

จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ด้านการเกษตร

Beneficial Microbes in Agriculture

ดุสิต อธิพันธุ์*

สาขาวิชาการจัดการเกษตรอินทรีย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Dusit Athinuwat*

Major of Organic Farming Management, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,
Rangsit Centre, Klong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หลากหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การปกป้องพืชพันธุ์อ่อนแอให้รอดพ้นจากศัตรูพืช โดยบทบาทของจุลินทรีย์เหล่านี้จะช่วยพืชในการตรึงไนโตรเจน ละลายฟอสเฟต และธาตุอาหารพืชชนิดอื่น ๆ ปกป้องพืชจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืชด้วยกลไกการเป็นปรสิตหรือตัวห้ำ การชักนำให้พืชผลิตฮอโมนพืช และการกระตุ้นภูมิคุ้มกันพืชทั้งระบบ ซึ่งจุลินทรีย์หนึ่งสายพันธุ์อาจมีหนึ่งกลไกหรือมากกว่าหนึ่งกลไกที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ตัวอย่าง เช่น แบคทีเรียบริเวณรอบรากพืช (พีจีอาร์) ซึ่งมีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้หลากหลายบทบาท ได้แก่ มีความสามารถในการผลิตสารปฏิชีวนะ การแย่งใช้ธาตุเหล็กจากเชื้อโรค ตลอดจนการชักนำให้พืชมีระบบภูมิคุ้มกันต้านทานโรคจากการรบกวนของศัตรูพืช ซึ่งการใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตรสามารถใช้ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การใส่หรือรดดิน การคลุกเมล็ด หรือจุ่มส่วนขยายพันธุ์พืช รวมทั้งการพ่นต้นพืช แต่อย่างไรก็ดี การคลุกเมล็ดด้วยจุลินทรีย์เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัด ส่วนวิธีการใส่ลงในดินต้องใช้จุลินทรีย์ในปริมาณมาก จึงทำให้สิ้นเปลืองและอาจไม่ได้ผล ถ้าเป็นวิธีการพ่นนิยมใช้ในกรณีที่ต้องการควบคุมเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช ซึ่งอาจทำให้พืชมีผลผลิตเพิ่มมากยิ่งขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถควบคุมศัตรูพืชที่ดื้อสารเคมีได้สำเร็จ แต่หลักสำคัญในการใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์คือควรมีการใช้ซ้ำในพื้นที่เดิมจนกระทั่งเชื้อโรคหรือแมลงศัตรูพืชลดลงจึงจะลดปริมาณการใช้หรือหยุดใช้จุลินทรีย์ได้ ปัจจุบันมีการพัฒนาสูตรสำเร็จหรือผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมเพื่อคงประสิทธิภาพจุลินทรีย์ไม่ให้ลดลง อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่พัฒนาขึ้นควรได้รับการทดสอบในสภาพแปลงปลูกในหลายพื้นที่ก่อนที่จะนำมาใช้ในระบบการผลิตพืชเศรษฐกิจ

คำสำคัญ : จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์, การเกษตร

Abstract

Various kinds of beneficial microbes have been used to enhance the efficiency of plant production, especially protect susceptible crops against plant pests. The microbes may act on the plant by nitrogen fixation, phosphate and other nutrient elements solubilization, prevention of colonization of plants by pathogens, insect pests control by parasitism and predation, induction of plant growth hormones, and induce systemic resistance in host plants. Microbial agents may have one or more mechanisms of action, as in the case of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) which are known to produce many antibiotics, prevent iron utilization by pathogens, and induce resistance in host plant against plant pathogens in addition to exerting a favorable effect on plant growth. Beneficial microbes may be applied in the soil, on the seed and propagating materials, and plants. Seed treatment with beneficial microbes may be the easier and economical method of application. Soil treatment with beneficial microbes requires large quantities of microbe agents and may not be cost-effective. Efforts to control foliage pathogens and insect pests by using beneficial microbes are also intensive. Spray application of beneficial microbes to protect crops has yielded encouraging results, especially when pesticide-resistant pests are prevalent. The majority of beneficial microbes require repeated applications in a location, though in a few cases a one-time inoculative release of the microbe agents may suffice. In recent years, attempts have been made to improve the performance of beneficial microbes by developing suitable formulation or products. Field evaluation of the performance of beneficial microbes under different agroecological conditions has to be taken up before large-scale use of microbe agents can be considered.

Keywords: beneficial microbes, agriculture

1. คำนำ

การจัดการระบบการผลิตพืชด้วยชีววิธี ซึ่งเน้นการใช้จุลินทรีย์ที่มีบทบาทและหน้าที่อันเป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกันนั้น จัดเป็นกลยุทธ์การผลิตพืชที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และได้รับความนิยมน้อย่างกว้างขวาง (Prathuangwong *et al.*, 2005) โดยเฉพาะในระบบการผลิตพืชอินทรีย์ที่ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติและจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ สามารถใช้ทดแทนสารเคมีทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการใช้จุลินทรีย์ในที่นี้ยังสามารถควบคุมได้ทั้งโรคและแมลงศัตรูพืชที่เข้าทำลายราก ลำต้น และใบพืช ซึ่งสามารถนำเข้า

ร่วมกับระบบการผลิตพืชและหลักการจัดการศัตรูพืชต่าง ๆ ได้ทุกระยะและทุกขั้นตอน ตลอดจนมีประสิทธิภาพในการลดสารพิษตกค้างในผลิตผลและสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน ประกอบกับกระแสการบริโภคของผู้บริโภคในปัจจุบันหันมาใส่ใจปัญหาสุขภาพและสิ่งแวดล้อมกันมากขึ้น เกษตรกรส่วนใหญ่จึงปรับเปลี่ยนวิถีการผลิตของตนเองมาเป็นการผลิตพืชปลอดสารพิษ ซึ่งเน้นการใช้สารเคมีเท่าที่จำเป็นอย่างชาญฉลาด ตลอดจนการผลิตพืชไร้สารพิษและเกษตรอินทรีย์ ซึ่งไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและสารเคมีใด ๆ เลย จุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์

สำหรับส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ควบคุมโรค และแมลงศัตรูพืชจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก (Fravel, 2005) เนื่องจากระบบการผลิตพืชที่มีการนำจุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์มาปรับใช้นั้น ผลผลิตที่ได้จะมีความปลอดภัยต่อสารพิษตกค้าง หรือไรสารพิษ ขึ้นอยู่กับว่าผลผลิตนั้นมาจากระบบการผลิตพืชแบบใด (Huang *et al.*, 2004) รวมถึงความปลอดภัยทางด้านสุขภาพของเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม (Dey *et al.*, 2004; Dowling *et al.*, 1996) อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีทั้งจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์และจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ (เชื้อโรคพืช คน และสัตว์) (สุมาลี, 2542) ดังนั้นการเลือกใช้จุลินทรีย์หรือผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพตรงตามความต้องการของผู้ใช้ จึงจำเป็นที่จะต้องรู้จักจุลินทรีย์ แหล่งที่มา หน้าที่ การใช้ วิธีการใช้ การเลือกใช้ การเพิ่มประสิทธิภาพ ข้อควรพิจารณาในการใช้ จุลินทรีย์ และประโยชน์ของการใช้จุลินทรีย์เป็นอย่างดี ดังนั้นบทความนี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการส่งเสริมให้เกษตรกรและผู้ที่เกี่ยวข้องหันมาใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตรเพิ่มขึ้น

2. จุลินทรีย์คืออะไร

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ไม่สามารถมองเห็นรายละเอียดองค์ประกอบของโครงสร้าง

ต่าง ๆ ได้ด้วยตาเปล่าต้องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ได้แก่ รา แบคทีเรีย ไวรัส ไล้เดือนฝอย เป็นต้น จุลินทรีย์มีแหล่งอาศัยอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ สามารถพบได้ในทุกสถานที่และทุกสภาพแวดล้อม แม้แต่ในสภาพแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตอื่นอยู่ไม่ได้ แต่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถปรับตัวอาศัยอยู่ได้ เช่น ในน้ำพุร้อน บริเวณภูเขาไฟ ใต้ทะเลลึก ใต้มหาสมุทรที่มีความกดดันของน้ำสูง หรือในน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิเย็นจัด (Davison, 1988) โดยจุลินทรีย์เหล่านี้มีจำนวนมากกว่าจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย เช่น รา และแบคทีเรียที่ช่วยเรื่องการหมักดองให้อาหารมีรสชาติดีขึ้น รวมถึงการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรด้วย (Glick *et al.*, 1999) โดยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่

2.1 รา เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นเส้นใยคล้ายเส้นด้ายซึ่งสามารถแตกกิ่งก้านสาขาได้ เส้นใยของรามีสีแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของรา และสามารถสร้างส่วนขยายพันธุ์ที่เรียกว่าสปอร์ได้ (Fig.1) นอกจากนี้เมื่อเส้นใยของราเกิดการหักหรือแยกออกจากกันจะสามารถงอกและเจริญยืดยาวต่อไปได้ โดยราสามารถเจริญหรืองอกได้ทั้งบนพืชและบนสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ ในสภาพความชื้นที่เหมาะสม

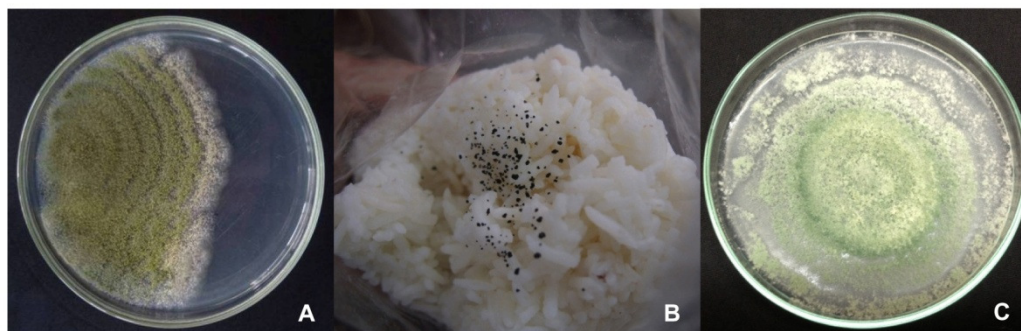


Fig. 1 Hypha and asexual spores of *Aspergillus* sp. (A) and *Trichoderma harzianum* (B, C).

2.2 แบคทีเรีย เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ ส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นท่อน อาจมีหาง (flagella) สำหรับใช้ในการเคลื่อนที่เข้าหาอาหารหรือสิ่งเร้า สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วโดยการแบ่งเซลล์ (binary fission) และจะมองเห็นได้

ด้วยตาเปล่า เมื่อแบคทีเรียเจริญเป็นกลุ่มก้อนที่เรียกว่าโคโลนี (colony) (Fig. 2)

2.3 ไวรัส เป็นอนุภาคขนาดเล็กมาก ๆ ต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน มีรูปร่างหลายแบบ เช่น ท่อน กลม เส้นสาย เกลียว (Fig. 3) สามารถถ่ายทอดโดยแมลงพาหะและกาฝากได้

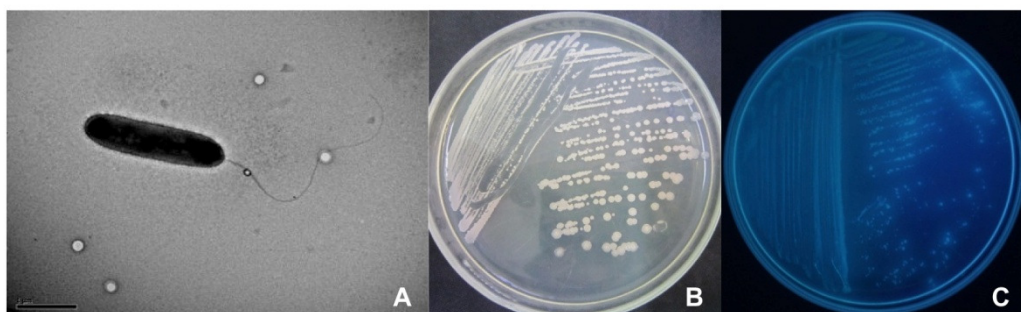


Fig. 2 Cell of *Pseudomonas* sp. (A) and colony of *Bacillus subtilis* TU-Orga1 (B) and *Pseudomonas fluorescens* TU-Orga2 under ultraviolet light (C).

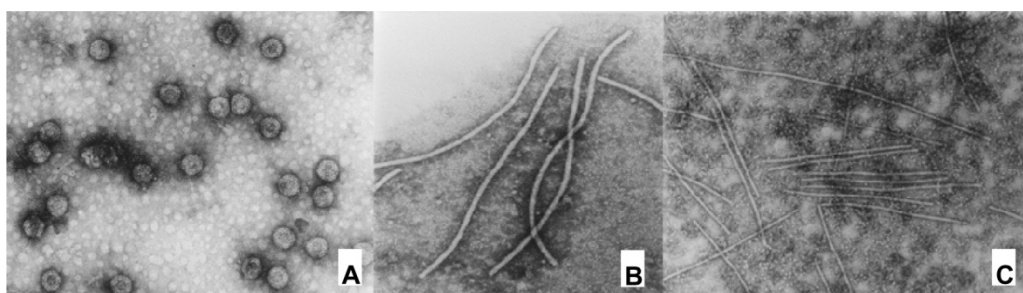


Fig. 3 Various morphological types of virus. Icosahedral particles (A), helicely constructed rod-like particles (B) and helicely constructed filamentous (flexible) particles (C). (ที่มา: <http://old.padil.gov.au/pbt/index.php?q=node/15&pbtID=172>)

2.4 ไส้เดือนฝอย เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ลักษณะคล้ายเส้นด้าย จัดอยู่ในกลุ่มสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง มองดูด้วยตาเปล่าค่อนข้างยาก ลักษณะลำตัวยาวคล้ายพยาธิ ปากเป็นเข็มสามารถดูดอาหารจากพืชและสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ ได้ (Fig. 4)

3. ชนิดและแหล่งที่มา

จุลินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มที่มีประโยชน์และกลุ่มที่เป็นโทษ แต่จุลินทรีย์กลุ่มใหญ่และเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่สามารถนำมาใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตพืช ควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืช รวมทั้งทำหน้าที่เป็นผู้ย่อย

สลายในระบบนิเวศการผลิตพืช มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ รา แบคทีเรีย ไวรัส และไส้เดือนฝอย (Glazebrook, 2005; Huang *et al.*, 2004) จุลินทรีย์เหล่านี้มีอยู่ในแหล่งธรรมชาติทั่วไปทั้งในดิน น้ำ ผิวผิวนอกของพืช (epiphyte) และบางชนิดสามารถเข้าไปอาศัยภายในพืช (endophyte) ตลอดจนถึงลอยตามอากาศ โดยจะพบเป็นจำนวน

มากตามแหล่งที่สะอาดและอยู่ร่วมกับพืชที่มีการเจริญเติบโตสมบูรณ์ดี เช่น จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หรือจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ ที่มีรายงานการนำมาใช้ส่งเสริมการเจริญเติบโตพืช ควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืช ตลอดจนย่อยสลายซากพืชและสัตว์เพื่อเพิ่มธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุแก่พืช (Davison, 1988) (ตารางที่ 1)

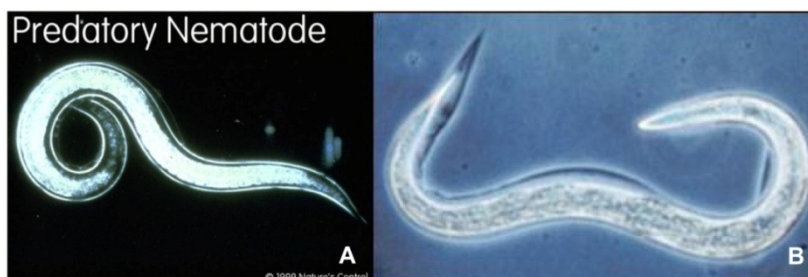


Fig. 4 Predatory nematode (A) and entomopathogenic nematode infective juvenile (B). (ที่มา: http://www.simplyhydroponics.com/predator_nematods.htm และ <http://www.biocontrol.entomology.cornell.edu/pathogens/nematodes.html>)

ตารางที่ 1 จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ด้านการเกษตร

จุลินทรีย์	แหล่งที่มา	หน้าที่ในระบบนิเวศเกษตร ^{1/}	อ้างอิง
แบคทีเรีย <i>Bacillus subtilis</i> TU-Orga1	ดินบริเวณ รากข้าว	1. ส่งเสริมการเจริญเติบโตพืช (PGPR) : ข้าว 2. ควบคุมโรคและช้กนาระบบภูมิคุ้มกันต้านทานพืช (ISR) : ข้าว; โรคไหม้ ใบจุดสีน้ำตาล ใบขีดสีน้ำตาล กาบใบแห้ง เมล็ดต่าง ขอบใบแห้ง และใบขีดโปร่งแสง 3. ละลายฟอสเฟตและโพแทสเซียม 4. แปรสภาพอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน	ปาริชาติ และคณะ, 2555 นิภาพร และคณะ, 2556
<i>Pseudomonas fluorescens</i> TU-Orga2	ดินบริเวณ รากข้าว	1. ส่งเสริมการเจริญเติบโตพืช (PGPR) : ข้าวและพืชผักตระกูลกะหล่ำ 2. ควบคุมโรคและช้กนาระบบภูมิคุ้มกันต้านทานพืช (ISR) : พืชผักตระกูลกะหล่ำ; โรคเน่าและ ขอบใบทอง รา น้ำคั่ง และใบจุดอัลเทอร์นาเรีย ข้าว; โรคไหม้ ใบจุดสีน้ำตาล ใบขีดสีน้ำตาล กาบใบแห้ง เมล็ดต่าง ขอบใบแห้ง และใบขีดโปร่งแสง	ดุสิต, 2556

ตารางที่ 1 (ต่อ)

จุลินทรีย์	แหล่งที่มา	หน้าที่ในระบบนิเวศเกษตร ^{1/}	อ้างอิง
<i>Bacillus thuringiensis</i>	ใบคะน้า	ควบคุมแมลงศัตรูพืช พืชผักตระกูลกะหล่ำ; หนอนใยผัก หนอนกระทู้ หนอนคืบ และหนอนผีเสื้อต่าง ๆ ข้าว; หนอนกอ หนอนห่อใบ และหนอนกัดใบ	ดุสิต, 2556
<i>Azotobacter</i> sp.	ดินบริเวณ รากข้าว	ตรึงไนโตรเจน	จตุพร และ คณะ, 2555
รา <i>Trichoderma harzianum</i>	ดินบริเวณ รากข้าว	ควบคุมโรคและชักนำภูมิต้านทานพืช (ISR) : พืชผักตระกูลกะหล่ำ; โรคเน่าและ ขอบใบทอง ราน้ำค้าง และใบจุดอัลเทอร์นาเรีย ข้าว; โรคไหม้ ใบจุดสีน้ำตาล ใบขีดสีน้ำตาล กาบใบแห้ง เมล็ดต่าง ขอบใบแห้ง และใบขีดโปร่งแสง	จตุพร และ คณะ, 2555
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	-	ควบคุมไส้เดือนฝอยรากบวม	สีบศักดิ์, 2539 ก; สีบศักดิ์, 2539ข
<i>Aspergillus</i> sp.	ดินบริเวณ รากข้าว	1. ย่อยสลายซากพืช 2. ละลายฟอสเฟต	จตุพร และ คณะ, 2555
<i>Beauveria bassiana</i>	ดินบริเวณ รากข้าว	ควบคุมแมลงศัตรูพืช : พืชผักตระกูลกะหล่ำ; ตัวห้ำดกระโดด เต่าแตง หนอนใย ผัก และหนอนผีเสื้อต่าง ๆ ข้าว; เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยไฟ และ หนอนห่อใบ	ดุสิต, 2556
ไวรัส <i>Citrus tristeza closterovirus</i>		ชักนำภูมิต้านทานพืช (ISR) : พืชตระกูลส้ม; โรคทริสเตซา	พุ่มตาล และ รัตนา, 2555
ไส้เดือนฝอย <i>Steinernema carpocapsae</i>	-	ควบคุมหนอนและตัวเต็มวัยของแมลงศัตรูพืช	ทิพย์วดี, 2546

^{1/} PGPR = plant growth promoting rhizobacteria and ISR = induced systemic resistance.

4. บทบาทของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์

4.1 จุลินทรีย์ที่ช่วยพืชตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixing microorganisms) จากรายงานในปัจจุบันพบในแบคทีเรีย เนื่องจากต้องใช้ไนโตรเจนเพื่อการดำรงชีพ เพราะแบคทีเรียจะนำไนโตรเจนไปสร้างกรดอะมิโนซึ่งเป็นสารพื้นฐานของเซลล์ โดยไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ แอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) เท่านั้น (อำนาจ, 2525; อำนาจ, 2548) แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนถูกจัดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ตรึงไนโตรเจนร่วมกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (symbiosis) และกลุ่มที่ตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระ (free living) (Glick, 1995; Kaneko *et al.*, 2000)

4.1.1 จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนร่วมกับพืชตระกูลถั่ว ก๊าซไนโตรเจน (N_2) มีอยู่มากมายในบรรยากาศถึง 78 % ของก๊าซทั้งหมด อย่างไรก็ตาม พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์จากก๊าซไนโตรเจนในชั้นบรรยากาศได้ ไนโตรเจนรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ แอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) ซึ่งในปมรากของพืชตระกูลถั่วจะมีแบคทีเรียไรโซเบียมอาศัยอยู่ ไรโซเบียมจะทำหน้าที่เปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศเป็นแอมโมเนีย ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการสร้างกรดอะมิโนได้โดยตรง ถั่วแต่ละชนิดต้องการไรโซเบียมชนิดที่เหมาะสมจึงจะสร้างปมที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรึงไนโตรเจน เช่น ถั่วเหลืองต้องการ *Bradyrhizobium japonicum* ส่วนถั่วแดงหลวงต้องการ *Rhizobium phaseoli* โสนอาฟริกกันต้องการ *Azorhizobium caulinodans* (อำนาจ, 2525; อำนาจ, 2548)

4.1.2 จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนร่วมกับพืชชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ตระกูลถั่ว จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนร่วมกับพืชชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่วแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน มีรายงานการ

ศึกษาวิจัยอยู่หลายชนิด เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Anabaena* sp.) ที่อาศัยอยู่กับแหนแดง (*Azollaceae azolla*) และแอคติโนมัยซีด (*Actinomyces* sp.)

(1) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีทั้งที่เป็นเซลล์เดี่ยวและหลายเซลล์ต่อกันเป็นเส้น มักอาศัยร่วมกับแหนแดง การศึกษาวิจัยพบว่าการใส่แหนแดงในนาข้าวส่งเสริมประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้อัตราการใส่ปุ๋ยยูเรียลดลง (Watanabe, 1982)

(2) แอคติโนมัยซีดเป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นเส้นสายคล้ายรา แอคติโนมัยซีดที่สามารถตรึงไนโตรเจนร่วมกับพืชชั้นสูง เช่น *Frankia* sp. สามารถสร้างปมในส่วนของรากพืช โดยวิธีการตรึงไนโตรเจนเป็นกระบวนการเช่นเดียวกับการตรึงไนโตรเจนในรากพืชตระกูลถั่ว

4.1.3 จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระ แบคทีเรียที่อยู่อย่างอิสระหลายสกุลสามารถตรึงไนโตรเจนได้ต้องมียีน *nif* ได้แก่ *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* เป็นต้น ซึ่งแบคทีเรียพวกนี้สามารถตรึงไนโตรเจนได้โดยไม่ต้องอยู่ร่วมกับพืชแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยกลไกการแปรสภาพอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ (Glick, 1995) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *Bacillus subtilis* TU-Orga1 ที่มีรายงานว่าสามารถส่งเสริมให้ต้นข้าวมีประสิทธิภาพในการใช้ไนโตรเจนจากสภาพธรรมชาติได้เพิ่มมากขึ้น และพบว่าแบคทีเรียสายพันธุ์นี้มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการตรึงไนโตรเจนให้ต้นข้าว (*yutI* gene) ทำให้สามารถทดแทนการใส่ปุ๋ยยูเรียลงถึง 100 % (ไม่ใส่ปุ๋ยยูเรีย) และเพิ่มผลผลิตข้าวได้สูงขึ้น 20 % ยิ่งไปกว่านั้นยังพบไนโตรเจนในดินในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้เหลืออีก 37 % (นิภาพร และคณะ, 2556)

4.2 จุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟตและธาตุอาหารพืชอื่น ๆ (phosphate and other nutrient elements solubilizing microorganisms) จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการละลายธาตุอาหารพืชหลายชนิดที่ถูกกักเก็บไว้ในดินและหิน ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและพืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ให้ละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส เป็นต้น

จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยการปรับสมดุลของฟอสฟอรัสสามารถทำได้ 2 แนวทาง ทั้งการแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไฟทิน จัดเป็นอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช แบคทีเรีย *Bacillus* และรา *Aspergillus*, *Thiobacillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* เป็นต้น จะผลิตเอนไซม์ phytase, phosphatase, nucleotidases และ glycerophosphatase เพื่อแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่เรียกว่าออโรฟอสเฟต (orthophosphate) ซึ่งเป็นไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (H_2PO_4^-) สำหรับสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปหินฟอสเฟตและฟอสเฟตในดินที่ไม่ละลายน้ำพืชจึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จุลินทรีย์บางชนิดในสกุล *Bacillus* และ *Aspergillus* จะช่วยทำให้ฟอสเฟตละลายน้ำเพิ่มมากขึ้นโดยการปลดปล่อยกรดโปรตอนหรือสารคีเลต (เป็นสารที่สามารถจับกับไอออนของธาตุไว้ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้) ทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟอสเฟตในดินทำให้ฟอสเฟตถูกเปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น (อำนาจ, 2525; อำนาจ, 2548) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกันกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยกันและกัน (symbiosis) ช่วยทำให้รากพืชดูดซับธาตุ

อาหารได้ดียิ่งขึ้น จุลินทรีย์กลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นราที่อาศัยอยู่ทั้งภายในรากพืชและบางมีส่วนองค์ประกอบของรากอยู่ภายนอกรากพืช โดยส่วนที่อยู่ภายนอกรากพืชจะทำหน้าที่คล้ายกับรากขนอ่อนของพืช ช่วยดูดน้ำ และธาตุอาหารได้เพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันรากก็จะได้รับสารประกอบคาร์บอนจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเป็นอาหาร ตัวอย่างเช่น ราไมคอร์ไรซา (mycorrhizal fungi) ที่มีบทบาทในการละลายและส่งเสริมการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสแก่พืช

4.3 จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์หรือเซลลูโลส (cellulolytic microorganisms หรือ cellulolytic decomposers) จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถผลิตเอนไซม์ cellulase และ pectolytic enzymes รวมทั้งเอนไซม์อื่น ๆ เพื่อย่อยสลายเซลลูโลส (cellulose) และเพคติน (pectin) ภายในซากพืชและซากสัตว์ จุลินทรีย์กลุ่มนี้ประกอบด้วยแบคทีเรีย รา แอคติโนมัยซิส และโปรโตซัว ได้แก่ แบคทีเรีย *Bacillus* แอคติโนมัยซิส (*Actinomyces*) รา *Aspergillus* และ *Penicillium* เป็นต้น สามารถพบจุลินทรีย์เหล่านี้ได้ทั่วไประหว่างการสลายตัวของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่าง ๆ และการเน่าเปื่อยผุพังของเศษใบไม้และซากพืชซากสัตว์ในป่าอุดมสมบูรณ์ จุลินทรีย์ดังกล่าวจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และน้ำหมักชีวภาพ

4.4 จุลินทรีย์ควบคุมโรคพืช (antagonistic microorganisms of plant pathogens) จุลินทรีย์ในธรรมชาติมีความสามารถอย่างมหัศจรรย์ที่จะส่งเสริมให้พืชมีสุขภาพดี โดยสามารถใช้จัดการโรคพืชได้ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม ด้วยกลไกการแข่งขัน (competition) การผลิตสารปฏิชีวนะยับยั้งเชื้อโรค (antibiosis) และเป็นปรสิตหรือตัวทำ (parasite or predator) จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์มีความสามารถแข่งขันกับเชื้อโรคพืชเป้าหมายใน

ด้านต่าง ๆ เช่น การใช้ธาตุอาหาร อากาศ และการครอบครองพื้นที่ได้ดีกว่าหรืออาศัยอยู่ในบริเวณนั้น ทำให้เชื้อโรคไม่สามารถเจริญและขาดอาหาร จำนวนเชื้อโรคลดลง หรือมีการเพิ่มปริมาณในระดับที่ต่ำกว่าจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หรือจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ การแข่งขันที่พบมากคือการที่จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์นำธาตุอาหารหรือสารอาหารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในดินหรือสภาพแวดล้อมนั้นมาใช้ได้ดีกว่าเชื้อโรค เนื่องมาจากจุลินทรีย์เหล่านี้มีประสิทธิภาพในการใช้อาหารหรือมีความสามารถในการเจริญเร็วมาก ชนิดของอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ ดิน และพืชอาศัย ได้แก่ ธาตุเหล็ก คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน และจุลธาตุ (Carteaux *et al.*, 2003) จากการศึกษาพบว่าแบคทีเรีย *Pseudomonads* มีความสามารถในการผลิตสารไซเดอโรฟอรัส (siderophore) ที่ช่วยในการจับยึดธาตุเหล็กในธรรมชาติได้ดีกว่าเชื้อโรค (Castignetti and Smarrelli, 1986; Dowling *et al.*, 1996) นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ยังมีสมบัติในการผลิตสารปฏิชีวนะหรือสารพิษยับยั้งฆ่า หรือทำลายเชื้อโรคได้โดยตรง เช่น แบคทีเรีย *Bacillus* ผลิตสารปฏิชีวนะ bacilysin, subtilin, mycobacillin และ surfactin รวมทั้งมีความสามารถในการเป็นปรสิตเข้าทำลายเชื้อโรค (parasite) และใช้เชื้อโรคนั้นเป็นอาหาร (predator) เช่น *Trichoderma* พันธิดและเข้าทำลายเส้นใยของรา *Pythium* สาเหตุโรคเน่าคอดินของพืชเศรษฐกิจหลายชนิด และรา *Paecilomyces lilacinus* ซึ่งเจริญเติบโตและเข้าทำลายไข่ไส้เดือนฝอยโดยการแทงเส้นใยเข้าไปในเปลือกไข่ร่วมกับการผลิตเอนไซม์ chitinase, protease และ glucoamylase ทำให้เกิดเป็นรูเล็ก ๆ จนถึงชั้น vitelline ไข่ที่ถูกทำลายเริ่มบวม เมื่อเส้นใยราเจริญและแทงผ่านผนัง chitin และชั้นไขมันเข้าไปในตัวอ่อนไส้เดือนฝอย และเพิ่มปริมาณเส้นใยสร้าง conidiophore แทะทะลุผ่านผิวผนังไข่ ทำให้

ชั้น vitelline layer แยกเป็น 3 ชั้น หนาขึ้นเล็กน้อย ชั้น chitin เปลี่ยนไปเป็น vacuole เนื่องจากชั้นไขมันที่หายไป ทำให้ไข่และตัวอ่อนถูกทำลาย (สืบทัด, 2539; Jones *et al.*, 1983)

4.5 จุลินทรีย์ที่ผลิตสารป้องกันและทำลายแมลงศัตรูพืช (antagonistic microorganisms of plant insect pests) จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการก่อโรคในแมลง เช่น แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* (BT) และรา *Beauveria bassiana* รวมทั้งไส้เดือนฝอย *Steinernema carpocapsae* มีประโยชน์อย่างมากต่อการเกษตรในการช่วยลดปริมาณประชากรหนอนและตัวเต็มวัยของแมลงศัตรูพืชให้มีจำนวนน้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่พ่นสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชไม่ทั่วถึง รวมทั้งยังเป็นวิธีการเดียวที่สามารถแก้ปัญหาแมลงศัตรูพืชดื้อสารเคมีระบาดได้ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงโดยเฉพาะหนอน เช่น หนอนใยผัก หนอนกระทู้ หนอนคืบ หนอนกอ หนอนห่อใบ หนอนกัดใบ และหนอนผีเสื้อต่าง ๆ มักไม่ค่อยได้ผลกับไข่และตัวเต็มวัยของแมลง โดยหลังจากเชื้อบีทีเข้าไปภายในลำตัวของหนอนหรือแมลงน้ำย่อยในกระเพาะจะเปลี่ยนสารที่บีทีสร้างขึ้นให้เป็นสารพิษชื่อเอนโดทอกซิน ซึ่งจะทำลายกระเพาะอาหารและทางเดินอาหารเลือดเป็นพิษ ทำให้หนอนหรือแมลงตายในเวลา 48-72 ชั่วโมง ขณะที่รา *Beauveria* สามารถก่อให้เกิดโรคกับแมลงได้หลายชนิด ราจะสร้างเส้นใยและสปอร์สีขาว เมื่อสปอร์สัมผัสกับผนังลำตัวแมลง และได้รับความชื้นเหมาะสม สปอร์จะงอกเป็นเส้นใยแทงทะลุผ่านเข้าไปในช่องว่างภายในลำตัวแมลง ราจะเจริญเพิ่มปริมาณเส้นใยก่อนสั้น ๆ จนเต็มช่องว่างของตัวแมลงทำให้แมลงเป็นอัมพาตและตายในที่สุด สำหรับไส้เดือนฝอย *Steinernema* ตัวอ่อนระยะที่ 3 (infective juvenile) เป็นระยะที่สำคัญในการเข้าทำลายแมลงศัตรูพืชทั้งในระยะหนอนและ

ตัวเต็มวัย โดยจะเข้าสู่ทางลำตัวแมลงผ่านทางช่องเปิดธรรมชาติและเคลื่อนที่ไปยังช่องว่างภายในลำตัว จากนั้นไส้เดือนฝอยจะปล่อยแบคทีเรียซึ่งมีความเป็นพิษกับแมลงศัตรูพืช ทำให้แมลงเกิดอาการเลือดเป็นพิษ และตายภายใน 24-48 ชั่วโมง (ทิพยวดี, 2546)

4.6 จุลินทรีย์ที่ผลิตฮอร์โมนพืช จุลินทรีย์หลายสายพันธุ์ เช่น แบคทีเรีย *Bacillus* และ *Bacillus subtilis* TU-Orga1 และ *Pseudomonas fluorescens* TU-Orga2 สามารถผลิตฮอร์โมนหรือสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ออกซิน (auxin) จิบเบอเรลลิน (gibberellin) อินโดลอะซิติกแอซิด (indole-3-acetic acid) (Burg, and Burg, 1966) และไซโตไคนิน (cytokinin) (Garcia de Salamone *et al.*, 2005) จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์บางชนิดสามารถผลิต 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase ไปยับยั้งการสร้างเอทิลีน (ethylene) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการสุกแก่ของพืช กลไกนี้จึงเป็นอีกหนึ่งกลไกการส่งเสริมการเจริญเติบโตพืชทางอ้อม (Babalola *et al.*, 2003; Belimov *et al.*, 2001) จึงสามารถใช้แบคทีเรียเหล่านี้พ่นต้นและใบพืชเพื่อชักนำให้พืชผลิตสารกระตุ้นการเจริญเติบโตช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Ghosh *et al.*, 2003)

4.7 จุลินทรีย์ที่ผลิตสารส่งเสริมประสิทธิภาพการยึดติดแน่นกับผิวพืช โดยเฉพาะแบคทีเรีย ซึ่งนอกจากจะช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในลักษณะของการลดแรงตึงผิวพืชและเชื่อมสารที่มีประโยชน์ให้พืชสามารถรับได้เต็มที่ (biosurfactants) และยังกีดกันหรือจำกัดช่องทางเชื้อโรคอื่นไม่ให้สัมผัสผิวพืชและเข้าทำลายพืชได้อีกด้วย จากกลไกนี้จุลินทรีย์บางสายพันธุ์นอกจากจะทำหน้าที่ด้านอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแล้วยังสามารถใช้ทดแทนสารเคมีจับใบได้ดีอีกด้วย ตัวอย่าง เช่น *Bacillus subtilis* TU-Orga1, *B.*

amyloliquefaciens KPS46, *Pseudomonas fluorescens* SP007s และ *P. fluorescens* TU-Orga2 (ปาริชาติ และคณะ, 2555; ดุสิต, 2556; Prathuangwong *et al.*, 2005)

4.8 จุลินทรีย์กระตุ้นภูมิต้านทานพืช
จุลินทรีย์บางชนิดจะกระตุ้นกระบวนการรับรู้จดจำและตอบสนองให้พืชเกิดกระบวนการป้องกันตนเองและชักนำระบบภูมิต้านทานต่าง ๆ เพื่อใช้ต่อต้านเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืชได้หลากหลายชนิด หรือกีดขวางกระบวนการเข้าทำลายของศัตรูพืช ซึ่งอาจอยู่ในรูปของการกระตุ้นการผลิตโครงสร้างพิเศษทางด้านกายภาพหรือชักนำกระบวนการทางชีวเคมีของพืชให้รอดพ้นจากความเครียดต่าง ๆ (stress) ที่พืชได้รับเนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม (เช่น ความแห้งแล้ง) และถูกรบกวนจากศัตรูพืช (โรค แมลง และวัชพืช) (Fujita *et al.*, 2006) จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ เช่น แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* TU-Orga1, *B. amyloliquefaciens* KPS46, *Pseudomonas fluorescens* SP007s และ *P. fluorescens* TU-Orga2 กระตุ้นให้พืชเศรษฐกิจหลายชนิดผลิตสารต่าง ๆ ในระบบภูมิต้านทาน ได้แก่ salicylic acid (SA), jasmonic acid (JA), β -1,3-glucanase, peroxidase, phenolic compound, guaiacol peroxidase และ glucosinolate ที่ใช้ยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช ตลอดจนเพิ่มความทนทานต่อสภาพแล้งหรือขาดน้ำของพืช นอกจากนี้ยังมีการใช้เชื้อไวรัสสายพันธุ์ไม่รุนแรง (mild strain) สร้างภูมิต้านทานให้แก่พืชหลายชนิด เพื่อป้องกันการเข้าทำลายของโรคพืชที่เกิดจากเชื้อไวรัส เช่น ไวรัส Papaya ringspot virus สายพันธุ์อ่อนแอที่สามารถสร้างภูมิต้านทานพืชให้รอดพ้นจากการเข้าทำลายของไวรัส Papaya ringspot สายพันธุ์รุนแรงสาเหตุโรคใบด่างจุดวงแหวน ไวรัส Citrus tristeza closterovirus สาเหตุโรคทรินเตซาในพืชตระกูลส้ม ไวรัสสายพันธุ์อ่อนแอ

สามารถสร้างภูมิต้านทานพืชให้รอดพ้นจากโรค tristeza ที่เกิดจากไวรัส Citrus tristeza สายพันธุ์รุนแรง (พุ่มตาล และรัตน, 2555)

5. การใช้จุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ในลักษณะเช่นเดียวกับการใช้สารเคมีทั่วไป คือ ใช้คลุกเมล็ดก่อนปลูก ใช้คลุกดินหรือคลุกร่วมกับปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์ต่าง ๆ ตลอดจนการใช้ราดดินและพ่นต้นพืช หรือการใช้ท่อนพันธุ์หรือต้นกล้าจุ่มแช่ก่อนการย้ายปลูก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในระบบเกษตรปลอดสารพิษ เกษตรไร้สารพิษ และเกษตรอินทรีย์ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การคลุกเมล็ด วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด เหมาะสำหรับการใช้ควบคุมโรคในระบบรากและลำต้นใต้ดิน นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังสามารถควบคุมโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์และเพิ่มความแข็งแรงตลอดจนชักนำภูมิต้านทานของต้นกล้าได้ด้วย (Brown, 1974; Prathuangwong *et al.*, 2005)

5.2 การราดลงในดิน เป็นวิธีการที่ช่วยให้จุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับเชื้อโรคในดินและแมลงศัตรูพืชในดินอย่างใกล้ชิด เช่น ตัวงูหมัดกระโดด ทำให้เชื้อโรคและแมลงศัตรูพืชลดลง ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืชที่ปลูก ตลอดจนเป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดินให้มีบทบาทหลากหลายอันเป็นประโยชน์ต่อพืช แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดเนื่องจากค่อนข้างยุ่งยากกว่าวิธีแรก และต้องใช้ปริมาณจุลินทรีย์มาก สิ้นเปลืองแรงงาน (Brown, 1974; Prathuangwong *et al.*, 2005)

5.3 การผสมกับวัสดุปลูกหรือปุ๋ยอินทรีย์ วิธีการนี้จะช่วยให้จุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช เพราะจะอาศัยอยู่ในส่วนของ

วัสดุปลูกซึ่งจะช่วยลดปริมาณเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืชในวัสดุปลูกนั้น รวมทั้งช่วยย่อยสลายธาตุอาหารหลักที่มีอยู่ในดินและปุ๋ยอินทรีย์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยธาตุอาหารรองหรือจุลธาตุบางชนิดในการส่งเสริมการเจริญของพืช ซึ่งปุ๋ยเคมีไม่สามารถให้ประโยชน์ตรงนี้ได้ (Prathuangwong *et al.*, 2005)

5.4 การพ่นบนใบพืช เป็นวิธีการพ่นจุลินทรีย์ลงบนต้นและใบพืช เพื่อควบคุมโรคพืชที่เกิดกับใบและควบคุมแมลงศัตรูพืช ในลักษณะเช่นเดียวกับการพ่นใบพืชด้วยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

5.5 การจุ่มหรือการใส่ลงบนส่วนขยายพันธุ์หรือกล้าพืชก่อนการย้ายปลูก เป็นวิธีการที่ช่วยให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับส่วนของพืชที่จะใช้ขยายพันธุ์ รวมทั้งกล้าพืชก่อนที่เชื้อโรคและแมลงศัตรูพืชจะเข้าทำลายพืช เป็นวิธีที่ได้ผลดี ประหยัดค่าใช้จ่ายและสะดวกต่อการปฏิบัติ นอกจากนี้การพ่นหรือการใส่จุลินทรีย์หลังจากพืชเจริญ โดยเฉพาะก่อนที่เชื้อโรคและแมลงศัตรูพืชจะเข้าทำลาย ยังช่วยกระตุ้นให้พืชมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น

6. วิธีการใช้จุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางด้านการเกษตรสามารถนำไปปรับใช้ในระบบการผลิตพืชทุกระบบและทุกระยะการเจริญเติบโตพืชและใช้เช่นเดียวกับสารเคมีทางการเกษตร ซึ่งการนำจุลินทรีย์ไปปรับใช้ในระบบการผลิตพืชเพื่อการส่งเสริมการใช้ธาตุอาหารและส่งเสริมการเจริญเติบโตพืช ควบคุมโรคพืชและแมลงศัตรูพืช ตลอดจนกระตุ้นระบบภูมิต้านทานพืชทั้งระบบ สามารถทำได้ทุกขั้นตอนการผลิต ทั้งนี้ปัจจัยที่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับการใช้จุลินทรีย์ ประกอบด้วย

6.1 ความอุดมสมบูรณ์ของดินและความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช

6.2 ชนิดและระดับความรุนแรงของศัตรูพืช

6.3 แหล่งสะสมและปริมาณเริ่มต้นของเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช

6.4 ชนิด คุณสมบัติ และกลไกการควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืชของจุลินทรีย์

6.5 ชนิดพืช อายุพืช และส่วนของพืชที่ถูกโรคและแมลงศัตรูพืชเข้าทำลาย

6.6 ประวัติการปลูกพืชและการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช

6.7 สภาพพื้นที่ปลูกและพื้นที่ใกล้เคียง

6.8 สภาพดิน ฟ้า อากาศ

นอกจากนี้การที่จะนำจุลินทรีย์หรือผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์มาปรับใช้ในระบบการผลิตพืชจะต้องพิจารณาถึงระบบการปลูกตั้งแต่ขั้นตอนการเลือกและการเตรียมพื้นที่ ระบบการให้น้ำ การใส่ปุ๋ย การเขตกรรม และวิธีการร่วมอื่น ๆ ซึ่งจะต้องปฏิบัติอย่างต่อเนื่องและไม่ขัดแย้งกับระบบการผลิตพืชอื่น ๆ (การให้น้ำ การให้ปุ๋ย การปฏิบัติดูแลรักษา) โดยเรียกรวมว่าระบบการผลิตพืชแบบองค์รวม

7. การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์

การส่งเสริมประชาสัมพันธ์ให้ใช้จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในระบบการผลิตพืชอย่างแพร่หลาย การที่จะเลือกใช้จุลินทรีย์ชนิดใด จึงมีข้อควรพิจารณาดังนี้

7.1 มีผลการศึกษาวิจัยที่ละเอียด ลึกซึ้ง ชัดเจน และได้รับการยอมรับตีพิมพ์ผลงานในวารสารมาตรฐานเป็นที่ยอมรับทางวิชาการ

7.2 มีชื่อและที่อยู่ของผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่าย ตลอดจนรายละเอียดที่เกี่ยวข้องบนฉลากผลิตภัณฑ์ครบถ้วน ชัดเจน

7.3 มีการตรวจสอบความเป็นพิษด้วยเทคนิคด้านวิชาการ เช่น ไม่ก่อให้เกิดภูมิแพ้หรือเป็นพิษต่อระบบหายใจ ทางเดินอาหาร และผิวหนัง ไม่ผลิตสารที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ไม่ก่อให้เกิดโรคต่อสิ่งมีชีวิตที่เกี่ยวข้องรวมทั้งไม่ใช่ชนิดเดียวกับเชื้อโรคพืช และไม่ปรากฏยีนก่อโรคในจุลินทรีย์นั้น ๆ และได้รับการรับรองผลิตภัณฑ์จากหน่วยงานมาตรฐาน

7.4 เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเด่นเฉพาะให้ตรงกับวัตถุประสงค์ เช่น ใช้เพื่อจัดการโรคและแมลงศัตรูพืช เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มพูนประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยหรือธาตุอาหารต่าง ๆ โดยหากเป็นจุลินทรีย์สายพันธุ์ดี จะสามารถทำงานส่งเสริมสุขภาพพืชได้หลายแนวทางดังที่กล่าวมาแล้วในเรื่องบทบาทของจุลินทรีย์

7.5 พิจารณาราคาเปรียบเทียบกับคุณภาพและประโยชน์ที่จะได้รับ

7.6 ผลิตภัณฑ์ใช้ง่าย สะดวก ไม่มีวิธีการยุ่งยากซับซ้อน และมีอายุการเก็บรักษานานพอสมควร (มีฉลากบอกวันหมดอายุ)

8. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้จุลินทรีย์

การเพิ่มศักยภาพของจุลินทรีย์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืช มีความจำเป็นต้องพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพราะปัจจุบันมีการศึกษาและมีการใช้จุลินทรีย์ในการเกษตรกันอย่างแพร่หลาย บางชนิดมีการพัฒนาในรูปแบบของการค้า แต่เมื่อใช้เป็นเวลานาน ประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโต หรือความสามารถในการควบคุมศัตรูพืชอาจลดลง จึงต้องมีการพัฒนาวิธีการที่จะสามารถยกระดับหรือคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพที่ดีของจุลินทรีย์นั้น การที่จะทำให้จุลินทรีย์มีศักยภาพสูงและประสบความสำเร็จในการใช้ในการผลิตพืช มีแนวทางดังนี้

8.1 การใช้จุลินทรีย์ต้องเริ่มปฏิบัติก่อนการปลูกพืช หรือก่อนการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืช โดยส่วนใหญ่จุลินทรีย์จะไม่สามารถรักษาพืชที่เป็นโรคหรือที่แมลงเข้าทำลายได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการรักษาไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เพื่อการป้องกัน

8.2 ควรใช้จุลินทรีย์ร่วมกับการป้องกันกำจัดศัตรูพืชวิธีอื่น ๆ เช่น การจัดการระบบการปลูกพืช การให้น้ำ การให้ธาตุอาหารพืช การกำจัดวัชพืช เป็นต้น โดยในแปลงปลูกพืชจะต้องมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 85 % และมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม จะทำให้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์มีการพัฒนาและเพิ่มปริมาณมากยิ่งขึ้นในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ

8.3 ควรใช้จุลินทรีย์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรคหรือแมลงศัตรูพืชร่วมกับสารสกัดจากธรรมชาติ

8.4 ควรใช้จุลินทรีย์หลายชนิดร่วมกันในระบบการปลูกพืช ซึ่งแต่ละชนิดจะมีหน้าที่ซึ่งกันและกัน ประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกัน เมื่อมีการนำจุลินทรีย์มาใช้ในแต่ละช่วงเวลาอย่างเหมาะสมก็จะเพิ่มประสิทธิภาพได้สูงขึ้นกว่าเดิม แต่การที่จะใช้จุลินทรีย์หลายชนิดร่วมกันนั้นควรมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์นั้น ๆ ซึ่งต้องช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพซึ่งกันและกัน แต่ในทางตรงกันข้ามถ้ามีการแก่งแย่งแข่งขัน หรือมีกลไกการแข่งขันเองก็จะได้ประโยชน์จากการใช้จุลินทรีย์ดังกล่าว และอาจจะส่งผลเสียต่อพืชปลูกอีกด้วย

8.5 การนำเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้ในการศึกษาจีโนมและศึกษากลไกการทำงานของยีนต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ เพื่อให้ทราบกลไกการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องในการส่งเสริมการเจริญเติบโตหรือยีนที่ส่งเสริมประสิทธิภาพในการควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืช จะเพิ่มความสามารถในการควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืช ตลอดจนเพิ่มความมี

ชีวิตของจุลินทรีย์ ปรับปรุงวิธีการและลดปริมาณของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ให้เหมาะสม ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับวิธีการควบคุมอื่น ๆ ที่จะลดหรือทดแทนการใช้สารเคมีทางการเกษตรและเป็นการลดต้นทุนการผลิต

อย่างไรก็ตามการใช้จุลินทรีย์ในระบบการผลิตพืชควรอยู่ในระดับที่เหมาะสมหรือให้อยู่ในภาวะสมดุล ซึ่งการใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในระบบการผลิตพืชมีข้อจำกัดหลายประการต้องพิจารณารวมถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่อาจส่งผลเสียต่อคุณภาพจุลินทรีย์

9. ข้อควรพิจารณาในการใช้จุลินทรีย์

9.1 การใช้จุลินทรีย์ต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีววิทยาและนิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ รายละเอียดชนิดพืชปลูก วัตถุประสงค์ของการใช้วิธีการปรับใช้ ชนิดโรคและแมลงศัตรูพืช ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์

9.2 จุลินทรีย์ไม่สามารถกำจัดโรคหรือแมลงศัตรูพืชให้หมดสิ้นจากพืชได้ทั้งหมด เพียงแต่ควบคุมให้อยู่ในระดับที่ไม่เกิดความเสียหายต่อผลผลิตที่จะได้รับ หรือปกป้องพืชให้มีสุขภาพสมบูรณ์จนเชื้อโรคหรือแมลงศัตรูพืชทำลายไม่ได้

9.3 ใช้จุลินทรีย์สนับสนุนส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์แข็งแรงและมีสภาพที่ได้เปรียบมากกว่าเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช โดยนำวิธีการปฏิบัติเกี่ยวกับการควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืชที่มีอยู่ทุกวิธีมาใช้อย่างผสมผสานร่วมกับจุลินทรีย์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

9.4 มีการปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่องและใช้จุลินทรีย์ทุกฤดูปลูก เพียงแต่จำนวนครั้งของการใช้ในฤดูต่อไปจะน้อยลงเพราะจุลินทรีย์ที่ใส่ครั้งก่อนจะยังคงอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นได้ต่อไปอีกหลายรุ่น

9.5 ตรวจสอบการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืชอย่างสม่ำเสมอ โดยการพบพืชเกิดโรคหรือพบแมลงศัตรูพืชไม่ได้หมายความว่าต้องพ่นสารเคมีควบคุมทันทีและเสมอไป ควรประเมินระดับความรุนแรงของการระบาดและใช้จุลินทรีย์ก่อนดำเนินการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเสมอหรืออาจใช้วิธีเกษตรกรรมง่าย ๆ เพื่อลดหรือทำลายแหล่งก่อโรคหรือแหล่งสะสมโรคและแมลงศัตรูพืชในแปลง

9.6 เรียนรู้และตระหนักถึงคุณและโทษของการใช้จุลินทรีย์ในระบบการผลิตพืช

9.7 ใช้จุลินทรีย์รักษาระดับการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืชให้อยู่ในระดับต่ำที่สุดด้วยค่าใช้จ่ายที่ประหยัด โดยผลตอบแทนที่ได้รับกลับมาควรเป็น 3-4 เท่า ของรายจ่ายที่เสียไปกับการควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืชในทุกวิธีที่นำมาปฏิบัติ โดยคิดผลลัพธ์รวมกันทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

9.8 พัฒนาและปรับใช้เทคนิคและวิธีการที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ มาปฏิบัติในการควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืชอย่างเหมาะสม เช่น การปรับใช้เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ พันธุ์พืช ระบบการจัดการผลิตพืช การปลูกพืชหมุนเวียน การเลือกวันปลูก และปรับระยะปลูกให้เหมาะสม

9.9 หากไม่มีผู้เชี่ยวชาญด้านการใช้จุลินทรีย์ร่วมในระบบการผลิตหรือเป็นที่ปรึกษาควรฝึกฝนตนเองให้เกิดการเรียนรู้และมีความชำนาญในการปลูกพืชพอสมควร เช่น การเข้ารับการฝึกอบรมเป็นระยะ ๆ อย่างสม่ำเสมอ

9.10 ตระหนักถึงพิษภัย สารพิษ และของเสีย ที่เกี่ยวข้องตลอดจนการหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีและคำนึงถึงระบบการเกษตรยั่งยืนที่ต้องอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและความหลากหลายทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศเกษตร และเรียนรู้ที่จะเป็นมิตรอยู่ร่วมกันกับสิ่งมีชีวิตอื่นและ

สภาพแวดล้อมในธรรมชาติต่าง ๆ อย่างสันติสุข (Glick, 2003)

9.11 รักษามาตรฐานและพัฒนาการควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืชให้เป็นปัจจุบันและทันสมัยอยู่เสมอ

10. ประโยชน์ของการใช้จุลินทรีย์

ในภาพรวมนั้นจุลินทรีย์มีประโยชน์ในการส่งเสริมการใช้ธาตุอาหารของพืช ควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ ตลอดจนช่วยส่งเสริมสุขภาพพืชให้เจริญเติบโตแข็งแรงสมบูรณ์ เช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยเคมี สารเร่งการเจริญเติบโตพืช และสารเคมีทางการเกษตร ซึ่งสามารถแยกพิจารณารายละเอียดได้ดังนี้

10.1 ประโยชน์ด้านสุขภาพอนามัย

10.1.1 ลดความเสี่ยงและอันตรายต่อสุขภาพของเกษตรกรจากการใช้สารเคมีผิด และเกินความจำเป็น

10.1.2 ลดความเสี่ยงและอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคจากการตกค้างของสารเคมีในผลิตผลและผลิตภัณฑ์เกษตร

10.1.3 ทางเลือกใหม่ของผู้บริโภคและผู้เกี่ยวข้องในการเลือกบริโภคอาหารปลอดภัยและผลิตผลเกษตรอินทรีย์ มีคุณค่า และส่งเสริมความแข็งแรงสมบูรณ์ของร่างกายโดยไม่มีการสะสมสารพิษเพิ่มเติม

10.2 ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

10.2.1 ลดการปนเปื้อนและการตกค้างของสารพิษที่สลายตัวช้า

10.2.2 ลดปัญหาการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศเกษตร ที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ และจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์

10.2.3 สามารถบริหารจัดการทรัพยากรได้ง่ายขึ้น

10.3 ประโยชน์ด้านเศรษฐกิจและสังคม

10.3.1 ขจัดปัญหาความยากจนของเกษตรกรสามารถขายผลิตผลคุณภาพสูง (food safety) ได้ราคา ตลอดจนยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกร

10.3.2 ปรับโครงสร้างทางเศรษฐกิจและสังคมให้แข่งขันกับต่างชาติได้โดยลดปัญหาการกีดกันทางด้านการค้าและการส่งออกผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

10.3.3 ลดปริมาณการใช้สารเคมีและต้นทุนการผลิต ตลอดจนลดการนำเข้าสารเคมีจากต่างประเทศ ช่วยแก้ไขการเสียดุลทางการค้า

10.3.4 เพิ่มความเชื่อมั่นของผู้บริโภคต่อระบบการผลิตพืชปลอดภัยและระบบการผลิตพืชอินทรีย์ ตลอดจนเพิ่มมูลค่าและความน่าเชื่อถือของผลิตผลและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่อผู้บริโภค

10.3.5 รองรับการเปลี่ยนแปลงการเพิ่มขึ้นของพลวัตรประชากรให้มีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืน

10.3.6 รองรับการแข่งขันทางการค้าของผลิตผลและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร รวมทั้งเตรียมความพร้อมที่จะก้าวเข้าสู่ประชาคมอาเซียน

11. เอกสารอ้างอิง

จตุพร บุญนาคกุล, วิลาวรรณ เชื้อบุญ และดุสิต อธิวัฒน์, 2555, ประสิทธิภาพของเชื้อปฏิภักษ์ผสมสายพันธุ์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตข้าวอินทรีย์และควบคุมโรค, Thai J. Sci. Technol. 1: 189-196.

ดุสิต อธิวัฒน์, 2556, การใช้จุลินทรีย์เพื่อการผลิตข้าวแบบเกษตรอินทรีย์, โครงการบริการวิชาการแก่สังคม เรื่อง ระบบการผลิตข้าวอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์, ชุมชนเกษตรกร หมู่ 7 ต.คลองเจ็ด อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี.

ทิพย์วดี อรรถธรรม, กรรณิการ์ สีนวลมาก และจิรภา ปัญญาศิริ, 2546, เชื้อราของแมลงและศักยภาพในการใช้ควบคุมกำจัดเพลี้ยไฟ, น. 704-717, การประชุมวิชาการอรัญญาพิชแห่งชาติครั้งที่ 6 เรื่อง หนึ่งทศวรรษแห่งการอรัญญาพิชในประเทศไทย, ขอนแก่น.

นิภาพร ดวงแก้ว, วิลาวรรณ เชื้อบุญ, ลาวัลย์ กัดสุวรรณ, มะลิดา ชูรินทร์ และดุสิต อธิวัฒน์, 2556, Yutl เป็นยีนใหม่ของ *Bacillus subtilis* TU-Orga1 ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ในโตรเจนอย่างเหมาะสมเพื่อยับยั้งโรคใบขีดโปรงแสงในระบบการผลิตข้าวอินทรีย์, น. 116-126, การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปาริชาติ สติธรรมพนา, วิลาวรรณ เชื้อบุญ และดุสิต อธิวัฒน์, 2555, ประสิทธิภาพแบคทีเรียปฏิภักษ์สายพันธุ์ใหม่ TU-Orga1 ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรคขอบใบแห้งของข้าว, Thai J. Sci. Technol. 1: 180-188.

พุ่มตาล ทิพย์เพ็ง และรัตน สดุดี, 2555, การแยกเชื้อซิทริสทริสเตซาไวรัสสายพันธุ์อ่อนด้วยแมลงพาหะเพลี้ยอ่อนส้ม [*Toxoptera citricida* (Kirkaldy)], ว.วิทยาศาสตร์เกษตร 43: 269-272.

สืบศักดิ์ สนธิรัตน์, 2539ก, ปัจจัยในการผลิตเชื้อรา *Paecilomyces lilacinus* ที่ใช้ในการควบคุมไส้เดือนฝอยในอาหารเหลว, วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ 30: 13-26.

สืบศักดิ์ สนธิรัตน์, 2539ข, ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการเข้าทำลายไข่ไส้เดือนฝอยรากปมและกิจกรรมเอนไซม์ของเชื้อรา *Paecilomyces lilacinus*, วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ 30: 175-184.

- สุมาลี ตั้งประดับกุล, 2542, ศึกษาความผันแปรของ ยีนแฟคิลินในกลุ่มแบคทีเรียก่อโรคสายพันธุ์ต่าง ๆ ของ *Pseudomonas ribotype I* และ *ribotype II* (Burkholderia), ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- อำนาจ สุวรรณฤทธิ์, 2525, ความสัมพันธ์ระหว่าง ดินกับพืช เล่ม 1 และ 2, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อำนาจ สุวรรณฤทธิ์, 2548, ปู่กับการเกษตรและ สิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Babalola, O.O., Osir, E.O., Sanni, A.I., Odhiambo, G.D. and Bulimo, W.D., 2003, Amplification of 1-amino-cyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) deaminase from plant growth promoting rhizobacteria in Striga-infested soil, *Afr. J. Biotechnol.* 2: 157-160.
- Belimov, A.A., Safranov, V.I., Sergeyeva, T.A., Egorova, T.N., Matveyeva, V.A., Tsyganov, V.E., Borisov, A.Y., Tikhonovich, I.A., Kluge, C., Preisfeld, A., Dietz, K.J. and Stepanok, V.V., 2001, Characterization of plant growth promoting rhizobacteria isolated from polluted soils and containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase, *Can. J. Microbiol.* 47: 642-652.
- Brown, M.E, 1974, Seed and root bacterization, *Ann. Rev. Phytopathol.* 12: 181-197.
- Burg, S.P. and E.A. Burg, 1966, The interaction between auxin and ethylene and its role in plant growth, *Amer. J. Bot.* 55: 262- 269.
- Cartiaux, F., Thibaud, M.C., Zimmerli, L., Lessard, P., Sarrobert, C., David, P., Gerbaud, A., Robaglia, C., Somerville, S. and Nussaume, L., 2003, Transcriptome analysis of *Arabidopsis* colonized by a plant-growth promoting rhizobacterium reveals a general effect on disease resistance, *Plant J.* 36: 177-188.
- Castignetti, D. and Smarrelli, J.Jr., 1986, Siderophores, the iron nutrition of plants, and nitrate reductase, *FEBS Lett.* 209: 147-151.
- Davison, J., 1988, Plant beneficial bacteria, *Bio/Technology* 6: 282-286.
- Dey, R., Pal, K.K., Bhatt, D.M. and Chaunhan, S.M., 2004, Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria, *Microbiol. Res.* 159: 371-394.
- Dowling, D.N, Sexton, R., Fenton, A., Delany, I., Fedi, S., McHugh, B., Callanan, M., Moenne-Loccoz, Y. and O'Gara, F., 1996, Iron Regulation in Plant-associated *Pseudomonas fluorescens* MI 14: Implications for Biological Control, In: *Molecular Biology of Pseudomonads*, pp. 502-511, Nakazawa, T., Furukawa, K., Haas, D. and Silver, S. (Eds.), American Society for Microbiology Press, Washington, DC.
- Fravel, D.R., 2005, Commercialization and implementation of biocontrol, *Annu. Rev. Phytopathol.* 43: 337-359.

- Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K., 2006, Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: A current view from the points of convergence in the stress signaling networks, *Curr. Opin. Plant Biol.* 9: 436-442.
- Garcia de Salamone, I.E., Hynes, R.K. and Nelson, L.M., 2005, Role of Cytokinins in Plant Growth Promotion by Rhizosphere Bacteria, pp. 173-195, In Siddiqui, Z.A. (Ed.), *PGPR: Biocontrol and Biofertilization*, Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Ghosh, S., Penterman, J.N., Little, R.D., Chavez, R. and Glick, B.R., 2003, Three newly isolated plant growth-promoting bacilli facilitate the growth of canola seedlings, *Plant Physiol. Biochem.* 41: 277-281.
- Glazebrook, J., 2005, Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens, *Annu. Rev. Phytopathol.* 43: 205-227.
- Glick, B.R., 1995, The enhancement of plant growth by free-living bacteria, *Can. J. Microbiol.* 41: 109-117.
- 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, London.
- Glick, B.R., 2003, Phytoremediation: Synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment, *Biotechnol. Adv.* 21: 383-393.
- Glick, B.R., 2005, Modulation of plant ethylene levels by the bacterial enzyme ACC deaminase, *FEMS Microbiol. Lett.* 251: 1-7.
- Huang, X.-D., Y. El-Alawi, D.M. Penrose, B.R. Glick and B.M. Greenberg, 2004, Responses of plants to creosote during phytoremediation and their significance for remediation processes, *Environ. Pollut.* 130: 453-463.
- Jones, G.M., White, J.F. and Kabana, R.R., 1983, Phytonematode pathology: Ultrastructure studies II, Parasitism of *Meloidogyne arenaria* eggs and larvae by *Paecilomyces lilacinus*, *Nematropica* 14: 57-71.
- Kaneko, T., Nakamura, Y., Sato, S., Asamizu, E., Kato, T., Sasamoto, S., Watanabe, A., Idesawa, K., Ishikawa, A., Kawashima, K., Kimura, T., Kishida, Y., Kiyokawa, C., Kohara, M., Matsumoto, M., Matsuno, A., Mochizuki, Y., Nakayama, S., Nakazaki, N., Shimpo, S., Sugimoto, M., Takeuchi, G., Yamada, M. and Tabata, S., 2000, Complete genome structure of the nitrogen-fixing symbiotic bacterium *Mesorhizobium loti*, *DNA Res.* 7: 331-338.
- Prathuangwong, S., Kasem, S., Thowthampitak, J. and Athinuwat, D., 2005, Multiple plant response to bacterial mediated protection against various diseases, *J. ISSAAS* 11(3, Supplement): 79-87.
- Rodriguez, K.R. and Curl, E.A., 1980, Non-target effect of pesticides on soilborne pathogen and disease, *Ann. Rev. Phytopathol.* 18: 311-322.

Watanabe, I., 1982, Azolla-Anabaena symbiosis- its physiology and use in tropical agriculture, pp. 168-185, In

Dommergues, Y.R. and Diem, H.G. (Eds.), Microbiology of tropical Soils and Plant Productivity, Martinus Nijhoff, Hague.