

การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

Seed enhancements with plant growth promoting bacteria

ธิดารัตน์ แก้วคำ^{1*}

Tidarat Kaewkham^{1*}

บทคัดย่อ: แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชคือหนึ่งในสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับนำมาใช้เพื่อยกระดับคุณภาพการเพาะปลูกพืชทางการเกษตร โดยเฉพาะในระดับเมล็ดพันธุ์และต้นกล้าพืช ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการดูแลเพื่อมีชีวิตรอดและเจริญเติบโตเป็นต้นพืชที่แข็งแรงต่อไป แบคทีเรียจะอาศัยอยู่บริเวณรอบๆ รากของต้นพืช จึงมีข้อดีที่สามารถสร้างฮอร์โมนพืช กระตุ้นการยืดตัวและการแบ่งเซลล์ของพืชได้ รวมทั้งสามารถสร้างธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช เช่นการตรึงไนโตรเจน และช่วยย่อยฟอสฟอรัสในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ได้มากขึ้น คุณสมบัติที่ดีของแบคทีเรียเมื่อนำมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การยกระดับคุณภาพการเพาะปลูกพืชด้วยการทำ seed treatment และการเคลือบเมล็ดพันธุ์ จึงจะเป็นส่วนสำคัญทำให้การเพาะปลูกพืชเป็นประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ: สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช, จุลินทรีย์ชีวภาพ, คุณภาพเมล็ดพันธุ์, การเคลือบเมล็ดพันธุ์

ABSTRACT: Bacteria used in promoting plants growth is one of the smaller organisms that is beneficial to plants, In addition, this is a good choice to use in enhancing the quality of agricultural crops, especially in the seeds and plant seedlings. It is essential to manage seeding for survival to be the healthy plants. The bacterium usually lives around the roots of plant. There are many advantages for building the plants' hormones and in stimulation of elongation and cell division. In addition, the bacteria can build the necessary nutrients to plants such as nitrogen fixation and dissolved the phosphorus into the soil in a helpful form to plants. The beneficial properties of bacteria cooperated with new technology such as seed treatment to enhance the quality of crop plants as well as seed coating are the important parts to cropping for the highest benefits.

Keywords: Plant Growth Regulators, Microorganisms, Seed quality, Seed coating

บทนำ

จากการค้นพบจุลินทรีย์ชีวภาพในช่วงปลายศตวรรษที่ 18 แล้วถูกนำมาใช้เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอย่างกว้างขวาง (Mahmood et al., 2016) และจากการกำเนิดเทคโนโลยีแต่ละยุคสมัยทำให้นักวิจัยได้พัฒนาวิธีการและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับจุลินทรีย์ชีวภาพโดยเฉพาะ

แบคทีเรีย เนื่องจากมีปริมาณหลากหลายสายพันธุ์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่นแบคทีเรียที่ทำงานร่วมกันกับพืชอาศัย เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช PGPB (Plant Growth Promoting Bacteria) (Hayat et al., 2010) หรือกลุ่มแบคทีเรียที่ทำงานส่งเสริมการเจริญเติบโตบริเวณรากพืช คือ PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) (Kloepper and Schroth, 1978) เช่น แบคทีเรียในกลุ่ม *Mesorhizobium*

¹ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สระแก้ว 27000

Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under The Royal Patronage Sakaeo 27000

* Corresponding author: Tidarat@vru.ac.th

(Ahemad and Khan, 2012), *Klebsiella* (Ahemad and Khan, 2011), *Enterobacter* (Ahemad and Khan, 2010), *Bacillus* (Wani and Khan, 2010) และ *Azotobacter*, *Pseudomonas* (Ahmad et al., 2008) เป็นต้น จากคุณสมบัติที่มีประโยชน์ต่อพืชเหล่านี้ทำให้มีประโยชน์ต่อการยกระดับการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้น เช่น ด้านการผลิต phytohormones การปรับปรุงโครงสร้างของดิน การสะสมทางชีวภาพของสารอินทรีย์ รวมทั้งการบำบัดทางชีวภาพเมื่อดินถูกโลหะปนเปื้อน (Mahmood et al., 2016)

การทำ seed treatments และการเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช (seed coating) โดยทั่วไปจะเป็นการปฏิบัติกับเมล็ดพันธุ์โดยการใช้ร่วมกับสารออกฤทธิ์ชนิดต่างๆ เช่น สารเคมี ธาตุอาหารพืช ฮอโมนพืช สารเร่งการเจริญเติบโตพืช และจุลินทรีย์ชีวภาพ (บุญมี, 2558) เพื่อเป็นการส่งเสริมคุณภาพความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์หลังปลูกให้ดีขึ้น ยกตัวอย่างจากการคลุกเชื้อ *Paenibacillus polymyxa* ร่วมกับเมล็ดพันธุ์ข้าวพบว่าหลังต้นข้าวงอกมีความยาวราก และความยาวต้นดีขึ้น (Beneduzi et al., 2008) นอกจากนี้ Junnges et al. (2013) รายงานเพิ่มเติมว่า การเคลือบเมล็ดด้วย *Bacillus subtilis* ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดมีความงอกและการเจริญเติบโตดีขึ้น ดังนั้นแล้วการนำเทคนิควิธีการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์มาใช้ร่วมกับสารชีวภาพจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับนำมาใช้เพื่อการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ ดังนั้นบทความนี้จึงได้รวบรวมประโยชน์ของการประยุกต์ใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยแบคทีเรียชนิดต่างๆ จนกระทั่งผลของการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดพันธุ์หลังการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืช หลังจากการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ร่วมกับจุลินทรีย์สารชีวภาพ

แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth promoting bacteria)

แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชมีลักษณะสำคัญต่อพืชหลายรูปแบบ เช่น การครอบครองรากพืช การอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยและเพิ่มจำนวนรากพืช และสามารถแข่งขันกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ได้ เป็นต้น จึงทำให้ลักษณะสำคัญเหล่านี้มีกลไกในการ

ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทั้งในรูปแบบการตรึงไนโตรเจน การละลายธาตุอาหารพืช การสร้างซีเดอโรฟออร์ (siderophore) การสร้างสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การสร้างสารปฏิชีวนะ และการสร้างสารยับยั้งเชื้อราที่เป็นอันตรายต่อพืช (Glick, 2012) ดังนั้นจากคุณสมบัติที่ดีดังกล่าวจึงทำให้แบคทีเรียกลุ่มนี้มีข้อดีอย่างมากต่อการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชด้วยการทำ seed treatments และวิธีการ เคลือบเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการตอบสนองของแบคทีเรียต่อพืชได้ 2 ประเภทคือ

1. กระบวนการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชด้วยแบคทีเรีย

การนำแบคทีเรียมาใช้ร่วมกับเมล็ดพันธุ์จำเป็นต้องเข้าใจกระบวนการส่งเสริมการเจริญเติบโตต่อพืชซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้โดยส่วนใหญ่จะอาศัยอยู่ร่วมกันกับพืช หรืออยู่ในดินบริเวณรอบๆ รากพืช จึงมีคุณสมบัติกระตุ้นการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งสามารถประยุกต์ได้ 2 ทาง คือ โดยทางตรง และทางอ้อม ได้แก่ (วิยะดา, 2554)

1.1 การส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้า หลังการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชโดยตรง

1) การเพิ่มธาตุไนโตรเจน (Nitrogen) เมล็ดพันธุ์ขณะการงอกจำเป็นต้องได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอ โดยเฉพาะไนโตรเจน ซึ่งมีคุณสมบัติทำให้พืชเจริญเติบโต และตั้งตัวได้เร็ว โดยเฉพาะในระยะแรกของการงอก ดังนั้นจุลินทรีย์เหล่านี้จะผลิตเอนไซม์ไนโตรจิเนสเพื่อช่วยเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้เป็นสารประกอบในรูปของแอมโมเนีย และไนเตรท เพื่อให้ต้นกล้าพืชหลังการงอกของเมล็ดพันธุ์สามารถนำไปใช้ได้ (Herrera et al., 2016)

2) การเพิ่มธาตุฟอสฟอรัส (Phosphorus) จุลินทรีย์บางชนิดเช่น *Pseudomonas putida*, *Klebsiella* spp., *Enterobacter asburiae*, *Acinetobacter* spp. และ *Stenotrophomonas maltophilia* เป็นต้น ช่วยย่อยฟอสฟอรัสในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ ทำให้ต้นกล้าสามารถนำไปใช้ได้มากขึ้น (Mehnaz et al., 2010) เพื่อการสังเคราะห์แสงของพืช กระบวนการส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ทั้งรากแก้ว รากฝอย และรากแขนง โดยเฉพาะในระยะแรก

ของการเจริญเติบโตของต้นกล้า อีกทั้งช่วยกระตุ้นช่วยการออกดอก การติดผล และการช่วยให้รากดูดโพแทสเซียมจากดินมาใช้เป็นประโยชน์ได้มากขึ้น เป็นต้น (Tank and Saraf, 2009)

3) การผลิตฮอร์โมนพืช (Phytohormones) การงอกของเมล็ดพันธุ์จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการตอบสนองของฮอร์โมนหลายชนิดเพื่อการขยายขนาดของเซลล์ การยืดตัวของเซลล์ และการกระตุ้นการเกิดรากของต้นกล้า ฉะนั้นแบคทีเรียที่สามารถผลิตฮอร์โมนให้แก่พืชได้จึงมีความสำคัญต่อการยกระดับการเจริญเติบโตของพืชให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ยกตัวอย่างจากการผลิต phytohormones จาก PGPRb ส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่บทบาทของกลุ่ม Auxins ได้แก่ indole-3-acetic acid (IAA) ซึ่งจะช่วยกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ การแบ่งเซลล์ และการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์ (Shahab et al., 2009) นอกจากนี้ยังพบการผลิตฮอร์โมนชนิดอื่นๆ อีก เช่น Cytokinin, Ethylene, Gibberelin และ 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase เป็นต้น (Noel et al., 1996) นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิดยังช่วยลดความเข้มข้นของเอทิลีน ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชเพียงตัวเดียวที่อยู่ในรูปของแก๊ส ถ้าระดับของเอทิลีนมีปริมาณที่สูงเกินไป อาจมีผลต่อการยับยั้งการงอก และการยืดยาวของรากต้นกล้าพืชได้ (Hardoim et al., 2008)

4) การผลิต siderophores (Siderophores) ซึ่งแบคทีเรียบางชนิดสามารถผลิตธาตุเหล็กให้กับต้นพืชได้ โดยทั่วไปธาตุเหล็กจะอยู่ในรูปของ Fe^{2+} และ Fe^{3+} และอยู่ในรูปของสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก หรือไม่สามรถละลายน้ำได้เลย ถึงแม้แบคทีเรียต้องการปริมาณธาตุเหล็กในปริมาณน้อยเพื่อการเจริญเติบโตแต่ก็ขาดไม่ได้ ดังนั้นแบคทีเรียจึงจำเป็นต้องสร้างกลไกบางอย่างขึ้นมาเพื่อจับเหล็กและขนส่งเหล็กเข้าไปในเซลล์ที่เรียกว่า siderophore ขึ้นมา (Phi et al., 2010) จึงทำให้ต้นกล้าพืชได้รับผลประโยชน์จากการผลิต siderophore ของแบคทีเรียเนื่องจากธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบของโปรตีน และมีบทบาทในการสังเคราะห์อาหารพืช ช่วยกระตุ้นกระบวนการหายใจ และกระบวนการปรุงแต่งอาหารของต้นกล้าพืชให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

1.2 การส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้า หลังการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชโดยทางอ้อม

1) การช่วยป้องกันการเข้าทำลายของโรคพืชก่อนและหลังการงอกของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งเป็นการป้องกันพืชจากอันตรายโดยกลไกทางอ้อม เช่น การสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiotic) สารเมแทบอไลต์ยับยั้งรา (antifungal metabolites) เอนไซม์ การแข่งขันกับโรคพืช และเหนี่ยวนำความต้านทานในพืช เป็นต้น ยกตัวอย่างจากการรายงานของ Kaewkham et al. (2016) พบว่าการควบคุมเชื้อรา *Didymella bryoniae* สาเหตุโรค gummy stem blight (GSB) ในเมล็ดพันธุ์แตงกวา โดยใช้ *Bacillus subtilis* QST713 และ *Pseudomonas fluorescens* CA โดยการเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ *B. subtilis* 1×10^7 cfu ทำให้เมล็ดมีความงอก ความยาวต้น ความยาวราก ดีมากกว่าเมล็ดไม่เคลือบ (non-treated) ส่วนการป้องกันการเข้าทำลายในระยะต้นกล้าพบว่า การทำ seed treatments และ foliar spray หลังการเคลือบเมล็ดร่วมกับ *B. subtilis* 1×10^5 และ 1×10^7 cfu มีระดับความรุนแรง (disease severity %) ของการเกิดโรคเพียง 25% และ 23% ตามลำดับ ซึ่งดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่ได้เคลือบ (non-treated) ซึ่งมีระดับความรุนแรงการเกิดโรคสูงถึง 47%

2) การผลิตสารปฏิชีวนะ (Antibiotic) ที่ใช้ในการควบคุมโรคพืชได้ ตัวอย่างสารปฏิชีวนะที่ผลิตโดย PGPR ได้แก่ agrocin 84, agrocin 434, 2, 4-diacetylphloroglucinol, herbicolin, oomycin, phenazines, pyoluteorin, pyrrolnitrin เป็นต้น (Bashan and de-Bashan, 2005) นอกจากนี้ยังผลิตเอนไซม์ที่สามารถย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ เช่น chitinase, laminarinase, Q-1,3-glucanase, protease และ lipase เป็นต้น (Compant et al., 2005)

3) การผลิตสารเมแทบอไลต์เพื่อยับยั้งเชื้อรา ยกตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus subtilis* (Cazorla et al., 2007) และ *Pseudomonas chlororaphis* (Liu et al., 2007) เป็นต้น ซึ่งสามารถสังเคราะห์ hydrogen cyanide และทำให้ *Pseudomonas* มีความสามารถในการต้านการเจริญเติบโตของเชื้อราสาเหตุโรคพืชบางชนิดได้เช่น สามารถยับยั้ง *Thielaviopsis basicola* ซึ่งเป็นเชื้อราสาเหตุโรค

รากเน่าดำในเมล็ดยาสูบ (Ramette et al., 2003) การยับยั้ง *Didymella bryoniae* โดยการใช้ *Bacillus subtilis* ในเมล็ดพันธุ์แตงกวา (Kaewkham et al., 2016) และนอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียอีกหลากหลายสายพันธุ์รวมทั้ง *Cladosporium werneckii*, *Pseudomonas cepacia* และ *P. solanacearum* สามารถย่อยสลายสารประกอบ fusaric acids หลังจากถูก *Fusarium* เข้าทำลายได้ (Ramamoorthy et al., 2001)

4) การส่งเสริมต้นกล้าพืชให้มีความต้านทานในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่างๆ (Poole, 2012) เช่น ความเค็ม สภาวะแวดล้อมของดินไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ดินมีเนื้อแน่นทึบ รากพืชชอนไชยาก และมีแร่ธาตุบางอย่างละลายออกมาจากดินจนเป็นพิษต่อพืช อีกทั้งยังพบการทนต่อสภาวะความเครียดจากการเกิดออกซิเดชัน (oxidative stress) (Barrow and Kwon, 2009) โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ทำลายส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์ เยื่อเมมเบรน และกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเพอร์ออกซิเดชันของไขมัน เป็นต้น (นุชนาถ, 2554) นอกจากนี้ยังพบการทนต่อสภาวะความเครียดจากโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) นิกเกิล (Ni) และแคดเมียม (Cd) เป็นต้น (Vivas et al., 2006)

2. ความสัมพันธ์ของการอยู่ร่วมกันระหว่างพืชและแบคทีเรีย (วิยะดา, 2554)

การยกระดับการงอกของเมล็ดพันธุ์ด้วยกลุ่มแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ร่วมกันกับพืชจะเป็นประโยชน์ต่อการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าอย่างมาก เช่น การช่วยยืดขยายลำต้น ราก และการสังเคราะห์แสงของใบเลี้ยง เป็นต้น ดังนั้นจึงมีรายละเอียดที่สำคัญต่อการส่งเสริมการงอกของเมล็ดพันธุ์ดังนี้คือ

2.1 การอาศัยอยู่กับพืชโดยการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช

ส่วนใหญ่แบคทีเรียในกลุ่ม PGPRb จะผลิตฮอร์โมนพืชในกลุ่มออกซิน มีลักษณะทางเคมีเป็นสาร Indole-3-acetic acid (IAA) ซึ่งแบคทีเรีย เชื้อรา และสาหร่ายบางชนิดก็สามารถสังเคราะห์ IAA ได้ (Zahir et al., 2010) โดยรายงานว่แบคทีเรียที่อยู่ร่วมกับพืชจะสังเคราะห์ IAA และส่งออกมานอกเซลล์แบคทีเรีย

แล้วพืชอาศัยจะตอบสนองต่อ IAA โดยเกิดการกระตุ้นการขยายตัวของเซลล์สร้างผนังเซลล์มากขึ้น เช่น การทำให้เกิดการขยายตัวของใบ การยืดยาวของราก เป็นต้น (Gholami et al., 2009) นอกจากนี้ สุจิตรา และคณะ (2556) รายงานว่แบคทีเรียบางกลุ่มช่วยในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยช่วยให้พืชหลั่ง phytohormones ไปสู่พื้นผิวราก ทำให้เพิ่มการดูดซึมธาตุอาหาร โดยมีรายงานว่ *Herbaspirillum seropedicae* Z67, *Herbaspirillum* sp. B50, *Serratia marcescens* IRBG500, *Herbaspirillum seropedicae* และ *Burkholderia* spp. ทำให้น้ำหนักของผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุม และยังพบอีกว่ *Pantoea agglomerans* YS19 สามารถผลิตฮอร์โมนพืชในกลุ่ม ออกซิน กรดแอบไซซิก จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอาศัยได้

นอกจากนี้มียางานเพิ่มเติมว่แบคทีเรียบางชนิดยังช่วยให้พืชทนต่อสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมต่างๆ ได้ เช่น ความร้อน ความเย็น รังสียูวี แรงดันออสโมติก ความเป็นกรด และสภาวะออกซิเดทีฟ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบสภาวะการทนความเป็นพิษต่อแบคทีเรียอีก เช่น สารปฏิชีวนะ และสารชะล้าง เป็นต้น โดยการผลิต trehalose, lipopolysaccharide (LPS), exopolysaccharide (EPS) และสร้างไบโอฟิล์มเป็นการยืนยันว่ IAA สามารถเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันของแบคทีเรียได้ ดังนั้นประโยชน์จากการผลิตฮอร์โมนพืชของแบคทีเรียจึงมีส่วนสำคัญช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและยกระดับการงอกของเมล็ดพันธุ์ได้

2.2 การต่อต้านเชื้อปฏิบัติกับพืชที่อยู่อาศัย

เมล็ดพันธุ์ขณะงอกอาจถูกเชื้อราที่อาศัยอยู่ในดินบริเวณรอบๆ เข้าทำลายกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ได้ แต่การใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ (antagonist) หรือแบคทีเรียที่เป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อราโรคพืช โดยมีการออกฤทธิ์ต่อการแก่งแย่งอาหารเชื้อรา การยับยั้งทำลายโดยตรง และการเป็นปรสิตต่อเชื้อรา (Song et al., 2014) ทำให้เชื้อราโรคพืชหยุดชะงักการเข้าทำลายต่อต้นกล้าพืชขณะงอกได้ อย่างไรก็ตาม การใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์สำหรับควบคุมโรคให้กับพืช มักมีการ

ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ซึ่งมีผลต่อการการยับยั้งเชื้อราอาจจะเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ ทำให้จุลินทรีย์ปลดปล่อยสารชีวภัณฑ์ในการควบคุมโรค (biocontrol agents) ออกมาได้น้อยเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมโรคพืชลดลงได้

ดังนั้นจากลักษณะสำคัญของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชพบว่า มีประโยชน์ต่อการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์ทั้งในระยะการงอก ระยะต้นกล้า ระยะการเจริญเติบโต และการติดดอกออกผลผลิตของพืชได้ และเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์สูงสุดจากคุณสมบัติที่ดีของแบคทีเรียเหล่านี้ การใช้กลุ่มจุลินทรีย์หลายชนิดร่วมกัน และการปรับปรุงวิธีการใช้จุลินทรีย์ร่วมกับเมล็ดพันธุ์ หรือต้นพืชด้วยวิธีการทำ seed treatments การเคลือบเมล็ดพันธุ์ การพอกเมล็ดพันธุ์ และ การทำ seed bio-priming ร่วมกับเมล็ดพันธุ์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการปรับปรุงคุณภาพการงอกและการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรคพืชได้อีกด้วย ทั้งนี้จึงได้ยกตัวอย่างการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชร่วมกับแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตด้วยวิธีการทำ Seed treatments และวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช (seed coating)

3. Seed treatments และการเคลือบเมล็ดพันธุ์

3.1 Seed treatments

การทำ seed treatments เป็นกระบวนการที่สำคัญที่จำเป็นต้องปฏิบัติต่อเมล็ดพันธุ์เพื่อป้องกันเมล็ดหรือต้นกล้าพืชได้รับความเสียหายต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง โดยการทำ seed treatment นั้นมีวิธีการหลากหลายทั้งที่ทำให้ลักษณะทางกายภาพ และสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์มีการเปลี่ยนแปลง การเลือกใช้วิธีการ seed treatments วิธีใดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ (บุญมี, 2558) ยกตัวอย่างเช่น การแช่เมล็ดพันธุ์ (Seed soaking), การคลุกเมล็ดพันธุ์ (Seed dressing), การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Seed priming), การเคลือบเมล็ดพันธุ์ (Seed coating), การพอกเมล็ดพันธุ์ (Seed pelleting), เมล็ดพันธุ์เทียม (Pseudo-seed),

Seed agglomeration, Seed tablet และ Seed inoculation เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจุบันนักวิจัยสมัยใหม่ได้ให้ความสนใจเรื่องการทำ seed treatments ร่วมกับแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ด้วยวิธีการทำ Seed inoculation และ Seed coating มากยิ่งขึ้น

การทำ seed treatments ร่วมกับแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจึงมีความสำคัญต่อการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทั้งด้านการป้องกันเมล็ดก่อนการเพาะปลูก หลังการเพาะปลูก จนกระทั่งพัฒนาการของต้นกล้าที่สมบูรณ์แข็งแรง และเจริญเติบโตให้ผลผลิตที่ดีต่อไป อย่างไรก็ตามจากวิธีการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการต่างๆ การเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับแบคทีเรียเป็นหนึ่งในวิธีการที่ได้รับการยอมรับนิยมนักวิจัยมากในปัจจุบัน

3.2 การเคลือบเมล็ดพันธุ์ (Seed coating)

การเคลือบเมล็ดพันธุ์ เป็นเทคโนโลยีระดับสูงที่พัฒนามาจากอุตสาหกรรมเคลือบเม็ดยา โดยเป็นการนำสารสะสมที่มีลักษณะบางเบาฉาบยึดเกาะให้สม่ำเสมอไปบนผิวของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งปัจจุบันได้พัฒนาการเคลือบเมล็ดแบบเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ จำพวก thin polymer ห่อหุ้มที่ผิวของเมล็ด (บุญมี, 2558) จากคุณสมบัติที่ดังกล่าวให้นักวิจัยหลายท่านได้นำสารเคลือบ (polymer) มาประยุกต์สร้างสูตรสารเคลือบร่วมกับแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ชีวภาพชนิดต่างๆ เพื่อนำไปเคลือบร่วมกับเมล็ดพันธุ์เพื่อให้สารชีวภาพเหล่านี้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ขณะทำการเพาะปลูก ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าขณะงอกและมีพัฒนาการเป็นต้นกล้าที่มีความสมบูรณ์แข็งแรง อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการนี้ยังคงมีข้อจำกัดคือแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์บางชนิดอาจมีชีวิตอยู่ได้ไม่นานเมื่อเมล็ดพันธุ์ถูกเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม หรือมีอาหารจากสูตรสารเคลือบไม่มากเพียงพอต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ขณะติดอยู่กับเมล็ดพันธุ์ เป็นต้น (Q' Callaghan, 2016) ซึ่งวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์เป็นหนึ่งในวิธีการที่ได้รับการยอมรับสูงในอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ขนาดใหญ่ ดังนั้นแล้วการศึกษานักวิจัยเพื่อสร้างสูตรสารเคลือบที่มีความเหมาะสมต่อการมีชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จึงมีความจำเป็นต่อการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ทั้งใน

ปัจจุบันและอนาคต เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตพืช และลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อมได้ (Ahemad and Kibret, 2014)

4. การทำ seed treatments ร่วมกับแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์พืช

ในปัจจุบันนักวิจัยให้ความสนใจศึกษาการนำเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ หรือเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช มาปฏิบัติร่วมกับเมล็ดพันธุ์โดยการทำการ seed treatments อย่างมาก ยกตัวอย่างการศึกษาในเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เหล่านี้คือ *Pseudomonas fluorescens*, *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Bradyrhizobium* sp. 750, *Pseudomonas* sp., *Ochrobactrum cytisi*, *Pseudomonas aeruginosa* 4EA, *Pseudomonas* sp. A3R3, *Psychrobacter* sp. SRS8, *Acinetobacter* spp., *Bacillus subtilis* QST713 และ *Pseudomonas fluorescens* CA เป็นต้น เนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถส่งเสริมให้เมล็ดพันธุ์หลังการงอกมีพัฒนาการที่ดีและเป็นต้นกล้าที่มีความแข็งแรงสูง ช่วยป้องกันการเข้าทำลายของโรคพืช การสร้างธาตุอาหารที่จำเป็นต่อต้นกล้าพืช การส่งเสริมการยึดขยายของราก และการยึดขยายของลำต้นพืช เป็นต้น

เห็นได้ชัดว่าแบคทีเรียหลายชนิดมีคุณสมบัติที่หลากหลายต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์พืช ทั้งการช่วยป้องกันอันตรายจากการเข้าทำลายของโรคพืช การผลิตฮอร์โมนพืช และการตรึงธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชได้ โดยจากการรายงานของ Mirshekari et al. (2012) พบว่าการทำ seed treatments ด้วยวิธี bio-priming ด้วย *Azotobacter chroococcum* และ *A. lipoferum* ในข้าวบาร์เลย์ พบว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ด, การสะสมน้ำหนักราก, ผลผลิตรวม, ผลผลิตทางชีวภาพ และดัชนีการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นจากเดิม นอกจากนี้ Sharifi (2012) ยังพบว่าหลังการทำ seed bio-priming ในดอกคำฝอย ด้วย *Pseudomonas* spp. มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนกิ่ง, หัวต่อต้น, จำนวนเมล็ดต่อหัว, จำนวนเมล็ดต่อต้น, น้ำหนัก 1,000 เมล็ด, ปริมาณน้ำมัน และผลผลิตรวม และยังมีการรายงานเพิ่มเติมของ Moeinzadeh et al. (2010) พบว่าการใช้ *Pseudomonas fluorescens* กับต้นกล้าดอกคำฝอย สามารถเพิ่มความสูงต้น ความยาวราก และน้ำหนักเมล็ดสูงขึ้นจากเดิม ส่วน Bennett et al. (2009) พบว่าการใช้ *Clonostachys rosea*, *P. chlororaphis*, *P. fluorescens*, *T. harzianum* และ *T. viride* สามารถเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์และผลผลิตของแครอทและหัวหอมได้

Table 1 Growth promoting substances released by PGPR on several plants after seed treatment process.

Plants	Types of PGPR	Plant growth promoting trails	References
<i>Typha australis</i>	<i>Klebsiella oxytoca</i>	IAA, phosphate solubilization, nitroge- nase activity	Jha and Kumar (2007)
<i>Brassica juncea</i>	<i>Enterobacter</i> sp.	ACC deaminase, IAA, siderophore, phosphate solubilization	Kumar et al. (2008)
Rice	<i>Burkholderia</i>	ACC deaminase, IAA, siderophore, heavy metal solubilization, phosphate solubilization	Jiang et al. (2008)
Rice	<i>Azospirillum amazonense</i>	IAA, nitrogenase activity	Rodrigues et al. (2008)
Wheat	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	ACC deaminase, phosphate solubilization	Shaharoona et al. (2008)
Sugarcane	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	Nitrogenase activity, phosphate solubilization, IAA, ACC deaminase	Mehnaz et al. (2010)
<i>Alyssum serpyllifolium</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. A3R3	IAA, siderophores	Ma et al. (2011)
Mustard	<i>Pseudomonas putida</i>	IAA, siderophores, HCN, ammonia, exo-polysaccharides, phosphate solubilization	Ahemad and Khan (2012)

Note: modified from Ahemad and Kibret (2014)

นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียจำพวก PGPR สามารถส่งเสริมการขยายเซลล์การเจริญเติบโตของราก โดยการผลิตสารจำพวก phytohormones, เอนไซม์ และสาร secondary metabolite ซึ่งเป็นสารที่ได้มาจากการนำสารเมแทบอไลต์ปฐมภูมิ มาเข้าสู่กระบวนการชีวสังเคราะห์ เพื่อสร้างสารชนิดต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตอีกทอดหนึ่ง ได้แก่ สารพวก อัลคาลอยด์, ฟีนอลิก, อะซีโทจีนิน และเทอร์ปีนอยด์ เป็นต้น นอกจากนี้ PGPR ซึ่งมีปฏิสัมพันธ์ที่ดีกับพืชอาศัย (Glick et al., 1999) แล้วยังมีประสิทธิภาพสำหรับการสร้างธาตุอาหารให้แก่พืชผ่านการตรึงไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Khan et al., 2009; Bhattacharyya and Jha, 2012) หรือการผลิตซิเดอรโรฟอรัส ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่แบคทีเรียผลิตออกมาเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่มีธาตุเหล็กหรือมีในปริมาณต่ำมาก จากนั้นยังคงมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีอีกมากมายหลายปฏิกิริยาจนกระทั่งมีการเปลี่ยนแปลงการเพิ่มจำนวนเซลล์ของรากพืช และ Rodrigues et al. (2008) พบว่าแบคทีเรียจำพวก *Azospirillum* มีประสิทธิภาพเป็น PGRB ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และกระตุ้นการสร้างฮอร์โมน IAA และพบกระบวนการตรึงไนโตรเจนให้กับข้าวอีกด้วย (Table 1) และแน่นอนว่า Biological Nitrogen Fixation (BNF) เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีทางเศรษฐกิจที่เป็นประโยชน์และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี (Ladha et al., 1997)

ดังนั้นการทำ seed treatments เป็นกระบวนการต่างๆ โดยจะเน้นไปที่การนำสารออกฤทธิ์มาใช้เพื่อปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อความเหมาะสมต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืช เช่นการใช้ ธาตุอาหารพืช สารเคมีป้องกันกำจัดโรคและแมลง สารเคมีป้องกันกำจัดวัชพืช ฮอโมนพืช สารเร่งการเจริญเติบโตพืช และสารจุลินทรีย์ชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการที่ได้รับความนิยมน่าสนใจคือ การทำ seed treatments ร่วมกับจุลินทรีย์ชีวภาพ โดยเฉพาะแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเป็นวิธีการลดการใช้สารเคมีและมีผลดีต่อสภาพแวดล้อมธรรมชาติ อีกทั้งสามารถ

ยึดเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาการผลิตพืชให้ยั่งยืนได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามวิธีการทำ seed treatments ร่วมกับแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ยังคงมีข้อจำกัดหรือความจำเพาะเจาะจงระหว่างเชื้อแบคทีเรียและพืชอาศัย จึงควรเลือกใช้แบคทีเรียที่เหมาะสมต่อชนิดพืชและยกระดับการศึกษาและวิจัยเพิ่มมากขึ้น

5. การเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์พืช

การเคลือบเมล็ดพันธุ์เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีความนิยมสูงสุดสำหรับการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์หลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากมีข้อดีอยู่หลายประการโดยเฉพาะคุณสมบัติของสารเคลือบที่มีลักษณะเป็นแผ่นพอลิเมอร์บางเบาถูกห่อหุ้มไปกับเมล็ดพันธุ์ ทำให้พอลิเมอร์สารเคลือบเป็นตัวนำพาสารออกฤทธิ์ที่ดี ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ด้วยความสม่ำเสมอและมีอัตราที่แน่นอนสามารถกำหนดได้ จากคุณสมบัติดังกล่าวจะเห็นว่าการวิจัยหลายท่านในปัจจุบัน มีความสนใจสร้างสูตรสารเคลือบที่มีส่วนผสมของเชื้อจุลินทรีย์ชีวภาพให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ แต่ยังคงมีข้อจำกัดของเชื้อจุลินทรีย์อาศัยอยู่ในสารเคลือบได้ในระยะเวลาจำกัด (ความมีชีวิตของจุลินทรีย์ทั้งในรูปแบบการอาศัยอยู่ในสารเคลือบและอาศัยอยู่ร่วมกับเมล็ดพันธุ์หลังการเคลือบ) (Bardin and Huang, 2003) จึงยังไม่มีสารเคลือบสูตรสำเร็จรูปสำหรับขายตามท้องตลาดหรือเพื่อเป็นการค้า อย่างไรก็ตามยังคงมีการพัฒนาสารเคลือบโดยใช้พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ร่วมกับเมล็ดพันธุ์พืชหลายชนิด และพบว่า มีแบคทีเรียบางชนิดสามารถอยู่ในต้นกล้าพืชหลังงอกเมื่อผ่านการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการเคลือบ ยกตัวอย่างจากการรายงานของ Kaewkham (2015) พบว่าเมื่อเคลือบเมล็ดพันธุ์แดงกว่าด้วย Methyl cellulose 1% ร่วมกับ *Bacillus subtilis* QST713 และ *Pseudomonas fluorescens* CA จากนั้นตรวจสอบความมีชีวิตของแบคทีเรีย โดยนำเมล็ดพันธุ์ไปเร่งอายุนาน 72 ชั่วโมง แล้วนำไปเพาะในกระบะทรายที่ผ่านการฆ่าเชื้อเป็นเวลานาน 7 วัน จากนั้นนำรากของต้นกล้าแดงมาตรวจสอบความมี

ชีวิตของแบคทีเรียมีในรากต้นกล้าพืชด้วยเครื่อง Fluorescence Microscope พบว่า มีแบคทีเรียที่สามารถอาศัยอยู่ในรากพืชได้ 3 วัน และจากการรายงานของ Burton and Curley (1966) พบว่าเมื่อเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยธาตุโมลิบดีนัมจะทำให้แบคทีเรียมีประสิทธิภาพตรึงไนโตรเจนได้ลดลงเมื่อผ่านไป 4 วัน

นอกจากนี้ยังมีบางรายงานพบว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยพอลิเมอร์อาจเป็นอุปสรรคต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซของเมล็ดในพืชตระกูลถั่ว ซึ่งเป็นสาเหตุของการลดลงของการตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรีย (Duarte et al., 2004) เนื่องจากแบคทีเรียเหล่านี้จะผลิตเอนไซม์ไนโตรจีเนส (Kim and Rees, 1994) ซึ่งจะว่องไวต่อออกซิเจน แล้วทำปฏิกิริยาได้กับสารประกอบของเหล็กในโปรตีน และแม้จะไม่ใช่อุปสรรคสำหรับแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน แต่ยังคงเป็นปัญหาหลักสำหรับแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน เช่น แบคทีเรียในกลุ่มไซยาโน

แบคทีเรีย (Bhattacharyya and Jha, 2012) แต่ในบางสถานการณ์แบคทีเรียก็ยังคงสามารถปรับตัวเพื่อดำรงความมีชีวิตรอดได้ ยกตัวอย่างเช่น *Azotobacter* ssp. จะมีอัตราการหายใจสูง เพื่อเป็นกลไกป้องกันเอนไซม์ไนโตรจีเนส โดยการทำให้ระดับออกซิเจนในเซลล์ต่ำ และยังสร้างสารพอลิแซ็กคาไรด์เพื่อมาห่อหุ้มเซลล์ด้านนอก เพื่อการเก็บน้ำในชั้นของพอลิแซ็กคาไรด์ แบคทีเรียจึงสามารถกำหนดอัตราการแพร่ของออกซิเจนไปยังเซลล์ในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยร่วมกันเพื่อตรึงไนโตรเจน เช่น ไรโซเบียม (Zahran, 2001) ซึ่งอยู่ในปมรากถั่วที่บรรจุโมเลกุลที่สามารถไล่ออกซิเจนได้ เช่น เลกเฮโมโกลบิน (leghaemoglobin) จะสามารถสังเกตเห็นได้เมื่อตัดรากถั่วเป็นสี่สมพู่ เมื่อเกิดการตรึงไนโตรเจน ทำหน้าที่ควบคุมการขนส่งออกซิเจนยังปมรากถั่ว

Table 2 Plant growth promotion bacteria used for biological seed coating process.

Plants	Types of PGPR	Target	References
Carrot, wheat, Ryegrass	<i>Serratia entomophila</i>	<i>Costelytra zealandica</i>	Wright et al. (2005)
Onion	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Pythium</i> sp.	O'Callaghan et al. (2006)
Sesame	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	<i>Fusarium</i> spp., <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Ralstonia solanacearum</i>	Ryu et al. (2006)
Oilseed rape	<i>Serratia plymuthica</i>	<i>Verticillium dahliae</i>	Muller and Berg (2008)
Tomato	<i>Beauveria bassiana</i>	<i>Helicoverpa zea</i>	Powell et al. (2009)
Witch weed	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>strigae</i>	Root parasitic weed	Elzein et al. (2010)
Cucumber	<i>Bacillus subtilis</i> QST713 and <i>Pseudomonas fluorescens</i> CA	<i>Didymella bryoniae</i>	Kaewkham et al. (2016)

Note: modified from Q' Callaghan (2016)

นอกจากนี้ยังพบการศึกษาการนำแบคทีเรียอีกหลากหลายสายพันธุ์สำหรับมาใช้ร่วมกับการเคลือบเมล็ดพันธุ์ *Trifolium subterraneum* L. และ *Medicago sativa* L. ด้วยเชื้อ *Sinorhizobium meliloti* และ *Rhizobium trifolii* ตามลำดับ (Brockwell et al., 1988) และจากการเคลือบเมล็ดร่วมกับ *Serratia entomophila* เพื่อควบคุมการเข้าทำลายของด้วง

(Grubs) ในต้นกล้าแครอท (Wright et al., 2005) และ การใช้สารเคลือบสูตร sodium lignin sulfonate 1%, carboxy methylcellulose sodium 2% และ dextrin 2% เมื่อนำมาเคลือบร่วมกับ actinomycetes F22-29 พบว่าสามารถเพิ่มความมีชีวิตของต้นกล้า rape และ chinese cabbage เพิ่มขึ้นจากเดิม 63.16% และ 15.78% ตามลำดับ (Song et al., 2014) และจากการ

เคลือบเมล็ดพันธุ์หัวหอม (Onion) ร่วมกับ *Pseudomonas fluorescens* F113 พบว่าสามารถยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้นาน 70 วัน โดยเมล็ดพันธุ์ยังคงมีความงอกและความแข็งแรงดีและ *Pseudomonas fluorescens* F113 ยังคงมีศักยภาพที่ดีสำหรับการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา *Pythium ultimum* ได้อีกด้วย (O'Callaghan et al., 2006) (Table 2) และในปัจจุบัน Tu et al. (2016) รายงานเพิ่มเติมว่า การเคลือบเมล็ดด้วยสูตรสารเคลือบ ESCA4 (1.0% (w/v) sodium alginate, 4.0% polyvinyl alcohol, 1.0% sodium dodecyl sulfate, 0.6% acacia, 0.5% bentonite และ 10% (v/v) microcapsules) ร่วมกับแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* SL-13 สามารถยกระดับความงอกของเมล็ดพันธุ์ฝ้ายเพิ่มขึ้น 28.74% นอกจากนี้ยังเพิ่มการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาของต้นกล้า คือ ความสูงต้น และความยาวรากคือ 52.70% และ 25.13% ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามเทคนิคการเคลือบเมล็ดพันธุ์เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาให้มีความทันสมัยอยู่ตลอดเวลา ทั้งเทคโนโลยีเครื่องเคลือบเมล็ดพันธุ์ และคุณสมบัติของสารเคลือบเมล็ดพันธุ์ ทำให้มีความหลากหลายให้เลือกใช้ตามวัตถุประสงค์ของผู้บริโภค และหนึ่งในทางเลือกในอนาคต คือ การใช้สารจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์ ซึ่งจะเป็นการพัฒนาการปลูกพืชเพื่อลดการใช้สารเคมีลดอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ อีกทั้งเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้นการเลือกประยุกต์ใช้สารเคลือบที่เหมาะสมต่อชนิดของพืช และต่อชนิดของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช จะทำให้การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยการเคลือบเมล็ดพันธุ์เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่เป็นประโยชน์สูงสุดสำหรับการเพาะปลูกพืชทั้งในปัจจุบันและอนาคต

สรุป

จากการรวบรวมรายงานการวิจัยต่างๆ พบว่าการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชร่วมกับแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชด้วยวิธีการทำ seed treatments ด้วยวิธีการคลุกเมล็ด การแช่เมล็ด การทำ seed priming และ การเคลือบเมล็ดพันธุ์ สามารถยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ต้นกล้าพืช ตลอดจนการเพิ่มผลผลิตของพืชให้เพิ่มสูงขึ้นได้ ซึ่งมีบทบาทที่สำคัญหลายประการต่อพืช เช่น การผลิตฮอร์โมนพืช การตรึงไนโตรเจน การย่อยสลายฟอสฟอรัส ลดปริมาณสารพิษจากดินเช่นโลหะหนัก และสารเคมีกำจัดโรคและศัตรูพืช อีกทั้งการควบคุมโรคพืชบางชนิดได้ และในอนาคตการเพิ่มความยั่งยืนของการผลิตพืชด้วยการใช้จุลินทรีย์ชีวภาพเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีความสำคัญทางด้านการเกษตร

เอกสารอ้างอิง

- บุญมีศิริ. 2558. การยกระดับและการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น. 239 หน้า.
- นุชนาถ วุฒิประดิษฐ์กุล. 2554. ภาวะเครียดจากออกซิเดชันและระบบด้านการเกิดออกซิเดชันในพืช. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 39(2): 172-181
- วิยะดา มงคลธนาภิษฐ์. 2554. การศึกษาสารเร่งการเจริญเติบโตของพืชและคุณลักษณะของเชื้อเอ็นโดไฟติกแบคทีเรียที่ได้จากเขตพื้นที่เขื่อนอุบลรัตน์. รายงานฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- สุจิตตรา ปะนันโต, ภาณุภูมิ ตันเดชสาธิต, ศิริลักษณ์ จิตรอักษร, รังสฤษฎ์ กาวีดี และกรรณิการ์ สัจจาพันธ์. 2556. เอ็นโดไฟติกแบคทีเรียและผลในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว. เก่นเกษตร. 41(4): 457-468.
- Ahemad, M., and M.S., Khan. 2010. Influence of selective herbicides on plant growth promoting traits of phosphate solubilizing *Enterobacter asburiae* strain PS2. Res. J. Microbiol. 5: 849-857.
- Ahemad, M., and M.S. Khan. 2012. Effect of fungicides on plant growth promoting activities of phosphate solubilizing *Pseudomonas putida* isolated from mustard (*Brassica campestris*) rhizosphere. Chemosphere. 86: 945-950.

- Ahemad, M., and M. Kibret. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University-Science*. 26: 1-20.
- Ahmad, F., I. Ahmad, and M.S., Khan. 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiol. Res*. 163: 173-181.
- Bardin, S.D., and H.C. Huang. 2003. Efficacy of stickers for seeds treatment with organic matter or microbial agents for the control of damping-off of sugar beet. *Plant Pathol. Bull*. 12: 19-26.
- Barrow, K., and D.H. Kwon. 2009. Alterations in two-component regulatory systems of *phoPQ* and *pmrAB* are associated with polymyxin B resistance in clinical isolates of *Pseudomonas aeruginosa*. *Antimicrob Agents Chemother*. 53: 5150-5154.
- Bashan, Y., and L.E. Bashan. 2005. Bacteria/plant growth-promotion, p. 103-115. In: D. Hillel (ed.), *Encyclopedia of soils in the environment*, vol. 1. Elsevier, Oxford, United Kingdom.
- Beneduzi, A., D. Peres., L.K. Vargas., M.H. Bodanese-Zanettini, and L.M.P., Passaglia. 2008. Evaluation of genetic diversity and plant growth promoting activities of nitrogen-fixing Bacilli isolated from rice fields in South Brazil. *Appl. Soil Ecol*. 39: 311-320.
- Bennett, A.J., A. Mead, and J.M. Whipps. 2009. Performance of carrot and onion seed primed with beneficial microorganisms in glasshouse and field trials. *Biol Control*. 51: 417-426.
- Bhattacharyya, P.N., and D.K. Jha. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World J. Microbiol. Biotechnol*. 28: 1327-1350.
- Brockwell, J., R.A. Holliday, and A. Pilka. 1988. Evaluation of the symbiotic fixing potential of soils by direct microbiological means. *Plant Soil*. 108: 163-170.
- Bruggink, G.T. 2005. Flower seed priming, pregermination, pelleting and coating, pp. 249-262. In: M.B. McDonald and F.Y. Kwong (eds). *Flower Seed Biology and Technology*. CABI Publishing, USA.
- Burton, J.C., and R.L. Curley. 1966. Compatibility of *Rhizobium japonicum* and sodium molybdate when combined in a peat carrier medium. *Agron J*. 58: 327-330.
- Cazorla, F.M., D. Romero., A. Perez-Garcia., B.J.J. Lugtenberg., A. Vicente, and G. Bloemberg. 2007. Isolation and characterization of antagonistic *Bacillus subtilis* strains from the avocado rhizoplane displaying biocontrol activity. *J. Appl. Microbiol*. 103: 1950-1959.
- Compant, S., B. Duffy, and J. Nowak. 2005. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of Plant Diseases: principle, mechanisms of action, and future prospects. *Appl Environ Microb*. 71: 4951-4959.
- Croplife foundation. 2013. The Role of Seed Treatment in Modern U.S. Crop Production. Available. <http://croplifefoundation.org>. Accessed Aug. 25, 2014.
- Duarte, C.R., J.L.V. Neto, and M.H. Lisboa. 2004. Experimental study and simulation of mass distribution of the covering layer of soybean seeds coated in a spouted bed. *Braz J Chem Eng*. 21: 59-67.
- Elzein, A., A. Heller., B. Ndambi., M.D. Mol., J. Kroschel, and G. Cadisch. 2010. Cytological investigations on colonization of sorghum roots by the mycoherbicide *Fusarium oxysporum* f.sp. *strigae* and its implications for *Striga* control using a seed treatment delivery system. *Biol. Control*. 53: 249-257.
- Gholami, A., S. Shahsavani, and S. Nezarat. 2009. The effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *World Acad. Sci. Technol*. 49: 19-24.
- Glick, B.R. 2012. *Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications*. Hindawi Publishing Corporation, Scientifica.
- Glick, B.R., C.L. Patten., G. Holguin, and G.M. Penrose. 1999. *Biochemical and Genetic Mechanisms Used by Plant Growth Promoting Bacteria*. Imperial College Press, London.
- Hardoin, P., V.L. Overbeek, and V.J. Elsas. 2008. Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends Microbiol*. 16: 463-471.
- Hayat, R., S. Ali, and U. Amara. 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Ann Microbiol*. 60: 579-98.
- Herrera, J.M., G. Rubio., L. Levy., J.A. Delgado., C.A. Lucho-Constantino., S. Islas-Valdez, and D. Pellet. 2016. Emerging and established technologies to increase nitrogen use efficiency of cereals. *Agronomy*. 6(25): 1-19.
- Jha, P.N., and A. Kumar. 2007. Endophytic colonization of *Typha australis* by a plant growth-promoting bacterium *Klebsiella oxytoca* strain GR-3. *J. Appl. Microbiol*. 103: 1311-1320.

- Jiang, C., X. Sheng., M. Qian, and Q. Wang. 2008. Isolation and characterization of a heavy metal-resistant *Burkholderia* sp. from heavy metal-contaminated paddy field soil and its potential in promoting plant growth and heavy metal accumulation in metalpolluted soil. *Chemosphere*. 72: 157-164.
- Junges, E., M. Toebe., R.F.D. Santos., G. Finger, and M.F.B. Muniz. 2013. Effect of priming and seed-coating when associated with *Bacillus subtilis* in maize seeds. *Revista Ciência Agronômica*. 44(3): 520-526.
- Kaewkham, T. 2014. Development of Seed Coating Formulations for Control Gummy Stem Blight (*Didymella bryoniae*) in Hybrid Cucumber seed. Doctor of Philosophy Thesis in Agronomy, Graduate School, Khon Kaen University.
- Kaewkham, T., R.K. Hynes, and B. Siri. 2016. The effect of accelerated seed ageing on cucumber germination following seed treatment with fungicides and microbial biocontrol agents for managing gummy stem blight by *Didymella bryoniae*. *Biocontrol Science and Technology*. 26(8): 1048-1061.
- Khan, M.S., A. Zaidi., P.A. Wani, and M. Oves. 2009. Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils. *Environ. Chem. Lett.* 7: 1-19.
- Kim, J., and D.C. Rees. 1994. Nitrogenase and biological nitrogen fixation. *Biochemistry*, 33:389-397.
- Kloepper, J.W., and M.N. Schroth. 1978. Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. In: *Proceedings of the Fourth International Conference on Plant Pathogen Bacteria*, INRA, Gilbert-Clarey, Tours, France, 2: 879-82.
- Kumar, K.V., N. Singh, H.M. Behl, and S. Srivastava. 2008. Influence of plant growth promoting bacteria and its mutant on heavy metal toxicity in *Brassica juncea* grown in fly ash amended soil. *Chemosphere*. 72: 678-683.
- Ladha, J.K., F.J. Bruijn, and K.A. Malik. 1997. Introduction: assessing opportunities for nitrogen fixation in rice-a frontier project. *Plant Soil*. 124: 1-10.
- Liu, H., Y. He., H. Jiang., H. Peng., X. Huang., X. Zhang., L.S. Thomashow, and Y. Xu. 2007. Characterization of a phenazineproducing strain *Pseudomonas chlororaphis* GP72 with broadspectrum antifungal activity from green pepper rhizosphere. *Curr. Microbiol.* 54: 302-306.
- Ma, Y., M. Rajkumar., J.A. Vicente, and H. Freitas. 2011. Inoculation of Ni-resistant plant growth promoting bacterium *Psychrobacter* sp. strain SRS8 for the improvement of nickel phytoextraction by energy crops. *Int. J. Phytoremediation*. 13: 126-139.
- Mahmood, A. O.C. Turgay., M. Farooq, and R. Hayat. 2016. Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria: a review. *FEMS Microbiology Ecology*. 92: 1-14.
- Mehnaz, S., D.N. Baig, and G. Lazarovits. 2010. Genetic and phenotypic diversity of plant growth promoting rhizobacteria isolated from sugarcane plants growing in Pakistan. *J. Microbiol. Bio.* 20: 1614-1623.
- Mirshekari, B., S. Hokmalipour, and R.S. Sharifi. 2012. Effect of seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and dry matter accumulation of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) at various levels of nitrogen and phosphorus fertilizers. *J Food Agric Environ*. 10: 314-20.
- Moeinzadeh, A., F.S. Zadeh, and M. Ahmadzadeh. 2010. Biopriming of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed with *Pseudomonas fluorescens* for improvement of seed invigoration and seedling growth. *Aust J. Crop Sci.* 4: 564.
- Muller, H., and G. Berg. 2008. Impact of formulation procedures on the effect of the biocontrol agent *Serratia entomophila* HRO-C48 on *Verticillium* wilt in oilseed rape. *BioControl*. 53: 905-916.
- Noel, T.C., C. Sheng., C.K. Yost., R.P. Pharis, and M.F. Hynes. 1996. *Rhizobium leguminosarum* as a plant growth promoting rhizobacterium: direct growth promotion of canola and lettuce. *Can. J. Microbiol.* 42: 279-283.
- O'Callaghan, M. 2016. Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities. *Appl Microbiol Biotechnol*. 100: 5729-5746.
- O'Callaghan, M. 2016. Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities. *Appl Microbiol Biotechnol*. 100: 5729-5746.
- O'Callaghan, M., Swaminathan, J. Lottmann., D. Wright, and T.A. Jackson. 2006. Seed coating with biocontrol strain *Pseudomonas fluorescens* F113. *NZ Plant Prot.* 59: 80-85.
- Phi, Quyet-Tien., P. Yu-Mi., S. Keyung-Jo., R. Choong-Min., P. Seung-Hwan., K. Jong-Guk, and G. Sa-Youl. 2010. Assessment of root-associated *Paenibacillus polymyxa* groups on growth promotion and induced systemic resistance in pepper. *J. Microbiol. Biotechnol.* 20: 1605-1613.

- Poole, K. 2012. Bacterial stress responses as determinants of antimicrobial resistance. *J. Antimicrob. Chemother.* 67: 2069-2089.
- Powell, W.A., W.E. Klingerman., B.H. Ownley, and K.D. Gwinn. 2009. Evidence of endophytic *Beauveria bassiana* in seed-treated tomato plants acting as systemic entomopathogen to larval *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Entomol Sci.* 44: 391-396.
- Ramamoorthy, V., R. Viswanathan., T. Raguchander., V. Prakasan, and R. Samiyappan. 2001. Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. *Crop Protection.* 20: 1-11.
- Ramette, A., M. Frapoli., G. Défago, and Y.M. Loccoz. 2003. Phylogeny of HCN synthase-encoding hcnBC genes in biocontrol *fluorescent pseudomonads* and its relationship with host plant species and HCN synthesis ability. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 16: 525-535.
- Rodrigues, E.P., L.S. Rodrigues., A.L.M. Oliveira., V.L.D. Baldani., K.R.S. Teixeira., S. Urquiaga, and V.M. Reis. 2008. *Azospirillum amazonense* inoculation: effects on growth, yield and N₂ fixation of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Soil.* 302: 249-261.
- Ryu, C-M., J. Kima., O. Choi., S.H. Kima, and C.S. Park. 2006. Improvement of biological control capacity of *Paenibacillus polymyxa* E681 by seed pelleting on sesame. *Biol Control.* 39: 282-289.
- Shahab, S. A., Nuzhat, and S.K. Nasreen. 2009. Indole acetic acid production and enhanced plant growth promotion by indigenous PSBs. *African J. Agricul Res.* 4: 1312-1316.
- Shaharoona, B., M. Naveed., M. Arshad, and Z.A. Zahir. 2008. Fertilizer-dependent efficiency of *Pseudomonads* for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 79: 147-155.
- Shariif, R.S. 2012. Study of nitrogen rates effects and seed biopriming with PGPR on quantitative and qualitative yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Tech J Eng Appl Sci.* 2: 162-166.
- Song, Y., Y. Huang., X. Wang., J. Shang, and H. Yang. 2014. Preparation and Control Efficiency of Seed Coating Agent by Antagonistic Actinomycetes Against Clubroot. *J of Agricul. Sci.* 6(3): 132-139.
- Tank, N., and M. Saraf. 2009. Enhancement of plant growth and decontamination of nickel-spiked soil using PGPR. *J. Basic Microbiol.* 49: 195-204.
- Tu, L., Y. He., C. Shan, and Z. Wu. 2016. Preparation of Microencapsulated *Bacillus subtilis* SL-13 Seed Coating Agents and Their Effects on the Growth of Cotton Seedlings. *BioMed Research Inter.* p.1-7.
- Vivas, A., B. Biro., J.M. Ruiz-Lozano., J.M. Barea, and R. Azcon. 2006. Two bacterial strains isolated from a Zn-polluted soil enhance plant growth and mycorrhizal efficiency under Zn toxicity. *Chemosphere.* 52: 1523-1533.
- Wani, P.A., and M.S. Khan. 2010. *Bacillus* species enhance growth parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in chromium stressed soils. *Food Chem. Toxicol.* 48: 3262-3267.
- Wright, D.A., J. Swaminathan., M. Blaser, and T.A. Jackson. 2005. Carrot seed coating with bacteria for seedling protection from grass grub damage. *NZ Plant Prot.* 58: 229-233.
- Zahir, Z.A., M.K. Shah., M. Naveed, and M.J. Akhter. 2010. Substrate-dependent auxin production by *Rhizobium phaseoli* improves the growth and yield of *Vigna radiata* L. under salt stress conditions. *J. Microbiol. Biotechnol.* 20: 1288-1294.
- Zahrán, H.H. 2001. Rhizobia from wild legumes: diversity, taxonomy, ecology, nitrogen fixation and biotechnology. *J. Biotechnol.* 91: 143-153.