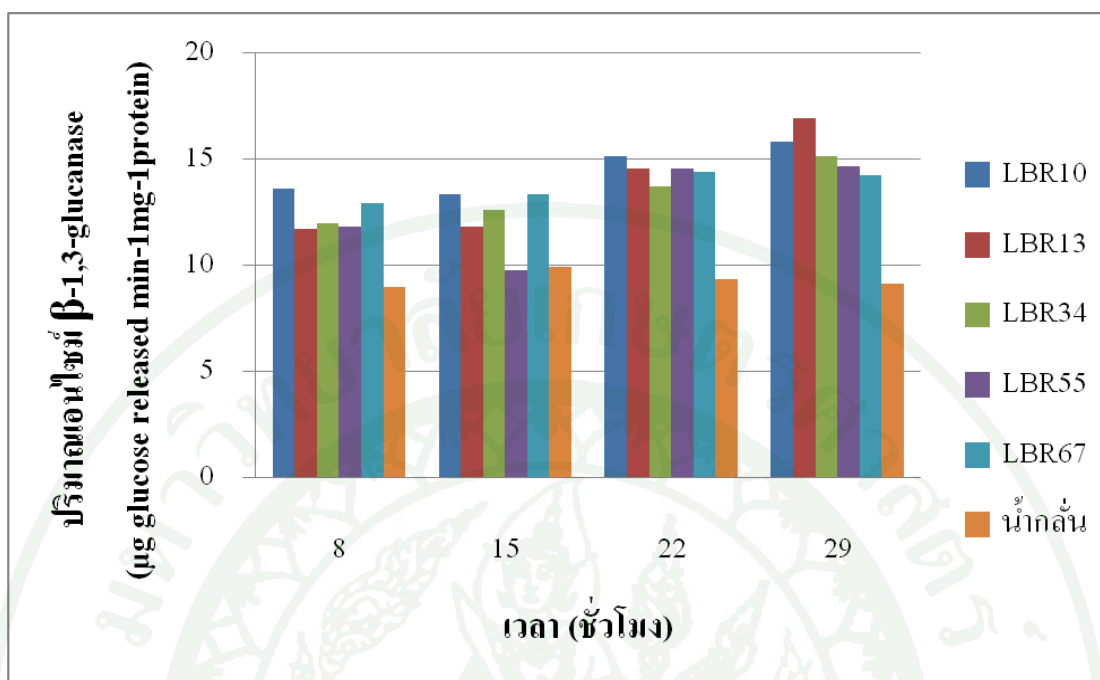
$$\beta\text{-1,3-glucanase} = \frac{1.4622 \times (\text{Average absorbance}) + 0.0152}{\text{Total protein}}$$

- หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3-glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer

- คลุกเมล็ดด้วยเชื้อแบคทีเรียก่อนปลูก และพ่นเชื้อแบคทีเรีย 3 ครั้ง ที่ข้าวอายุ 14, 21 และ 28 วัน
เก็บตัวอย่างใบข้าวหลังฉีดพ่น 1 วัน

- สุ่มถอนต้นข้าวนำมาวัดปริมาณเอนไซม์ β -1,3-glucanase 4 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 8 วัน ครั้งที่ 2 ที่ข้าวอายุ 15 วัน ครั้งที่ 3 ที่ข้าวอายุ 22 วัน และครั้งที่ 4 ที่ข้าวอายุ 29 วัน



ภาพที่ 5 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ β -1,3-glucanase ที่อายุข้าวต่างๆ ในสภาพโรงเรือนปลูกทดลอง

5. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพโรงเรือนทดลอง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพโรงเรือนทดลอง พบว่าอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลระหว่างกรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียพ่นและกรรมวิธีควบคุมที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมงตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 9 พบว่าที่เวลา 24 ชั่วโมง กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงที่สุดคือ 4.17 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 3.34 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 2.5 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13, LBR67 และกรรมวิธีควบคุมไม่พบมีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ที่เวลา 48 ชั่วโมง กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงที่สุดคือ 5.84 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13 และ LBR34 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเท่ากันคือ 5 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR67 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 3.34 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีควบคุม มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 2.5 เปอร์เซ็นต์

ที่เวลา 72 ชั่วโมง กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงที่สุดคือ 8.34 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13 และ LBR67 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเท่ากันคือ 6.67 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 5.84 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีควบคุม มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 7.5 เปอร์เซ็นต์

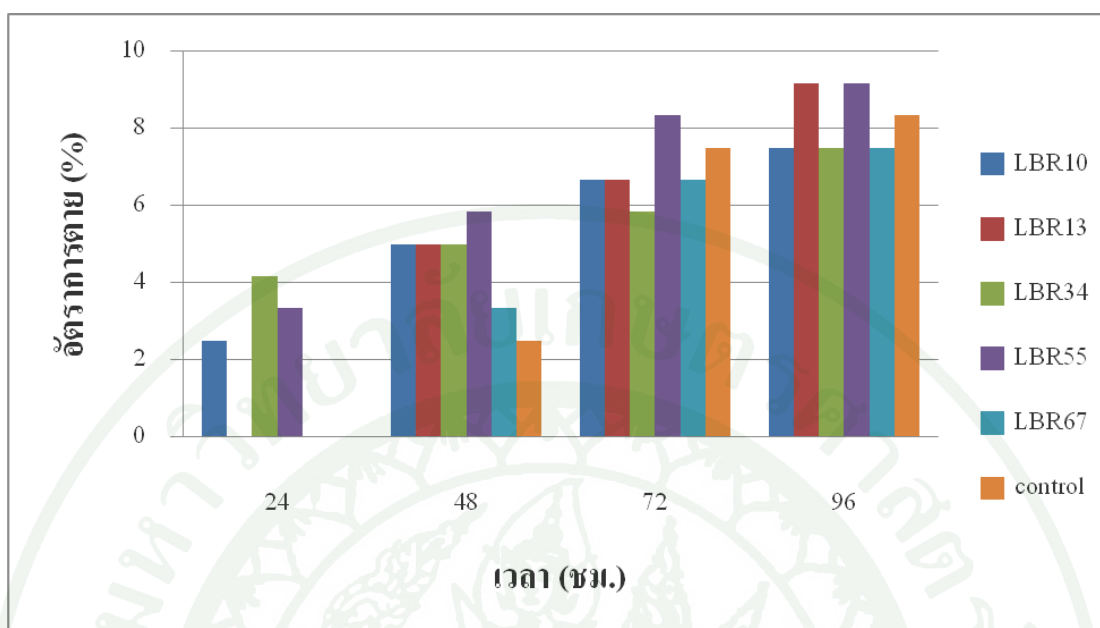
เป็นเวลา 96 ชั่วโมง กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 และ LBR55 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงที่สุดคือ 9.17 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR34 และ LBR67 มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเท่ากันคือ 7.5 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีควบคุม มีอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 8.34 เปอร์เซ็นต์



ตารางที่ 9 อัตราการตายเฉลี่ยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในการทดสอบระดับโรงเรือนทดลอง

อัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์)						
เวลา (ชม.)	กรรมวิธี					
	LBR10	LBR13	LBR34	LBR55	LBR67	control
24	2.5b	0a	4.17c	3.34bc	0a	0a
48	5b	5b	5b	5.84b	3.34a	2.5a
72	6.67b	6.67b	5.84a	8.34d	6.67b	7.5c
96	7.5a	9.17c	7.5a	9.17c	7.5a	8.34b

- วิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
- เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ที่ใช้ปรับค่าความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ให้มีค่า optical density (OD) เท่ากับ 0.2 ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (ความเข้มข้น 1×10^8 cfu/ml) อัตราการใช้ 250 มิลลิลิตรต่อน้ำ 15 ลิตร
- คลุกเมล็ดก่อนปลูกและฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียที่ข้าวอายุ 5, 10 และ 15 วัน



ภาพที่ 6 อัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับโรงเรือนปลูกทดลอง

6. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในระดับแปลงเกษตรกร

6.1 ประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว

6.1.1 การเจริญเติบโตทางลำต้น

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 14 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ปลูกเมล็ดก่อนปลูกด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 และ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นเท่ากันและมีความสูงต้นมากที่สุดคือ 25.6 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 24.9 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 23.8 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นน้อยที่สุดคือ 24.4 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 23.2 เซนติเมตร และ 24.2 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 2 ที่ข้าวอายุ 21 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุดคือ 35.8 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 35.4 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 34.9 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR10 และ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นเท่ากันและน้อยที่สุดคือ 33.8 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 32.7 เซนติเมตร และ 33.1 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 3 ที่ข้าวอายุ 28 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุดคือ 53.5 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความสูง

ต้น 53.4 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 53.1 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 48.4 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นน้อยที่สุดคือ 47.0 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 47.6 เซนติเมตร และ 45.9 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 4 ที่ข้าวอายุ 35 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุดคือ 63.24 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 62.12 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 53.48 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 55.52 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นน้อยที่สุดคือ 55.21 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 53.48 เซนติเมตร และ 49.03 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 5 ที่ข้าวอายุ 42 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุดคือ 79.43 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 74.6 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 74.03 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 71.83 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นน้อยที่สุดคือ 69.86 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 67.5 เซนติเมตร และ 67.43 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 6 ที่ข้าวอายุ 49 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มี

ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุดคือ 85.06 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 84.53 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 84.4 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 83.46 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นน้อยที่สุดคือ 81.8 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 86.03 เซนติเมตร และ 71.45 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 6 ที่ข้าวอายุ 56 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุดคือ 95.93 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 94.83 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 89.06 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 84.5 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นน้อยที่สุดคือ 79.33 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 86.96 เซนติเมตร และ 75.8 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 8 ที่ข้าวอายุ 63 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุดคือ 104.6 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 101.78 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 99.66 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 88.29 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นน้อยที่สุดคือ 87.8 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 91.49 เซนติเมตร และ 87.07 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 9 ที่ข้าวอายุ 70 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุดคือ 118.20 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 116.80 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 114.23 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 101.67 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นน้อยที่สุดคือ 98.17 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 107 เซนติเมตร และ 95.40 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 10 ที่ข้าวอายุ 84 วัน ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุดคือ 135.30 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 132.86 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 131.73 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 124.66 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นน้อยที่สุดคือ 124.10 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความสูงต้น 123.86 เซนติเมตร และ 115.16 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวในแต่ละสัปดาห์

สัปดาห์ที่	ความสูงต้น (เซนติเมตร)						
	กรรมวิธี						
	LBR10	LBR13	LBR34	LBR55	LBR67	conv.	n-chem.
1	24.4ab	24.9ab	23.8ab	25.6a	25.6a	23.2b	24.2ab
2	33.8ab	34.9ab	33.8ab	35.8a	35.4a	32.7b	33.1b
3	53.5a	53.4a	48.4b	53.1a	47.0bc	47.6bc	45.9c
4	62.12a	63.24a	55.21c	57.48b	55.52c	53.48d	49.03e
5	74.03b	74.6b	79.43a	69.86c	71.83c	67.5d	67.43d
6	84.4ab	85.06ab	83.46bc	81.8c	84.53ab	86.03a	71.45d
7	95.93a	94.83a	84.5d	89.06b	79.33e	86.96c	75.8f
8	104.6a	99.66b	101.78ab	88.29d	87.8e	91.49c	87.07f
9	116.80a	114.23b	118.20a	101.67d	98.17e	107.00c	95.40f
10	132.86b	131.73b	135.30a	124.10c	124.66c	123.86c	115.167d

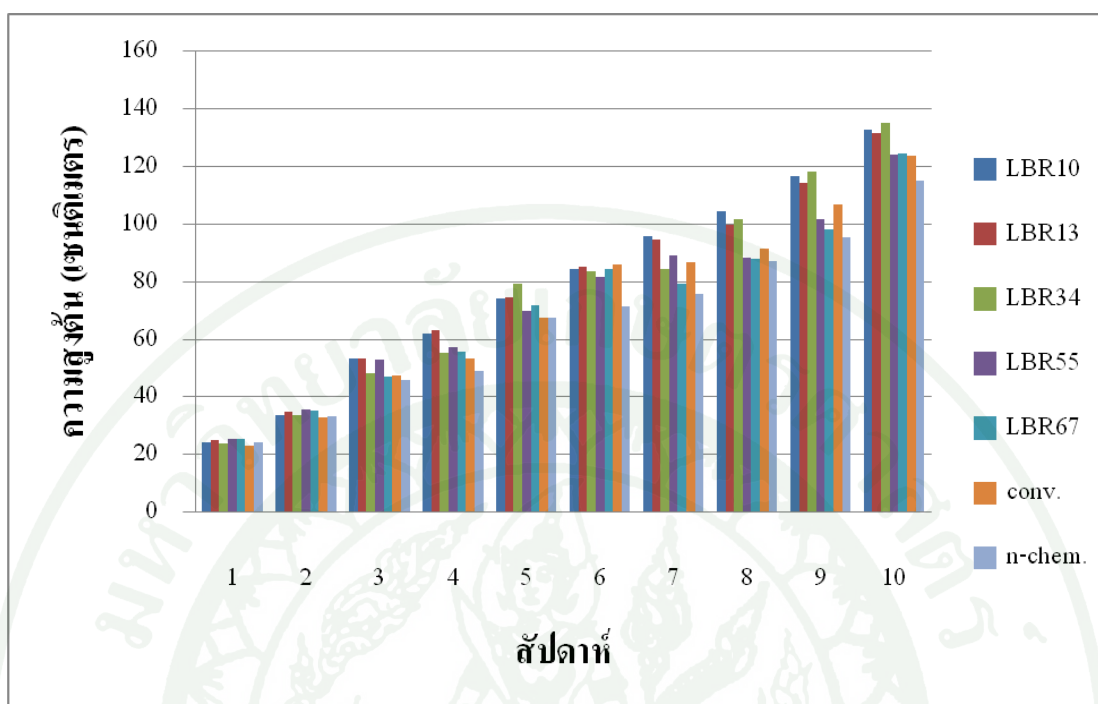
- จาก 4 ซ้ำสุ่มถอนมาวัดซ้ำละ 10 ต้น วัดความสูงต้นและความยาวราก วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

- ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญตามข้อมูลแนวนอนของตาราง

- เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ที่ใช้ปรับค่าความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ให้มีค่า optical density (OD) เท่ากับ 0.2 ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (ความเข้มข้น 1×10^8 cfu/ml) อัตราการใช้ 250 มิลลิลิตรต่อน้ำ 15 ลิตร

- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)

- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)



ภาพที่ 7 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวในแต่ละสัปดาห์

- จาก 4 ซ้ำสุ่มถอนมาวัดซ้ำละ 10 ต้น วัดความสูงต้นและความยาวราก วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
- เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ที่ใช้ปรับค่าความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ให้มีค่า optical density (OD) เท่ากับ 0.2 ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (ความเข้มข้น 1×10^8 cfu/ml) อัตราการใช้ 250 มิลลิลิตรต่อน้ำ 15 ลิตร
- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)
- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)

6.1.2 การเจริญเติบโตทางราก

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 14 วัน ค่าเฉลี่ยความยาวรากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ปลูกเมล็ดก่อนปลูกด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุด 12.8 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10 และ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากเท่ากันคือ 12.1 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 11.7 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากน้อยที่สุดคือ 11.1 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 11.6 เซนติเมตร และ 12.7 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 2 ที่ข้าวอายุ 21 วัน ค่าเฉลี่ยความยาวรากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุดคือ 16.5 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 15.8 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 15.7 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR10 และ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากเท่ากันและน้อยที่สุดคือ 14.5 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 14.3 เซนติเมตร และ 15.0 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 3 ที่ข้าวอายุ 28 วัน ค่าเฉลี่ยความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุดคือ 16.4 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 15.7 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 15.2 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 14.6 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากน้อยที่สุดคือ 13.8 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และ

กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 14.7 เซนติเมตร และ 14.7 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 4 ที่ข้าวอายุ 35 วัน ค่าเฉลี่ยความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุดคือ 18.38 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 17.49 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 16.77 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 16.20 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากน้อยที่สุดคือ 14.71 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 16.26 เซนติเมตร และ 17.30 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 5 ที่ข้าวอายุ 42 วัน ค่าเฉลี่ยความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุดคือ 18.88 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 17.13 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 15.9 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 15.5 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากน้อยที่สุดคือ 15.43 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 15.61 เซนติเมตร และ 14.61 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 6 ที่ข้าวอายุ 49 วัน ค่าเฉลี่ยความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุดคือ 18.83 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 18.63 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 18.43 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 18.03 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากน้อย

ที่สุดคือ 16.9 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 18.8 เซนติเมตร และ 15.9 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 7 ที่ข้าวอายุ 56 วัน ค่าเฉลี่ยความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุดคือ 19.33 เซนติเมตร รองลงมาก็คือสายพันธุ์ LBR55 และ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากเท่ากันคือ 18.36 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 17.8 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากน้อยที่สุดคือ 17.76 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 17.22 เซนติเมตร และ 16.53 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 8 ที่ข้าวอายุ 63 วัน ค่าเฉลี่ยความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุดคือ 21.7 เซนติเมตร รองลงมาก็คือสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 20.02 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 19.39 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 17.71 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากน้อยที่สุดคือ 16.93 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 17.94 เซนติเมตร และ 17.78 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 9 ที่ข้าวอายุ 70 วัน ค่าเฉลี่ยความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุด 21.56 เซนติเมตร รองลงมาก็คือสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 21.30 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 20.40 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR67

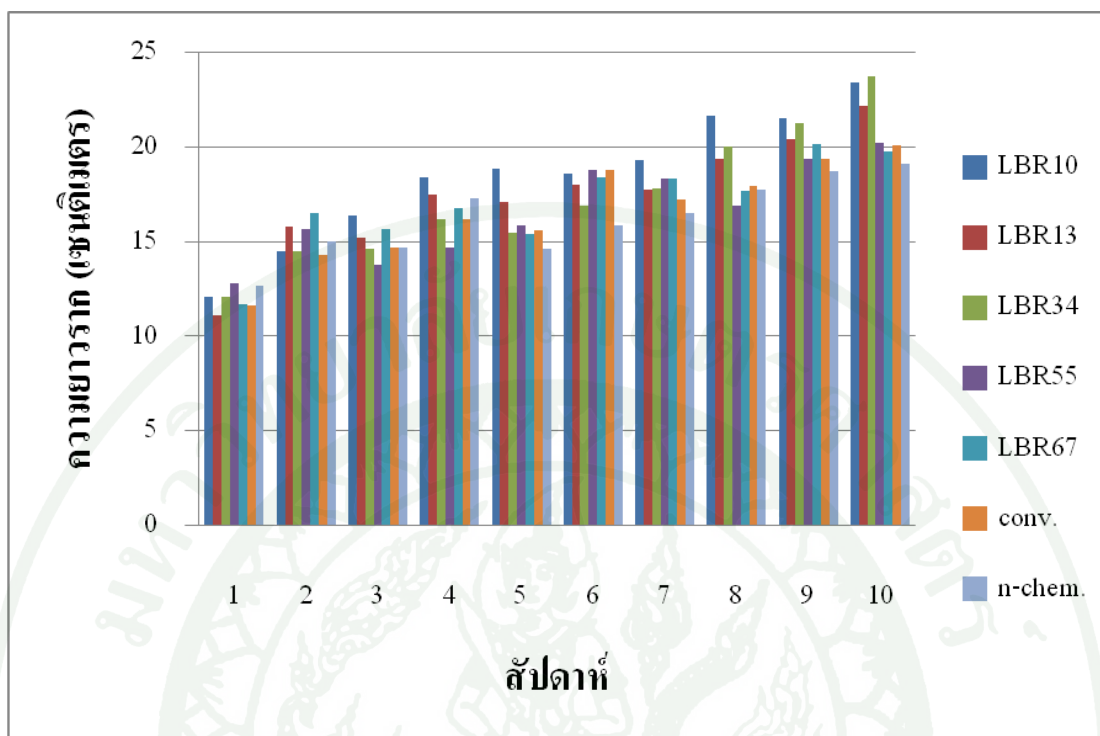
มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 20.20 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากน้อยที่สุดคือ 19.36 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 19.36 เซนติเมตร และ 18.73 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวครั้งที่ 10 ที่ข้าวอายุ 84 วัน ค่าเฉลี่ยความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุดคือ 23.73 เซนติเมตร รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 23.43 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR13 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 22.16 เซนติเมตร สายพันธุ์ LBR55 มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 20.23 เซนติเมตร และสายพันธุ์ LBR67 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากน้อยที่สุดคือ 19.76 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยความยาวราก 20.13 เซนติเมตร และ 19.13 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตด้านความยาวรากของข้าวในแต่ละสัปดาห์

สัปดาห์ที่	ความยาวราก (เซนติเมตร)						
	กรรมวิธี						
	LBR10	LBR13	LBR34	LBR55	LBR67	conv.	n-chem.
1	12.1a	11.1a	12.1a	12.8a	11.7a	11.6a	12.7a
2	14.5a	15.8a	14.5a	15.7a	16.5a	14.3a	15.0a
3	16.4a	15.2bc	14.6cd	13.8d	15.7ab	14.7cd	14.7cd
4	18.38a	17.49ab	16.20b	14.71c	16.77b	16.26b	17.30ab
5	18.88a	17.13b	15.5cd	15.9c	15.43cd	15.61c	14.61d
6	18.63a	18.03a	16.9b	18.83a	18.43a	18.8a	15.9c
7	19.33a	17.76b	17.8b	18.36ab	18.36ab	17.22bc	16.53c
8	21.7a	19.39c	20.02b	16.93e	17.71de	17.94d	17.78de
9	21.56a	20.40bc	21.30ab	19.36cd	20.20bc	19.36cd	18.73d
10	23.43ab	22.16b	23.73a	20.23c	19.76c	20.13c	19.13c

- จาก 4 ซ้ำสุ่มถอนมาวัดซ้ำละ 10 ต้น วัดความสูงต้นและความยาวราก วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
- ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญตามข้อมูลแนวนอนของตาราง
- เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ที่ใช้ปรับค่าความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ให้มีค่า optical density (OD) เท่ากับ 0.2 ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (ความเข้มข้น 1×10^8 cfu/ml) อัตราการใช้ 250 มิลลิลิตรต่อน้ำ 15 ลิตร
- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)
- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)



ภาพที่ 8 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตด้านความยาวรากของข้าวในแต่ละสัปดาห์

- จาก 4 ซ้ำสุ่มถอนมาวัดซ้ำละ 10 ต้น วัดความสูงต้นและความยาวราก วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
- เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ที่ใช้ปรับค่าความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ให้มีค่า optical density (OD) เท่ากับ 0.2 ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (ความเข้มข้น 1×10^8 cfu/ml) อัตราการใช้ 250 มิลลิลิตรต่อน้ำ 15 ลิตร
- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)
- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)

6.1.3 ผลผลิตรวมของข้าว

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 โดยการวัด yield components เบื้องต้นจากน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด พบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด (กรัม) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ปลูกเมล็ดและฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ดสูงที่สุด เท่ากับ 29.34 กรัม รองลงมา คือ สายพันธุ์ LBR13, LBR55, LBR34 และ LBR67 โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด 27.82, 27.36, 26.90 และ 26.32 กรัม ตามลำดับ เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด 28.78 กรัม และ 26.60 กรัมตามลำดับ (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 น้ำหนักแห้งเมล็ดข้าว 1,000 เมล็ด (กรัม)

กรรมวิธี	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)
1 (LBR10)	29.34a
2 (LBR13)	27.82c
3 (LBR34)	26.90e
4 (LBR55)	27.36d
5 (LBR67)	26.32g
6. conv.	28.78b
7. n-chem.	26.60f

- จาก 4 ซ้ำสุ่มเก็บตัวอย่างรวงข้าวข้าวละ 10 รวง นำมาคัดเลือกเมล็ดเต็มสมบูรณ์ 1,000 เมล็ด อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้ง วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
- ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญตามข้อมูลแนวดิ่งของตาราง
- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)
- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)

6.2 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 ในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงศัตรูพืชที่สำคัญ เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)

โดยสุ่มสำรวจ 2 วิธีดังนี้

6.2.1 สุ่มนับแมลงโดยใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (quadrate)

จากการสุ่มนับแมลงศัตรูข้าวโดยใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (quadrate) ทั้ง 3 ครั้ง ที่ข้าวอายุ 28 วัน, 56 วัน และ 70 วัน ผลการทดลองพบว่า แมลงศัตรูพืชส่วนใหญ่ที่พบ คือ เพลี้ยกระโดดและเพลี้ยจักจั่น พบเกาะอยู่ตามโคนต้นเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้จากการสำรวจยังพบแมลงในกลุ่มของแมลงศัตรูข้าวอื่นๆ คือ เพลี้ยจักจั่นเขียว เพลี้ยกระโดดหลังขาว บั่ว และหนอนห่อใบข้าว จากการสุ่มสำรวจแมลงศัตรูพืชโดยใช้ quadrate ทั้ง 3 ครั้งที่ข้าวอายุ 28, 56 และ 70 วัน พบว่ากรรมวิธี conventional control พบปริมาณแมลงศัตรูพืชเฉลี่ยน้อยที่สุดทั้ง 3 ช่วงอายุของข้าว คือ 32.3, 56.8 และ 57.0 ตัวต่อ 1 quadrate แต่ที่ข้าวอายุ 28 วัน พบว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรีย LBR10 มีปริมาณแมลงศัตรูพืชเฉลี่ย 32.5 ตัวต่อ 1 quadrate มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธี conventional control และที่ข้าวอายุ 70 วัน กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรีย LBR10 และ LBR55 มีปริมาณแมลงศัตรูพืช 57.3 และ 61.3 ตัวต่อ 1 quadrate มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี conventional control (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 ปริมาณแมลงศัตรูพืชจากการสุ่มสำรวจโดยใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ข้าวอายุต่างๆ

อายุข้าว (วัน)	ปริมาณแมลงศัตรูพืชที่สำรวจพบจากการใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ตัว)						
	1 (LBR10)	2 (LBR13)	3 (LBR34)	4 (LBR55)	5 (LBR67)	6 (conv.)	7 (n-chem.)
28	32.5a	40.8ab	47.5ab	48.8b	46.3ab	32.3a	55.8b
56	123.8d	72.3ab	87.3bc	74.5b	76.8bc	56.8a	93.0c
70	57.3a	71.8ab	76.3ab	61.3a	78.0ab	57.0a	89.0b

- สุ่มสำรวจแมลง 3 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 28 วัน (ช่วงเจริญเติบโตทางลำต้น), 56 วัน (ช่วงเจริญพันธุ์) และ 70 วัน (ช่วงพัฒนาการของเมล็ด)
- วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์
- ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญตามข้อมูลแนวนอนของตาราง
- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)
- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)

จากการสุ่มนับแมลงศัตรูธรรมชาติโดยใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (quadrate) ทั้ง 3 ครั้งที่ข้าวอายุ 28, 56 และ 70 วัน พบว่าที่ข้าวอายุ 28 วัน กรรมวิธีที่ 3 (LBR34) และกรรมวิธีที่ 5 (LBR67) มีปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติมากที่สุดและมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ 44.0 และ 46.8 ตัวต่อ 1 quadrate ที่ข้าวอายุ 56 วัน กรรมวิธีที่ 2 (LBR13) มีปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติมากที่สุดคือ 30.3 ตัวต่อ 1 quadrate มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีอื่นๆ และที่ข้าวอายุ 70 วันในทุกกรรมวิธีปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติเฉลี่ยที่ได้จากการสุ่มสำรวจโดยใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ข้าวอายุต่างๆ

อายุข้าว (วัน)	ปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติที่สำรวจพบจากการใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ตัว)						
	1 (LBR10)	2 (LBR13)	3 (LBR34)	4 (LBR55)	5 (LBR67)	6 (conv.)	7 (n-chem.)
28	32.3ab	33.8ab	44.0b	37.0ab	46.8b	21.0a	44.0b
56	27.0ab	30.3b	23.5ab	25.3ab	18.5ab	16.3a	22.0ab
70	12.3a	19.3a	20.5a	21.8a	20.3a	12.8a	23.0a

- สุ่มสำรวจแมลง 3 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 28 วัน (ช่วงเจริญเติบโตทางลำต้น), 56 วัน (ช่วงเจริญพันธุ์) และ 70 วัน (ช่วงพัฒนาการของเมล็ด)
- วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์
- ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญตามข้อมูลแนวนอนของตาราง
- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)
- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)

จากการสุ่มนับแมลงศัตรูธรรมชาติโดยใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (quadrate) ทั้ง 3 ครั้ง พบแมลงในกลุ่มของแมลงศัตรูธรรมชาติ ด้วยกัน 6 ชนิด โดยมีวนเขียวคูดไข่ พบปริมาณมากที่สุด 8.6 ตัวต่อ 1 quadrate รองลงมาเป็นกรรมวิธีที่ 5 (LBR67) พบจำนวนวนเขียวคูดไข่ 8.1 ตัวต่อ 1 quadrate ในขณะที่กรรมวิธีที่ใช้สารเคมี หรือกรรมวิธีที่ 6 (conventional) พบวนเขียวคูดไข่เพียง 3 ตัวต่อ 1 quadrate นอกจากนี้ยังพบ ตัวงักกระดก แมลงปอ ตัวเต่า แมงมุม และ แตนเบียน โดยแมลงศัตรูธรรมชาติที่พบส่วนใหญ่จะเป็นวนเขียวคูดไข่ และตัวงักกระดก พบแมงมุมทำรังอยู่ทั่วไปในแปลง และพบตัวงักกระดกเป็นจำนวนมากในช่วงเจริญพันธุ์ที่ข้าวอายุประมาณ 56 วัน และ ช่วงพัฒนาการของเมล็ดที่ข้าวอายุประมาณ 70 วัน สำหรับแมลงศัตรูพืช พบด้วยกัน 5 ชนิด คือ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นเขียว เพลี้ยกระโดดหลังขาว บั่ว และหนอนผีเสื้อกลางคืน ศัตรูข้าว โดยปริมาณแมลงศัตรูข้าวมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ปริมาณแมลงเฉลี่ยรวมทั้ง 3 สัปดาห์ที่สำรวจได้จากการใช้ quadrate

ชนิดแมลง	ปริมาณแมลงเฉลี่ยที่สำรวจพบจากการใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ตัว)						
	กรรมวิธี						
	1 (LBR10)	2 (LBR13)	3 (LBR34)	4 (LBR55)	5 (LBR67)	6 (conv.)	7 (n-chem.)
พนต.	16.75a	12.25a	17.33a	15.41a	19.16a	12.75a	20.66a
พลข.	36.41a	27.33a	32.33a	19.91a	21.75a	19.58a	32.33a
พจข.	13.33a	16.58a	14.91a	19.75a	18.91a	12.25a	19.91a
บั่ว	0.45a	0.65a	1.00a	1.35a	1.05a	0.60a	0.90a
ผีเสื้อกลางคืน	5.65a	6.80a	7.45a	6.70a	10.15a	5.15a	8.10a
มวนเขียวคุดไข่	4.50a	6.08a	6.60a	7.50a	8.10a	3.35a	8.60a
ด้วงก้นกระดก	7.55ab	7.85ab	8.25ab	6.45b	6.70ab	4.10a	7.95b
แมลงปอ	5.80a	6.40a	7.25a	5.25a	5.95a	3.15a	5.60a
ด้วงเต่า	3.98a	4.45a	4.45a	5.65a	5.55a	3.20a	5.80a
แมงมุม	1.90a	1.60a	2.85a	2.50a	1.95a	1.20a	1.80a
แตนเบียน	0.08a	1.17a	1.33a	1.08a	1.00a	0.17a	0.25a

- สุ่มสำรวจแมลง 3 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 28 วัน (ช่วงเจริญเติบโตทางลำต้น), 56 วัน (ช่วงเจริญพันธุ์) และ 70 วัน (ช่วงพัฒนาการของเมล็ด)

- วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

- ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญตามข้อมูลแนวนอนของตาราง

- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)

- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)

- พนต. = เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, พลข. = เพลี้ยกระโดดหลังขาว, พจข. = เพลี้ยจักจั่นเขียว

6.2.2 สุ่มนับแมลงแบบติดตั้งกับดักกาวเหนียว (sticky traps)

จากการสุ่มนับแมลงศัตรูข้าวแบบติดตั้งกับดักกาวเหนียว (sticky traps) 10 ครั้ง ที่ต้นข้าวอายุ 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 และ 84 วัน ผลการทดลองพบว่า ศัตรูพืชส่วนใหญ่พบตระกูลเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยในกรรมวิธีไม่ใส่ปัจจัยใดๆ พบจำนวนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมากที่สุด 21.14 ตัว รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 3 (LBR34), 5 (LBR67), 4 (LBR55), 2 (LBR13), กรรมวิธีที่ 6 (Conventional) และกรรมวิธีที่ 1 (LBR10) โดยพบเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 15.22, 15.22, 14.49, 14.21, 13.97 และ 13.1 ตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

นอกจากนี้ยังพบแมลงศัตรูข้าวอื่นๆ คือ เพลี้ยกระโดดหลังขาว เพลี้ยจักจั่นเขียว บั่ว และหนอนห่อใบข้าว โดยแมลงศัตรูข้าวที่พบส่วนใหญ่อยู่ในตระกูลเพลี้ยจักจั่นและเพลี้ยกระโดด โดยการสุ่มสำรวจโดยใช้ sticky traps ทั้ง 10 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 6 และ 8 กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียในทุกสายพันธุ์ ปริมาณแมลงศัตรูพืชมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี conventional control ในสัปดาห์ที่ 4 ของการสำรวจพบว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR55, และ LBR67 มีปริมาณแมลงศัตรูพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี conventional control ในสัปดาห์ที่ 9 ของการสำรวจพบว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 มีปริมาณแมลงศัตรูพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี conventional control ในสัปดาห์สำรวจที่ 3 และ 7 กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มีปริมาณแมลงศัตรูพืชน้อยกว่ากรรมวิธี conventional control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในสัปดาห์สำรวจที่ 10 กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีปริมาณแมลงศัตรูพืชน้อยกว่ากรรมวิธี conventional control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 ปริมาณแมลงศัตรูพืชจากการวางกับดักกาวเหนียวที่ข้าวอายุต่างๆ

สัปดาห์ที่	ปริมาณแมลงศัตรูพืชที่สำรวจพบจากกับดักกาวเหนียว (ตัว)						
	1 (LBR10)	2 (LBR13)	3 (LBR34)	4 (LBR55)	5 (LBR67)	6 (conv.)	7 (n-chem.)
1	12.3a	15.8a	17.5a	18.8a	17.5a	17.8a	34.3b
2	17.3a	27.3a	23.8a	25.5a	20.3a	21.3a	54.3b
3	34.8ab	29.3a	45.3cd	32.8ab	51.0d	44.5bc	68.0e
4	20.5a	27.5ab	33.8b	20.5a	24.0a	22.8a	37.0b
5	49.5ab	65.0cd	54.8bc	62.3cd	71.0d	42.8a	87.0e
6	43.8a	58.5a	61.3a	62.8a	52.5a	45.8a	65.5a
7	54.3ab	38.0a	70.0b	68.0b	49.5ab	68.0b	76.3b
8	34.5a	47.8a	40.3a	45.0a	48.8a	41.8a	70.5b
9	86.8ab	74.0a	77.3a	67.8a	78.3a	70.3a	106.0b
10	57.8a	67.5ab	73.5ab	65.8ab	71.5ab	64.3ab	79.5b

- กลุ่มสำรวจแมลง 10 ครั้ง ที่ต้นข้าวอายุ 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 และ 84 วัน

- วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

- ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญตามข้อมูลแนวนอนของตาราง

- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)

- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)

จากการสุ่มนับแมลงศัตรูธรรมชาติแบบติดตั้งกับดักกาวเหนียว (sticky traps) 10 ครั้ง พบแมลงในกลุ่มของแมลงศัตรูธรรมชาติด้วยกัน 6 ชนิด คือ มวนเขียวคุดไข่ ตัวงั่นกระดก แมลงปอ ตัวงเต่า แมงมุม และ แตนเบียน โดยแมลงที่พบส่วนใหญ่เป็นแตนเบียน พบมากในทุกช่วงระยะการเจริญ โดยการสุ่มสำรวจแมลงศัตรูธรรมชาติโดยใช้ sticky traps พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 ถึง สัปดาห์ที่ 9 กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียและกรรมวิธี non-chemical control พบปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติสูงกว่ากรรมวิธี conventional control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในสัปดาห์ที่ 10 ในกรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 พบปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติน้อยที่สุด ในขณะที่กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13, LBR34, LBR67 และ กรรมวิธี conventional control ปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 ปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติจากการวางกับดักกาวเหนียวที่ข้าวอายุต่างๆ

สัปดาห์ที่	ปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติที่สำรวจพบจากกับดักกาวเหนียว (ตัว)						
	1 (LBR10)	2 (LBR13)	3 (LBR34)	4 (LBR55)	5 (LBR67)	6 (conv.)	7 (n-chem.)
1	54.5ab	53.8ab	62.5b	63.0b	56.0ab	34.0a	42.0ab
2	61.0cd	58.8cd	68.5d	61.0cd	61.3cd	33.0a	50.3b
3	58.8cd	73.5d	38.3ab	41.0ab	48.3bc	29.5a	49.8bc
4	50.8c	41.3ab	43.0bc	32.3ab	38.0ab	30.0a	38.8ab
5	59.0b	48.8b	44.8b	50.8b	41.3b	23.8a	50.3b
6	57.3ab	61.3b	59.0b	56.5ab	59.0b	31.0a	69.0b
7	80.0b	72.0b	72.3b	77.3b	57.3ab	36.0a	81.0b
8	53.8b	56.0b	39.8ab	56.8b	60.0b	24.0a	44.3ab
9	51.8b	64.5cd	51.0b	73.5d	55.3bc	34.3a	46.5b
10	41.0a	50.0ab	54.3ab	61.5bc	53.5ab	48.0ab	64.0c

- กลุ่มสำรวจแมลง 10 ครั้ง ที่ต้นข้าวอายุ 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 และ 84 วัน

- วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

- ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญตามข้อมูลแนวนอนของตาราง

- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)

- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)

จากการสุ่มนับแมลงโดยใช้กับดักกาวเหนียว (sticky traps) ทั้ง 10 ครั้ง พบแมลงในกลุ่มของแมลงศัตรูธรรมชาติ ด้วยกัน 6 ชนิด คือ มวนเขียวคุดไข่ ค้างคาวกระดก แมลงปอ ค้างคาว เต่า แมงมุม และ แตนเบียน โดยแมลงศัตรูธรรมชาติที่พบส่วนใหญ่จะเป็นแตนเบียน พบติดกับดักกาวเหนียวเป็นจำนวนมาก โดยปริมาณแตนเบียนในกรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียทดสอบและกรรมวิธี non-chemical control มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี conventional control (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 ปริมาณแมลงเฉลี่ยรวมทั้ง 10 สัปดาห์ที่สำรวจได้โดย sticky traps

ชนิดแมลง	ปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติเฉลี่ยที่สำรวจพบจากการใช้กับดักกาวเหนียว (ตัว)						
	กรรมวิธี						
	1 (LBR10)	2 (LBR13)	3 (LBR34)	4 (LBR55)	5 (LBR67)	6 (conv.)	7 (n-chem.)
พนด.	15.8a	17.0a	16.6a	14.35a	17.02a	12.72a	19.87a
พลข.	13.37a	14.65a	17.6a	18.47ab	16.2a	16.55a	24.22b
พจข.	10.3a	11.25a	11.8a	10.95a	12.57a	12.97a	20.0b
บั่ว	1.53a	2.13a	3.65a	3.08a	2.43a	1.65a	3.73a
ผีเสื้อกลางคืน	0.00a	0.03a	0.08a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a
มวนเขียวคุดไข่	2.13a	2.33a	2.03a	2.26a	1.60a	0.98a	2.08a
ด้วงก้นกระดก	1.25ab	1.73b	1.43ab	1.50b	0.95ab	0.30a	1.75b
แมลงปอ	1.58b	1.00ab	1.28ab	1.33ab	1.18ab	0.55a	1.18ab
ด้วงเต่า	1.98b	2.63b	1.40ab	1.58ab	1.78ab	0.65a	2.18b
แมงมุม	1.50b	1.53b	1.53b	1.50b	0.98ab	0.50a	1.30ab
แตนเบียน	48.35b	48.78b	45.68b	49.08b	46.50b	29.38a	45.10b

- สุ่มสำรวจแมลง 10 ครั้ง ที่ต้นข้าวอายุ 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 และ 84 วัน
- วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

- ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญตามข้อมูลแนวนอนของ

ตาราง

- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)
- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)
- พนด. = เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, พลข. = เพลี้ยกระโดดหลังขาว, พจข. = เพลี้ยจักจั่นเขียว

6.3 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำภูมิคุ้มกันด้านทานของข้าว ด้วยการวิเคราะห์ปริมาณ enzymes (Peroxidase, β -1,3 glucanase)

จากการเก็บตัวอย่างต้นข้าวที่ปลูกเมล็ดและพ่นด้วยแบคทีเรีย สายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 ผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกเมล็ดด้วยเชื้อแบคทีเรีย สายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 ตรวจพบปริมาณการสะสมเอนไซม์ Peroxidase และ เอนไซม์ β -1,3-glucanase สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม

6.3.1 ผลการสะสมเอนไซม์ Peroxidase

ในการเก็บตัวอย่างใบข้าวครั้งที่ 1 เก็บวัดเมื่อข้าวมีอายุ 2 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ปลูกเมล็ดก่อนปลูกด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR34, LBR13, LBR10 และ LBR67 โดยมีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 6.825, 6.688, 6.429, 6.077 และ 6.016 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 3.892 และ 3.926 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$ (ตารางที่ 19)

ครั้งที่ 2 เก็บวัดเมื่อข้าวมีอายุ 4 สัปดาห์ พบว่ากรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด คือ 5.362 รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR34, LBR67, LBR10 และ LBR55 โดยมีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 5.204, 5.177, 5.068 และ 4.829 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 3.872 และ 3.302 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$ (ตารางที่ 19)

ครั้งที่ 3 เก็บวัดเมื่อข้าวมีอายุ 6 สัปดาห์ ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด คือ 5.610 รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10, LBR67 และ LBR34 โดยมีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 5.511, 5.440 และ 5.390 และสายพันธุ์ที่มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase น้อยที่สุด คือ LBR13 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase 5.322 เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 3.803 และ 3.899 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{protein}$ (ตารางที่ 19)

ครั้งที่ 4 เก็บวัดเมื่อข้าวมีอายุ 8 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR67 และ LBR55 โดยมีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 7.811, 5.747, 5.540, 5.244 และ 5.097 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เท่ากับ 3.318 และ 3.699 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{protein}$ (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ Peroxidase ที่ข้าวอายุต่างๆ ในสภาพไร่นา

สัปดาห์ที่	ค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase ที่ต้นข้าวอายุต่างๆ ในสภาพแปลงเกษตรกร						
	กรรมวิธี						
	LBR10	LBR13	LBR34	LBR55	LBR67	conv.	n-chem
2	6.077	6.429	6.688	6.825	6.016	3.892	3.926
4	5.068	5.362	5.204	4.829	5.177	3.872	3.302
6	5.511	5.322	5.390	5.610	5.440	3.803	3.899
8	5.747	5.540	7.811	5.097	5.244	3.318	3.699

- สูตรในการวิเคราะห์ค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase

$$PO = \frac{0.1074 \times (\text{Average absorbance}) + 0.8329}{\text{Total protein}} \quad \text{หน่วย } \text{min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$$

- หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$

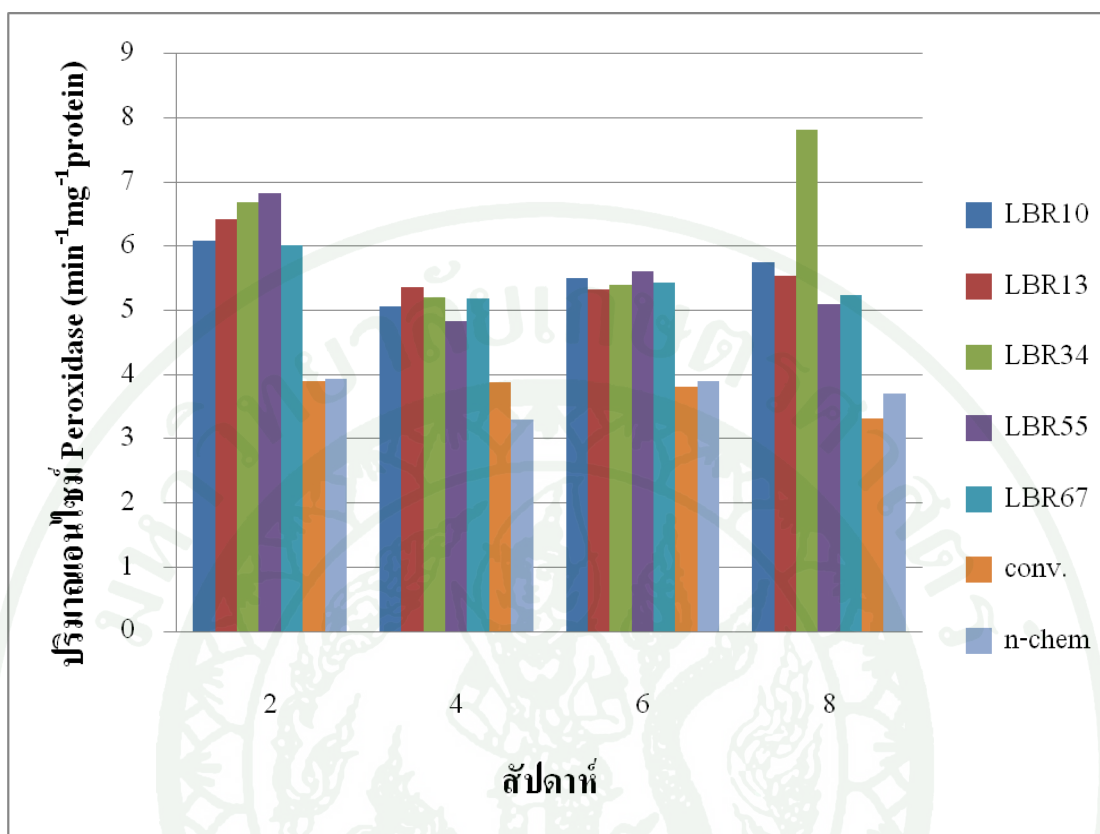
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer

- คลุกเมล็ดด้วยเชื้อแบคทีเรียก่อนปลูก และพ่นเชื้อแบคทีเรีย 3 ครั้ง ที่ข้าวอายุ 21, 35 และ 49 วัน

- สุ่มถอนต้นข้าวนำมาวัดเอนไซม์ Peroxidase 4 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 14 วัน ครั้งที่ 2 ที่ข้าวอายุ 28 วัน ครั้งที่ 3 ที่ข้าวอายุ 42 วัน และครั้งที่ 4 ที่ข้าวอายุ 56 วัน

- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)

- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)



ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ Peroxidase ที่ข้าวอายุต่างๆ ในสภาพแปลงเกษตรกร

- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)
- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)
- หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

6.3.2 ผลการสะสมเอนไซม์ β -1,3 glucanase

จากการเก็บตัวอย่างต้นข้าวที่ปลูกเมล็ดก่อนปลูกและฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 (ความเข้มข้น 10^4 โคโลนี/มิลลิลิตร พร้อมเติมสารจับใบ/ลดแรงตึงผิว (Tension T7) 0.01 เปอร์เซ็นต์) อัตราส่วน เมล็ดต่อ suspension เท่ากับ 10: 2 กรัม/มิลลิลิตร นาน 3-5 นาที และปลูกทันทีในดินที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ ผลการทดลองพบว่าต้นข้าวที่ปลูกเมล็ดด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 ตรวจพบปริมาณการสะสมเอนไซม์ β -1,3 glucanase สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม

จากตารางที่ 20 พบว่า ครั้งที่ 1 เก็บวัดเมื่อข้าวมีอายุ 2 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ปลูกเมล็ดก่อนปลูกด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR67 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR55 และ LBR34 โดยมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 21.343, 20.090, 17.292, 16.498 และ 15.981 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 16.186 และ 15.565 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

ครั้งที่ 2 เก็บวัดเมื่อข้าวมีอายุ 4 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR13, LBR55, LBR34 และ LBR67 โดยมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 24.344, 21.547, 16.293, 15.691 และ 14.341 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 13.313 และ 13.959 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$ (ตารางที่ 20)

ครั้งที่ 3 เก็บวัดเมื่อข้าวมีอายุ 6 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR55, LBR34, LBR10 และ LBR67 โดยมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 22.640, 22.124, 20.394, 18.793 และ 18.766 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 14.440 และ 15.282 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$ (ตารางที่ 20)

ครั้งที่ 4 เก็บวัดเมื่อข้าวมีอายุ 8 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR55 และ LBR67 โดยมีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 27.602, 23.488, 21.906, 17.518 และ 16.045 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) และกรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เท่ากับ 13.472 และ 14.072 ตามลำดับ หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$ (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรีย ในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ β -1,3 glucanase ที่ข้าวอายุต่างๆ ในสภาพไร่นา

สัปดาห์ที่	ค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase ที่ต้นข้าวอายุต่างๆ ในสภาพแปลงเกษตรกร						
	กรรมวิธี						
	LBR10	LBR13	LBR34	LBR55	LBR67	Conv.	negative
2	20.090	17.292	15.981	16.498	21.343	16.186	15.565
4	24.344	27.547	15.691	16.293	14.341	13.313	13.959
6	18.793	22.640	20.394	22.124	18.766	14.440	15.282
8	23.488	21.906	27.602	17.518	16.045	13.472	14.072

- สูตรในการวิเคราะห์ค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase

$$\beta\text{-1,3 glucanase} = \frac{1.4622 \times (\text{Average absorbance}) + 0.0152}{\text{Total protein}}$$

- หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

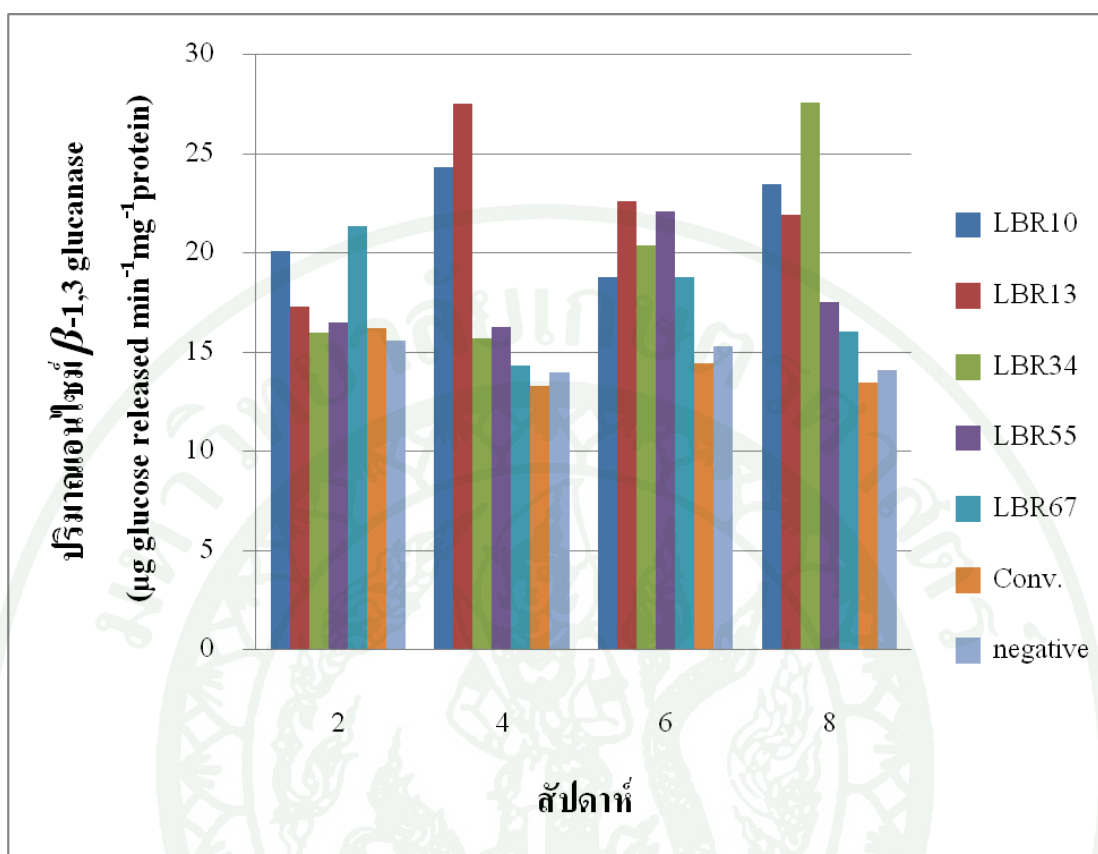
- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer

- คลุกเมล็ดด้วยเชื้อแบคทีเรียก่อนปลูก และพ่นเชื้อแบคทีเรีย 3 ครั้ง ที่ข้าวอายุ 21, 35 และ 49 วัน

- สุ่มถอนต้นข้าวนำมาวัดเอนไซม์ β -1,3 glucanase 4 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 14 วัน ครั้งที่ 2 ที่ข้าวอายุ 28 วัน ครั้งที่ 3 ที่ข้าวอายุ 42 วัน และครั้งที่ 4 ที่ข้าวอายุ 56 วัน

- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)

- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)



ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรีย ในการชักนำให้ต้นข้าวสร้างเอนไซม์ β -1,3 glucanase ที่ข้าวอายุต่างๆ ในสภาพแปลงเกษตรกร

- conv. = กรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control)
- n-chem. = กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control)
- หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

วิจารณ์

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในห้องปฏิบัติการ พบว่าในแต่ละช่วงเวลาถึงเมื่ออัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจะมีความแตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม แต่เมื่ออัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลค่อนข้างต่ำเนื่องจากปากของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเป็นปากแบบเจาะดูด เจาะผ่านผิวหนังเข้าไปดูดกินน้ำเลี้ยง ซึ่งเชื้อแบคทีเรียที่มีกลไกกำจัดแมลง เช่นกลไกการเข้าทำลายของ *Bacillus thuringiensis* (BT) แมลงจะต้องกินส่วนของพืชที่เคลือบด้วยเชื้อ BT ในปริมาณที่มากพอที่จะส่งผลกระทบต่อแมลง แบคทีเรีย BT จะเข้าทำลายแมลงได้ โดยแมลงกินแบคทีเรีย BT ซึ่งมีส่วนประกอบของสปอร์และผลึกโปรตีนเข้าไปในกระเพาะอาหาร สภาพความเป็นด่างในกระเพาะอาหารส่วนกลางจะช่วยย่อยสลายผลึกโปรตีนขนาดใหญ่ให้ได้ protoxin และน้ำย่อยโปรตีน (protease) จะช่วยย่อยสลาย protoxin ได้สารพิษเข้าทำลายเซลล์ผนังกระเพาะอาหาร สารพิษจาก BT สายพันธุ์ต่างๆ จะเฉพาะเจาะจงกับจุดเข้าทำลาย (receptor site) ที่ผนังกระเพาะอาหารของแมลงแต่ละชนิด เมื่อเซลล์ผนังกระเพาะอาหารถูกทำลายจะบวมและแตกออก เกิดเป็นรอยแยกที่ผนังกระเพาะอาหาร ทำให้อาหาร ของเหลว และเอนไซม์ต่างๆ ที่มีอยู่ภายในกระเพาะอาหารซึ่งมีสภาพเป็นด่างไหลออกมาปะปนกับน้ำเลือดในช่องว่างของลำตัวแมลงซึ่งมีสภาพเป็นกรด มีผลให้แมลงหยุดกินอาหาร เคลื่อนไหวเชื่องช้า แสดงอาการโลหิตเป็นพิษ ชักกระตุก เป็นอัมพาตและตายในที่สุด สอดคล้องกับพฤติกรรมการกินของหนอนศัตรูพืชต่างๆ ที่มีการกัดกินใบหรือส่วนของพืชเป็นจำนวนมาก จึงมีโอกาสได้รับเชื้อ BT เข้าไปมากกว่า แต่สำหรับพฤติกรรมการกินโดยการเจาะผ่านผิวหนังเข้าไปดูดกินน้ำเลี้ยงของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จึงทำให้ไม่ได้รับเชื้อแบคทีเรียโดยตรง หรือในปริมาณมากพอที่จะส่งผลกระทบต่ออัตราการตายได้เท่าที่ควร เช่นเดียวกันกับผลของอัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับโรงเรือนปลูกทดลอง ในแต่ละช่วงเวลามีความใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าเชื้อแบคทีเรียที่นำมาทดสอบไม่ได้ส่งผลต่ออัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้มากพอที่จะสามารถส่งเสริมให้มีการใช้เชื้อแบคทีเรียในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลโดยตรง แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลครั้งนี้ มีการใช้ความเข้มข้นของสารละลายเชื้อแบคทีเรียที่ความเข้มข้นเดียว (ความเข้มข้น

ของเชื้อ 1×10^8 cfu/ml) ในอนาคตหากมีการศึกษาเพิ่มเติม ควรมีการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายเชื้อแบคทีเรียต่ออัตราการตายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลควบคู่กับการทดลองอื่นๆด้วย

การทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพหลอดทดลองของเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดสอบในขั้นตอนที่ 2.1 จำนวน 5 สายพันธุ์ได้แก่ สายพันธุ์ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 พบว่าที่ 6 วันหลังเริ่มทดลองมีเชื้อแบคทีเรีย 4 สายพันธุ์ที่ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตายได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยสายพันธุ์ LBR34 ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีอัตราการตายสูงสุดที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สายพันธุ์ LBR55 ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตาย 46.7 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้แบคทีเรียทุกสายพันธุ์ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตายได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมเปรียบเทียบ (จุ่มน้ำเปล่า) ซึ่งเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตายเพียง 16.7 เปอร์เซ็นต์ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในกรรมวิธีเปรียบเทียบตายทั้งหมดที่ 11 วันหลังเริ่มทดลอง เมื่อทำการตรวจสอบต้นข้าวในแต่ละหลอดทดลองโดยละเอียด พบว่าในสภาพการทดลองลักษณะนี้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในทุกกรรมวิธีรวมทั้งกรรมวิธีเปรียบเทียบไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ โดยตรวจไม่พบทั้งไข่หรือตัวอ่อน จึงทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าการใช้เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ในการทดสอบมีผลต่ออัตราการขยายพันธุ์ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลหรือไม่ แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบจะมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเคมีไพมีโทรีซิน แต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเป็นอันตรายต่อตัวห้ำ ตัวเบียน และสิ่งมีชีวิตอื่นในระบบนิเวศนาข้าว แบคทีเรียเหล่านี้อาจนำไปใช้เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการจัดการเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลแบบผสมผสานได้

ในส่วนของผลการทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างเอนไซม์ Proteinase พบว่าเชื้อแบคทีเรียที่นำมาทดสอบสามารถสร้างบริเวณใสในการทดสอบ enzyme assay ในระดับห้องปฏิบัติการ ได้อีกทั้งผลการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการชักนำการผลิตเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase ทั้งในระดับโรงเรือนปลูกทดลองและระดับแปลงปลูกเกษตรกร เชื้อแบคทีเรียที่นำมาทดสอบยังสามารถกระตุ้นให้พืชสร้างเอนไซม์ย่อยสลาย Peroxidase และ β -1,3 glucanase ได้สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม conventional และ non-chemical control ซึ่ง

เอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดเป็นเอนไซม์มีประโยชน์ โดย Peroxidase เป็น oxidase enzyme ที่พบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูง มีหน้าที่สลาย peroxide ที่ได้โดยการสะสมจากกระบวนการ metabolism ในเซลล์ พบว่า Peroxidase มีบทบาทที่เกี่ยวข้องกับกลไกความต้านทานของพืชต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช ซึ่งปริมาณของ Peroxidase จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อพืชถูกกระตุ้นหรือถูกทำลายโดยเชื้อสาเหตุโรค โดยที่ปริมาณเอนไซม์จะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ที่มีระดับความต้านทานต่างกัน (Reuveni *et al.*, 1992) นอกจากนี้ในเนื้อเยื่อพืชที่ถูกกระตุ้นให้มีการสร้างเอนไซม์ Peroxidase ซึ่ง Peroxidase ยังมีหน้าที่สังเคราะห์ oxidative power มีผลทำให้เกิดการจับกันระหว่างโปรตีนและ phenylpropanoid radicals ทำให้ผนังเซลล์ของพืชแข็งแรงขึ้นต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อราได้ (Yao and Tian, 2005) สำหรับเอนไซม์ β -1,3 glucanase ทำหน้าที่ในการย่อยสลายพันธะ 1,3- β -D-glucosidic linkages ที่เชื่อมต่อกันของ β -1,3 glucan ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในส่วนผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชหลายชนิด ทำให้ผนังเซลล์ของเชื้อราได้รับความเสียหาย (Wang *et al.*, 2003) และ Proteinase ทำหน้าที่ในการย่อยสลายพันธะที่เชื่อมต่อกันของ Protein โดย Proteinase จะช่วยย่อยสลายชิ้นต่างๆ ของผนังลำตัวแมลงได้ (จิระเดช แจ่มสว่าง, 2546) จากการทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทั้งสภาพห้องปฏิบัติการ และโรงเรือนปลูกทดลอง ถึงแม้เชื้อแบคทีเรียจะมีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลต่ำ แต่ผลการทดลองนี้ พบว่าเชื้อแบคทีเรียที่นำมาทดสอบสามารถสร้างเอนไซม์ Proteinase และสามารถชักนำให้ต้นข้าวผลิตเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase ได้ ซึ่งถือว่าการตอบสนองของพืชอย่างหนึ่งที่สามารถถูกกระตุ้นโดยเชื้อแบคทีเรียทดสอบ ในกระบวนการปกป้องตนเองจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคและแมลง อย่างไรก็ตาม การใช้เชื้อแบคทีเรีย ที่สามารถสร้างเอนไซม์ Proteinase และสามารถชักนำการผลิตเอนไซม์ Peroxidase และ β -1,3 glucanase ของพืชนั้น มีแนวโน้มในการพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อการรักษาพืชได้ ซึ่งจะต้องมีการศึกษาและตรวจสอบถึงประสิทธิภาพของเอนไซม์ต่างๆ ในการใช้ประโยชน์ในสภาพแปลงปลูกจริงให้ชัดเจนต่อไป

ในส่วนผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชในระดับแปลงปลูกเกษตรกร พบว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียทดสอบสายพันธุ์ LBR10, LBR13 และ LBR34 สามารถส่งเสริมให้ต้นข้าวมีความสูงต้นและความยาวรากมากกว่ากรรมวิธีควบคุม (conventional

control และ non-chemical control) อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเชื้อแบคทีเรียทดสอบทั้ง 3 สายพันธุ์ มีโอกาสเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์จำพวก Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) ถือเป็นเชื้อที่อาจมีความสามารถสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโต (Phytostimulator) หรือฮอร์โมนพืช (Phytohormone) ได้ โดยสารในกลุ่มที่แบคทีเรียสร้างได้แก่ Auxin, Gibberlin และ Cytokinin ตัวอย่างสกุลของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือ *Azospirillum* และ *Azotobacter* สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramos et al. (2002) ที่พบว่าการใช้แบคทีเรีย *Bacillus Licheniformis* กับการปลูกต้นกล้า Alder (*Alnus glutinosa*) พบว่าสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้น Alder ได้อย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่ได้ใส่เชื้อ ซึ่งพบว่าเป็นบทบาทมาจากสารประกอบกลุ่ม Auxin, Gibberlin ที่ผลิตมาจากแบคทีเรียกลุ่มนี้ หรือการใช้ *B.licheniformis* ร่วมกับ *B.pumilis* กับต้นกล้าของพืช *Pinus pinae* ซึ่งมีความสามารถในการสร้าง Gibberlin พบว่าสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวของใบและความยาวของรากได้สูงกว่าใช้ *Bacillus* เพียงชนิดเดียวอย่างมีนัยสำคัญ (Probanaza et al., 2002) และผลการวัด yield components เบื้องต้นจากน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด พบว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ดสูงที่สุดคือ 29.34 กรัม สูงกว่ากรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามการวัดน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ดในการทดลองนี้ เป็นเพียงการวัด yield components เบื้องต้นที่เป็นส่วนหนึ่งในการวัดปริมาณของผลผลิตข้าว ที่มีทั้งความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง ผลผลิตต่อไร่ เป็นต้น ซึ่งถือว่าการวัดน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ดเพียงอย่างเดียว ยังไม่สามารถตัดสินได้อย่างชัดเจนว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 จะสามารถส่งเสริมให้ข้าวมีผลผลิตต่อไร่สูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ได้ ถึงแม้ว่ากรรมวิธีนี้จะมีน้ำหนักแห้งเมล็ดข้าวเปลือก 1,000 เมล็ดสูงที่สุดก็ตาม ทั้งนี้ยังคงต้องอาศัยการทดลองอื่นประกอบ เพื่อนำมาสรุปผลที่ชัดเจนต่อไปในอนาคต

สำหรับผลของการใช้เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ต่อแมลงศัตรูพืชและศัตรูธรรมชาตินั้น จากการสุ่มสำรวจแมลงศัตรูพืชโดยใช้ quadrat ทั้ง 3 ครั้งที่ข้าวอายุ 28, 56 และ 70 วัน พบว่ากรรมวิธี conventional control มีปริมาณแมลงศัตรูพืชน้อยที่สุดทั้ง 3 ช่วงอายุของข้าว แต่ที่ข้าวอายุ 28 พบว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรีย LBR10 และที่ข้าวอายุ 70 วัน กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรีย

LBR10 และ LBR55 มีปริมาณแมลงศัตรูพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี conventional control ในขณะที่การสุ่มสำรวจโดยใช้ sticky traps ทั้ง 10 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 6 และ 8 กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียในทุกสายพันธุ์ มีปริมาณแมลงศัตรูพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี conventional control ในสัปดาห์ที่ 4 และ 9 ของการสำรวจพบว่า กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียบางสายพันธุ์มีปริมาณแมลงศัตรูพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี conventional control และในสัปดาห์สำรวจที่ 3, 7 และ 10 มีปริมาณแมลงศัตรูพืชน้อยกว่ากรรมวิธี conventional control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติจากการสุ่มสำรวจโดยใช้ quadrat พบว่า ที่ข้าวอายุ 28 และ 56 วัน กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียและกรรมวิธี non-chemical control พบปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติสูงกว่ากรรมวิธี conventional control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการสุ่มสำรวจแมลงศัตรูธรรมชาติโดยใช้ sticky traps พบว่าในสัปดาห์ที่ 1 ถึง สัปดาห์ที่ 9 กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียและกรรมวิธี non-chemical control พบปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติสูงกว่ากรรมวิธี conventional control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการสำรวจแมลงในบางสัปดาห์พบว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียมีแนวโน้มในการพบแมลงศัตรูพืชน้อยกว่าหรือพอกับกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีควบคุมแมลงศัตรูพืช (conventional control) อีกทั้งยังมีการอนุรักษ์แมลงศัตรูธรรมชาติได้ดีกว่ากรรมวิธีที่ใช้สารเคมีควบคุมแมลงศัตรูพืชนอกจากนี้ ทั้งนี้เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืชจะไม่ส่งผลกระทบต่อแมลงศัตรูธรรมชาติโดยตรง เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียควบคุมศัตรูพืชจะเกิดพิษกับแมลงที่กินส่วนของพืชที่เคลือบด้วยเชื้อแบคทีเรียเข้าไปในปริมาณมากพอ จึงจะทำให้แมลงป่วยและตายได้ สอดคล้องกับพฤติกรรมการกินอาหารของศัตรูพืชบางชนิดที่มีการกัดกินส่วนของต้นพืชนั่นเอง และเมื่อถึงกลไกความต้านทานของพืชต่อแมลงทั้ง 3 ลักษณะคือ 1. พืชไม่เหมาะสมในการเป็นที่อยู่อาศัย เป็นอาหารและวางไข่ของแมลง (non-preference) 2. พืชมีกลไกที่ส่งผลต่อชีววิทยา และเมตาบอลิซึมในร่างกายแมลง (antibiosis) และ 3. พืชมีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของแมลงสามารถเจริญเติบโต และทนทานต่อความเสียหายแม้มีแมลงเข้าทำลายเป็นจำนวนมาก (tolerance) (Le Ru and Calatayud, 1994) ทำให้สามารถตั้งสมมติฐานเพิ่มเติมได้ว่าเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพอาจไม่ได้มีความสามารถในการควบคุมแมลงศัตรูพืชเพียงอย่างเดียว หรือสามารถควบคุมแมลงศัตรูพืชได้โดยตรง แต่อาจมีกลไกในการควบคุมศัตรูพืชทางอ้อม เช่น การผลิตสารหรือสร้าง

เอนไซม์บางชนิดที่ทำให้รสชาติพืชเปลี่ยนไปไม่เป็นที่ชื่นชอบของแมลง หรือสามารถชักนำให้พืชผลิตเอนไซม์ต้านทานต่อการเข้าทำลายของแมลง เป็นต้น ทำให้สามารถลดความเสียหายของต้นพืช ลดการเข้าทำลายของแมลงได้ ในการใช้เชื้อแบคทีเรียร่วมในการผลิตข้าวนั้น มีแนวโน้มในการพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อการอารักขาพืชได้ทั้งในด้านการลดต้นทุนจากการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช และการผลิตพืชปลอดภัยจากสารเคมี ซึ่งในอนาคตหากจะมีการนำเชื้อแบคทีเรียไปใช้เป็นองค์ประกอบในการจัดการศัตรูพืช ก็ควรจะต้องมีการศึกษาและตรวจสอบเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ ต้นทุนการนำไปใช้ รวมถึงผลกระทบในการใช้เชื้อแบคทีเรียนี้ ทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการ โรงเรือนปลูกทดลอง และสภาพแปลงปลูกทดลองให้ชัดเจน ก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในแปลงปลูกจริงต่อไปในอนาคต

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการเก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบรากของต้นข้าวที่มีความสมบูรณ์ไม่มีร่องรอยการทำลายของแมลง จากพื้นที่ปลูกข้าวในจังหวัดลพบุรี สามารถนำตัวอย่างดินมาทำการแยกเชื้อแบคทีเรียให้เป็นโคโลนีบริสุทธิ์ได้ 100 สายพันธุ์
2. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าใช้เวลา 96 ชั่วโมง เชื้อแบคทีเรีย 5 สายพันธุ์ได้แก่ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 มีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
3. การทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในสภาพหลอดทดลอง พบว่าสารเคมีไพมีโทรีซินมีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลดีกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่ใช้ทดสอบตายถึง 66.7 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 1 วัน และตายทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 4 วัน ในขณะที่ 6 วันหลังเริ่มทดลองพบว่ามีเชื้อแบคทีเรีย 4 สายพันธุ์ที่ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตายได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยสายพันธุ์ LBR34 ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีอัตราการตายสูงสุดที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สายพันธุ์ LBR55 ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตาย 46.7 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้แบคทีเรียทุกสายพันธุ์ทำให้เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตายได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมเปรียบเทียบ (จุ่มน้ำเปล่า) ซึ่งเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลตายเพียง 16.7 เปอร์เซ็นต์ และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในกรรมวิธีควบคุมเปรียบเทียบตายทั้งหมดที่ 11 วันหลังเริ่มทดลอง

4. ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการสร้างเอนไซม์ proteinase พบว่าเชื้อแบคทีเรีย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55 และ LBR67 มีความสามารถในการสร้างบริเวณใส (clear zone) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่ไม่มีการสร้างบริเวณใส

5. จากการทดสอบประสิทธิภาพการชักนำให้พืชสร้างเอนไซม์ Peroxidase ในระดับโรงเรือนปลูกทดลอง พบว่าในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 กรรมวิธีที่คลุกด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด 4.971 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด 5.284 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR55 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด 5.341 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 4 กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุด 5.791 หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

6. การทดสอบประสิทธิภาพการชักนำให้พืชสร้างเอนไซม์ β -1,3 glucanase ในระดับโรงเรือนปลูกทดลอง พบว่าในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 กรรมวิธีที่คลุกด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด 13.617 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด 13.364 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 กรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR10 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด 15.157 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 4 กรรมวิธีที่พ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุด 16.922 หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

7. ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับโรงเรือนปลูกทดลอง พบว่าอัตราการอยู่รอดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่เวลา 96 ชั่วโมง กรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR13 และ LBR55 มีอัตราการอยู่รอดต่ำที่สุด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกรรมวิธีควบคุม

8. ผลการทดลองในสภาพไร่พบว่า ต้นข้าวพันธุ์หอมปทุมที่ผ่านการคลุกเมล็ดและฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียทั้ง 5 สายพันธุ์ได้แก่ LBR10, LBR13, LBR34, LBR55, LBR67 ที่ข้าวอายุ 84 วัน ค่าเฉลี่ยความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความยาวรากมากที่สุด 23.73 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยความสูงต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ LBR34 มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นมากที่สุดคือ 135.30 เซนติเมตร

9. จากการสุ่มสำรวจแมลงในนาข้าวโดยสังเกตอัตราส่วนระหว่างศัตรูพืชและศัตรูธรรมชาติพบว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียคลุกเมล็ดและฉีดพ่นสำรวจพบปริมาณแมลงศัตรูข้าวในจำนวนที่ใกล้เคียงกับกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ (conventional control) แต่สำรวจพบแมลงศัตรูธรรมชาติในปริมาณที่มากกว่า ในขณะที่กรรมวิธีไม่ใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืช (non-chemical control) สำรวจพบแมลงศัตรูข้าวมากกว่ากรรมวิธีที่ใช้เชื้อแบคทีเรียคลุกเมล็ดและฉีดพ่น และกรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ แต่พบปริมาณแมลงศัตรูธรรมชาติมากกว่ากรรมวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรปฏิบัติ

10. จากการทดสอบประสิทธิภาพการชักนำให้พืชสร้างเอนไซม์ Peroxidase ในระดับแปลงปลูกเกษตรกร พบว่าในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 2 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ 4 (LBR55) มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุดเท่ากับ 6.825 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ข้าวอายุ 4 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ 2 (LBR13) มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุดเท่ากับ 5.362 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ที่ข้าวอายุ 6 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ 4 (LBR55) มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุดเท่ากับ 5.610 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 4 ที่ข้าวอายุ 8 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ 3 (LBR34) มีค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase มากที่สุดเท่ากับ 7.811 หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ Peroxidase เป็น $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

11. การทดสอบประสิทธิภาพการชักนำให้พืชสร้างเอนไซม์ β -1,3 glucanase ในระดับแปลงปลูกเกษตรกร พบว่าในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ที่ข้าวอายุ 2 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ 5 (LBR67) มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุดเท่ากับ 21.343 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ที่ข้าวอายุ 4 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ 2 (LBR13) มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุดเท่ากับ 13.364 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ที่ข้าวอายุ 6 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ 2 (LBR13) มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุดเท่ากับ 22.640 ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 4 ที่ข้าวอายุ 8 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ 3 (LBR34) มีค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase มากที่สุดเท่ากับ 27.906 หน่วยของค่าปริมาณเอนไซม์ β -1,3 glucanase เป็น $\mu\text{g glucose released min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$

ข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันการใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืชได้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพของทั้งเกษตรกรและผู้บริโภค การใช้เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืช การส่งเสริมผลผลิตและการเจริญเติบโตของพืช ถือเป็นอีกหนี่งทางเลือกที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดการใช้สารเคมีควบคุมศัตรูพืชได้ แต่การจัดการศัตรูพืชอย่างผสมผสานทั้ง วิธีเขตกรรม (cultural control) การใช้พันธุ์พืชต้านทานต่อโรคและแมลง วิธีกล (mechanical control) เช่น การใช้มือจับ การเก็บรวบรวมกลุ่มไข่ การไถพรวนดินกำจัดวัชพืช วิธีทางกายภาพ (physical control) เช่น การใช้กับดักกาวเหนียวและกับดักแสงไฟ จนไปถึง การป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยชีววิธี (biological control) โดยการใช้ ตัวห้ำ (predators) และ ตัวเบียน (parasites) ควรนำมาใช้ร่วมกันในการอารักขาพืชด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชให้ดียิ่งขึ้น

สถานที่ทำการทดลองและระยะเวลาทำการวิจัย

1. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
2. แปลงนาทดลองปลูกข้าว ต.หนองแม่ไก่ อ.โพธิ์ทอง จ.อ่างทอง

ระยะเวลา เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2556 - เดือนกันยายน พ.ศ. 2556

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงศัตรูข้าว และเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการชักนำให้ข้าวสร้างเอนไซม์ที่มีผลต่อภูมิคุ้มกันของข้าว รวมไปถึงสามารถนำเชื้อแบคทีเรีย ไปใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแปลงเกษตรกรจริง เพื่อลดต้นทุนในการผลิตข้าว ส่งเสริมการเกษตรยั่งยืน ได้ผลผลิตข้าวที่มีคุณภาพและปลอดภัย เสริมความคุมศัตรูพืชตกค้างในผลผลิต อีกทั้งข้อมูลงานวิทยานิพนธ์สามารถนำไปต่อยอดประกอบเนื้อหาการเรียนการสอน สำหรับนิสิตนักศึกษาในทุกระดับชั้น และมีผลงานวิจัยตีพิมพ์อยู่ในวารสารวิชาการที่มีอยู่ในฐานข้อมูลระดับชาติหรือนานาชาติ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองกัญและสัตววิทยา. 2535. **แมลงและสัตว์ศัตรูที่สำคัญของพืชเศรษฐกิจและการบริหาร**. เอกสารวิชาการ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จิริยา จันทรไพแสง, และ นฤมล สังข์โอธาน. 2553. **เอกสารประกอบรายวิชาฝึกงาน**.

ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จิริยา จันทรไพแสง, ปทุมพร นิมอเนก และเลาจนา เขาวานาติชัย. 2544. **ความหลากหลายของสายพันธุ์ *Bacillus thuringiensis* ที่พบในประเทศไทยและประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงศัตรูพืช**. รายงานการวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

จิริยา จันทรไพแสง, พัฒนา ศรีฟ้า และปทุมพร นิมอเนก. 2544. **การควบคุมหนอนใยผัก (*Plutella xylostella*) ด้วย *Bacillus thuringiensis* สายพันธุ์ไทย**. การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 5 อารักขาพืช: ผลิตอาหารเพื่อประชากรโลก ภาคบรรยาย ระหว่างวันที่ 21-23 พฤศจิกายน 2544 โรงแรมเฟลิกซ์เวิร์คแคว จ.กาญจนบุรี.

จิระเดช แจ่มสว่าง. 2546. **การควบคุมโรคพืชและแมลงศัตรูพืชโดยชีววิธี**. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 194 น.

ทิพย์วดี อรรถธรรม. 2535. **บทปฏิบัติการโรควิทยาของแมลง**. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

นันทนัช พินศรี. 2555. การใช้แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* (Berliner) สายพันธุ์ไทย JC590

เพื่อควบคุมหนอนกระทู้ผัก (*Spodoptera litura* Fabricius) ในไม้ดอกบางชนิด.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 122 หน้า.

พิสุทธิ เอกอำนวย. 2550. โรคและแมลงของพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สายธุรกิจโรง

พิมพ์ บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด มหาชน, กรุงเทพฯ.

มณจันทร์ เมฆธน. 2554. ชีวภัณฑ์ควบคุมศัตรูทางการเกษตรและสาธารณสุข. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท

เท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่น จำกัด. กรุงเทพฯ.

มาลินี โอมนิ. 2536. ความรู้และทัศนคติของเกษตรกรในการป้องกันกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

โดยวิธีผสมผสาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เขวลักษณ์ พุจิตรกานนท์. 2548. คุณลักษณะของยีน *CryI* ที่ควบคุมการสร้างผลึกโปรตีนจาก

Bacillus thuringiensis JC 590. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศรีศักร วัลลิโภดม. 2531. ข้าว: กับพัฒนาการของรัฐในประเทศไทย, น. 70-97. ใน สุจิตต์ วงษ์เทศ,

บรรณาธิการ. ข้าวไพร่-ข้าวเจ้าของชาวสยาม. สำนักพิมพ์ศิลปวัฒนธรรม โรงพิมพ์เรือน

แก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สืบศักดิ์ สนธิรัตน์. 2543. การจัดการศัตรูพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ลิ้นคอรัน, กรุงเทพฯ.

สุกัญญา อรัญมิตร., วันทนา ศรีรัตนศักดิ์., จินตนา ไชยวงศ์ และอุรัสยาน์ บุลย์ประมุข. 2557.

การติดตามความต้านทานต่อสารเคมีป้องกันกำจัดแมลงของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือของไทย. การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืช เมืองหนาว ครั้งที่ 31.

วันที่ 21 - 23 พฤษภาคม 2557. จังหวัดระยอง.

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). 2555. ประวัติความเป็นมาของข้าว.

แหล่งที่มา: <http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice-histories.html>, 20 พฤศจิกายน 2555.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Akhtar, Y. and M.B. Isman. 2004. Comparative growth inhibitory and antifeedant effects of plant extracts and pure allelochemicals on four phytophagous insect species. **J.Appl.Entomol.** 128: 32-38.

Bloemberg, G.V. and Lungtenberg, B.J.J. 2001. Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. **Current Opinion in Plant Biology** 4: 343-350.

Braford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Annal of biochemistry** 72: 284-254.

Boucias, D.G. and J.C. Pendland. 1998. **Principles of insect pathology**. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.

Burges, H.D. and K.A. Jones. 1998. Formulation of Bacteria, Viruses and Protozoa to control insects, pp. 33-127. In H.D. Burges, ed. **Formulation of microbial biopesticide: beneficial micro-organisms, nematode and seed treatments**. Dordrecht, Netherland: Kluwer Academic Publishers, London.

Burges, H.D and N.W. Hussey. 1971. **Microbial Control of Insects and Mites**. Academic Press, New York.

Butt, T.M. 2002. Use of Entomogenous Fungi for the Control of Insect Pests, pp. 111-134. Vol. 6. In K. Esser and J.W. Bennet, eds. **The Mycota A comprehensive Treatise on Fungi as Experimental Systems for Basic and Applied Research**. Springer, Berlin.

Fridlender, M., Inbar, J. and Chet, I. 1993. Biological control of soilborne plant pathogens by a β -1,3-glucanase producing *Pseudomonas cepacia*. **Soil Biol. Biochem.** 25: 1211-1221.

Glick and Pasternack. **Molecular Biotechnology : Principles and Applications of Recombination DNA 2nd Edition**. ASM Press.

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

Heimpel, A.M. and T.A. Angus. 1959. The site of action of crystalliferous bacteria in Lepidoptera larvae. **J. Insect Pathol.** 1:152-170.

Hellriegel, H., and Wilfarth, H. 1888. Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen. **Beilageheft zu der Zeitschrift des Vereins für Rubenzucker-Industrie Deutschen Reichs**, p. 234.

Jensen, G.B., B.M. Hansen, J. Eilenberg and J. Mahillon. 2003. The hidden lifestyles of *Bacillus cereus* and relatives. **Environ. Microbiol.** 5: 631-640.

Le Ru, B., and P.A.Calatayud. 1994. Interactions between cassava and arthropod pest. **Afr. Crop Sci. J.** 2: 385-390.

Martin, P.A. and R.S. Travers. 1989. Worldwide abundance and distribution of *Bacillus thuringiensis* isolates. **Appl. Environ. Microbiol.** 55: 2437-2442.

McGurie, M.R., Shasha, B.S., Eastman, C.E. & Oloumi Sadeghi, H. 1996. Starch-and flour-based sprayable formulations: effect on rainfastness and solar stability of *Bacillus thuringiensis*. **J.Econ. Entomol.**, 89, 863-869.

Neung Teaumroong, Kamonluck Teamtaisong and Nantakorn Boonkerd. 2005. Overview of PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria). **Suranaree J. Sci. Technol.** 12(3):248-257. Received: May 8, 2005; Revised: May 8, 2005; Accepted: Jul 12, 2005

Nishiitsutsuji-Uwo, J. and Y. Endo. 1980. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxin: General characteristics of intoxicated *Bombyx* larvae. **J. Invertebr. Patol.** 35: 219-228.

Pan, S.Q., X.S. ye and J. Kuc. 1991. Association of β -1,3-glucanase activity and isoform pattern with systemic resistance to blue mold in tobacco induced by stem injection with *Peronospora tabacina* or leaf inoculation with tobacco mosaic virus. **Physiol Mol Plant Pathol** 39:25-39.

Phiriyaprasath, S., N. Changkhan and S. Prathuangwong. 2002. Effects of termite mound bacteria on disease incidence and growth of soybean and acacia (abstract). In **Summary of The First International Conference on Tropical and Subtropical Plant Diseases**, November 5-8 2002. Chiangmai, Thailand, 167.

- Prathuangwong S. and N. Buensanteai. 2007. *Bacillus amyloliquefaciens* induced systemic resistance against bacterial pustule pathogen with increased phenols, peroxides and β -1,3-glucanase in soybean plant. **Acta Phytopathol et Entomol Hungarica** 42: 321-330
- Probanaza, A., G.J.A Lucas., P.M. Ruiz., B. Ramos and M.F.J. Gutierrez. 2002. *Pinus pinea* L. Seedling growth and bacterial rhizosphere structure after inoculation with PGPR *Bacillus* (*B. licheniformis* CECT 5106 and *B. pumilus* CECT 5105). **Applied Soil Ecology**, 20:75-84.
- Ramamoorthy, V., T. Raguchander and R.Samiyappan. 2002. Induction of defense-related proteins in tomato roots treated with *Pseudomonas fluorescens* Pf1 and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Plant and soil** 239: 55-68.
- Ramos, B., G.J.A. Lucas., A. Probanza., M.L. Barrientos and M.F.J. Gutierrez. 2002. Alterations in the rhizobacterial community associated with European alder growth when inoculated with PGPR strain *Bacillus licheniformis*. **Environmental and Experimental Botany**, 49:61-68.
- Reuveni. R., M. Shimori., Z. Karchi., and J. Kuc. 1992. Peroxidase activity as biochemical marker for resistance of muskmelon (*Cucumismelo*) to *Pseudoperonospora cubensis*. **Phytopath.** 82: 749-753.
- Sticher L, Mauch-Mani B, Metraux JP. 1997. Systemic acquired resistance. **Annu Rev Phytopathol** 35: 235-270.

- Thowthampitak. J., Choochum. P., and Prathuangwong S. 2009. First Report of Insecticidal Activity of Bacterial Antagonist Strain *Paenibacillus pabuli* SW01/4 on Chinese Kale. In *Proc 9th. Nationnal Plant Protection Conference*. Nov 24-26, 2009. Ubon Ratchatanee, Thailand.
- Thowthampitak. J., and Prathuangwong S. 2009. Thai antagonistic *Bacillus amyloliquefaciens* KPS46 strain induces IAA and GPX for enhanced plant growth and systemic resistance against disease and insect of green soybean. In *Proc The 6th IPM International Symposium*. Porland, Oregon, USA.
- Thowthampitak. J., and Prathuangwong S. 2009. Insecticidal Activity of Integrated Bacterial Antagonist *Paenibacillus pabuli* SW01/4 with Basil (*Ocimum sanctum*) Extract for Chinese Kale Prptection. In *Proc. ISSAAS Conference 2009*. Bankok, Thailand.
- Wang, Y., A. P. Kausch, J. M. Chandlee, H. Lue, B. A. Ruemmele, M. Browning, N. Jackson, and M. R. Goldsmith. 2003. Co-transfer and expression of chitinase, glucanase and *bar* genes in creeping bentgrass for conferring fungal disease resistance. **Plant Sci.** 165:497-506.
- Yao, H., and S. Tian. 2005. Effect of pre- and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet chery fruit in storage. **Postharvest Biot. Technol.** 35: 253-262.
- Zimmerman, P.R., J.P. Greenberg, S.O. Wandiga and P.J. Crtzen. 1982. Termites, a potentially Large source of atmospheric methane. **Science** 218: 563-565.



ภาคผนวก

อาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียและอาหารทดสอบ

1. สูตรเตรียมอาหาร

1.1 Nutrient Agar (NA)

Beef extract	3 กรัม
เปปโตน	5 กรัม
วุ้น	15 กรัม
น้ำกลั่น	1 ลิตร
pH 7.0	(ปรับ pH ด้วย 0.1 N NaOH หรือ 0.1 NH_3PO_4)

1.2 Nutrient Broth (NB)

Beef extract	3 กรัม
เปปโตน	5 กรัม
น้ำกลั่น	1 ลิตร
pH 7.0	(ปรับ pH ด้วย 0.1 N NaOH หรือ 0.1 NH_3PO_4)

1.3 Skim Milk Agar

Skim milk powder	28 กรัม
Yeast extract	2.5 กรัม
Casein enzymic hydrolysate	5 กรัม
Dextrose	1 กรัม
วุ้น	15 กรัม
น้ำกลั่น	1 ลิตร
pH 7.0±0.2	

ตารางที่ 21 จำนวนการตายเฉลี่ยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น
ของเชื้อแบคทีเรีย 100 สายพันธุ์ในการควบคุมเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับ
ห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธี	จำนวนการตายเฉลี่ย (ตัว)			
	เวลา (ชั่วโมง)			
	24	48	72	96
LBR1	0	0	0	0
LBR2	0	0	0	0
LBR3	0.25	0.25	0.5	0.5
LBR4	0	0.5	0.5	0.5
LBR5	0	0	0	0
LBR6	0.5	0.5	0.5	0.5
LBR7	0	0	0	0
LBR8	0	0	0.5	0.5
LBR9	0	0	0	0
LBR10	1	1	2	2
LBR11	0	0	0	0
LBR12	0	0	0.5	0.5
LBR13	0	0.5	2	2.25
LBR14	0	0	0	0
LBR15	0	0	0	0
LBR16	0	0	0	0
LBR17	0	0	0	0.75
LBR18	0	0	0	0
LBR19	0.25	0.25	0.25	0.25

ตารางที่ 21 (ต่อ)

กรรมวิธี	จำนวนการตายเฉลี่ย (ตัว)			
	เวลา (ชั่วโมง)			
	24	48	72	96
LBR20	0	0	0	0
LBR21	0	0	0	0
LBR22	0	0	0.75	0.75
LBR23	0	0	0	0.5
LBR24	0	0	0	0
LBR25	0	0.5	0.5	0.5
LBR26	0	0	0	0
LBR27	0	0	0.75	0.75
LBR28	0	0	0	0
LBR29	0	0.25	0.25	0.25
LBR30	0	0	0	0
LBR31	0.5	0.5	0.5	0.5
LBR32	0	0	0	0
LBR33	0	0	0	0
LBR34	0	0.5	2	2.5
LBR35	0	0	0	0
LBR36	0	0	0	0
LBR37	0	0	0	0
LBR38	0	0	0	0.25
LBR39	0	0	0	0
LBR40	0	0	0	0

ตารางที่ 21 (ต่อ)

กรรมวิธี	จำนวนการตายเฉลี่ย (ตัว)			
	เวลา (ชั่วโมง)			
	24	48	72	96
LBR41	0	0	0.25	0.25
LBR42	0	0	0	0
LBR43	0	0.5	0.5	0.5
LBR44	0	0	0	0
LBR45	0.25	0.25	0.25	0.25
LBR46	0	0	0	0
LBR47	0	0	0	0
LBR48	0.25	0.25	0.25	0.25
LBR49	0	0	0	0
LBR50	0	0	0	0
LBR51	0	0.25	0.25	0.25
LBR52	0	0	0	0
LBR53	0	0	0	0
LBR54	0	0	0	0
LBR55	0	1	1	2.25
LBR56	0	0	0	0
LBR57	0	0	0	0
LBR58	0	0	0	0
LBR59	0.25	0.25	0.25	0.25
LBR60	0	0	0	0
LBR61	0	0	0	0

ตารางที่ 21 (ต่อ)

กรรมวิธี	จำนวนการตายเฉลี่ย (ตัว)			
	เวลา (ชั่วโมง)			
	24	48	72	96
LBR62	0	0	0.75	0.75
LBR63	0	0	0	0
LBR64	0	0	0	0
LBR65	0	0	0	0
LBR66	0.25	0.25	0.25	0.25
LBR67	0	1	1	1
LBR68	0	0	0	0
LBR69	0	0	0	0
LBR70	0	0	0	0
LBR71	0	0	0	0
LBR72	0	0	0	0
LBR73	0	0	0.75	0.75
LBR74	0	0	0	0
LBR75	0	0	0.25	0.25
LBR76	0	0	0	0
LBR77	0	0	0	0
LBR78	0	0	0	0
LBR79	0	0	0	0
LBR80	0	0	0	0
LBR81	0	0	0	0.25
LBR82	0	0	0	0

ตารางที่ 21 (ต่อ)

กรรมวิธี	จำนวนการตายเฉลี่ย (ตัว)			
	เวลา (ชั่วโมง)			
	24	48	72	96
LBR83	0	0	0.5	0.5
LBR84	0	0	0	0
LBR85	0	0	0	0
LBR86	0	0	0	0
LBR87	0	0	0.5	0.5
LBR88	0	0	0	0
LBR89	0	0	0	0
LBR90	0	0	0.5	0.5
LBR91	0	0	0	0
LBR92	0	0	0	0
LBR93	0.25	0.25	0.75	0.75
LBR94	0.25	0.25	0.25	0.25
LBR95	0	0	0	0
LBR96	0	0	0	0
LBR97	0	0	0	0
LBR98	0.5	0.5	0.75	0.75
LBR99	0	0	0	0
LBR100	0	0	0.75	0.75
Control	0	0	0	0

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายสุรศักดิ์ ใจกล้า
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันศุกร์ที่ 14 เมษายน พ.ศ. 2532
สถานที่เกิด	จังหวัดพะเยา
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (การจัดการศัตรูพืช) คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2554)
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ฝ่ายปลูกบำรุงรักษา สำนักงานสวนสาธารณะ สำนักสิ่งแวดล้อม ศาลาว่าการ กทม.2 ถนนมิตรไมตรี แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400