ผลของการทำ Seed Treatment ร่วมกับแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชต่อความงอกและการเติบโตของผักกาดหอม

Effects of Seed Treatment with Plant Growth Promoting Bacteria on Germination and Growth of Lettuce

จักรพงษ์ กางโสภา[1, 2] Russell K. Hynes[2] **และ บุญมี ศิริ**[1*]

Jakkrapong Kangsopa[1, 2] Russell K. Hynes[2] and Boonmee Siri[1*]

[1]*สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002*

[1]*Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand*

[2]*Agriculture and Agri-Food Canada, 107 Science Place, Saskatoon, SK, Canada*

**Corresponding author: Email: boonmee@kku.ac.th*

(Received: 28 November 2017; Accepted: 29 March 2018)

Abstract: The application of seed treatment with microbial probiotics for plant growth promotion plays an important role in optimizing the use of seeds for maximum benefit. The purposes of this experiment were to evaluate seed treatment with microbial probiotics plant growth promotion of lettuce seeds, and tracking germination and seedling growth and cultivation in soilless culture conditions. The experiment was carried out at the Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Canada. This study was divided into two experiments: The first experiment was carried by selected two microorganisms: *Pseudomonas fluorescens* 31-12 and *Bacillus subtilis*. Each type of microorganism was used for seed treatment consisting of soaking, coating, and pelleting, and then the germination and seedling growth were examined. The laboratory results revealed that seed germination was not significantly different. However, seed coating and pelleting with *P. fluorescens* 31-12 had the best shoot length, at 41.16 and 41.23 mm, respectively, and seed pelleting with *B. subtilis* had the best root length of 124.26 mm. The greenhouse results revealed that seed coating and pelleting with *P. fluorescens* 31-12 had the best shoot length of 60.10 and 57.85 mm, respectively, and had the best shoot fresh weight of 747.72 and 743.06 mg, respectively. The seed pelleting with *P. fluorescens* 31-12 had the best shoot dry weight of 28.83 mg and there was significantly different compared to untreated seed. The second experiment, selected coating and seed pelleting with *P. fluorescens* 31-12 to cultivate in soilless culture conditions. The results showed that seed coating and pelleting with *P. fluorescens* 31-12 had better leaf fresh weight, leaf dry weight, root fresh weight, and root dry weight, and there were significantly different when compared to untreated seeds.

Keywords: Lettuce seed, seed treatments, probiotic, seed quality

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: การประยุกต์วิธีการทำ seed treatment ร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เมล็ดพันธุ์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการทำ seed treatment ด้วยจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม และติดตามการงอก การเจริญเติบโตของต้นกล้า และการเพาะปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดิน โดยทดลองที่ Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC) ประเทศแคนาดา แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 คัดเลือกจุลินทรีย์ 2 ชนิด คือ *Pseudomonas fluoresces* 31-12 และ *Bacillus subtilis* ซึ่งแต่ละชนิดนำมาทำ seed treatment ประกอบด้วยวิธีการ แช่เมล็ดพันธุ์ เคลือบเมล็ดพันธุ์ และพอกเมล็ดพันธุ์ จากนั้นนำมาตรวจสอบความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า จากผลการตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า ความงอกของเมล็ดพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่การเคลือบและการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 มีความยาวต้นดีที่สุด คือ 41.16 และ 41.23 มิลลิเมตร ตามลำดับ และการพอกเมล็ดร่วมกับ *B. subtilis* มีความยาวรากดีที่สุด คือ 124.26 มิลลิเมตร ส่วนการตรวจสอบในสภาพเรือนทดลองพบว่าการเคลือบและการพอกเมล็ดด้วย *P. fluorescens* 31-12 มีความยาวต้นดีที่สุด (60.10 และ 57.85 มิลลิเมตร ตามลำดับ) และมีน้ำหนักสดลำต้นดีที่สุด (747.72 และ 743.06 มิลลิกรัม ตามลำดับ) ส่วนการพอกเมล็ดด้วย *P. fluorescens* 31-12 มีน้ำหนักแห้งลำต้นดีที่สุด คือ 28.83 มิลลิกรัม และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการทำ seed treatment ส่วนการทดลองที่ 2 คัดเลือกวิธีการเคลือบและพอกเมล็ดร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 มาเพาะปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดิน พบว่าการเคลือบและการพอกเมล็ดพันธุ์ด้วย *P. fluorescens* 31-12 มีน้ำหนักสดใบ น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งรากมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดควบคุม

คำสำคัญ: เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม seed treatments จุลินทรีย์ คุณภาพเมล็ดพันธุ์

คำนำ

จุลินทรีย์ที่มีวงชีวิตอยู่ร่วมกันกับพืช มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชในด้านสารอาหาร และการต้านทานต่อโรคที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์อื่น ๆ หรือช่วยลดสารพิษที่มีอยู่ในดิน (Bardi and Malusà, 2012; Malusa and Vassilev, 2014; Vessey, 2003) โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสามารถสร้างสารอาหารที่ต้นพืชต้องการเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในสกุล *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* และ *Serratia* เป็นต้น จุลินทรีย์เหล่านี้มีกลไกที่สำคัญคือ สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชโดยการผลิตฮอร์โมนพืชหรือสนับสนุนให้พืชหาอาหารและการดูดซึมจากดินผ่านกลไกต่าง ๆ มากขึ้น อีกทั้งจุลินทรีย์เหล่านี้ยังสามารถตรึงไนโตรเจนในบรรยากาศ (Lakshminarayana *et al*., 1992) กระตุ้นการละลายของฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ (Kundu and Gaur, 1980) การสังเคราะห์สารประกอบธาตุเหล็ก (Glick *et al*., 2007) การผลิตกรดอินทรีย์กรดอะมิโน (IAA) ซึ่งช่วยเพิ่มการเจริญของราก (Oteino *et al*., 2015) และลำต้น (จีราภรณ์ และคณะ, 2560) การลดความเป็นพิษของโลหะหนักในพืช และลดการเกิดโรคในพืช โดยการผลิตไคติเนส β-1, 3-glucanase และ pectinase เพื่อลดการสร้างผนังเซลล์ของเชื้อรา (Bloemberg and Lugtenberg, 2001; Turan *et al*., 2005)

การทำ seed treatment เป็นวิธีการปฏิบัติต่อเมล็ดพันธุ์เพื่อยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพดีขึ้นจากเดิม (ธิดารัตน์, 2560) เช่น การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ และสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ เป็นต้น ปัจจุบันวิธีการที่ได้รับความนิยม ยกตัวอย่างเช่น การแช่เมล็ดพันธุ์ การเคลือบเมล็ดพันธุ์ และการพอกเมล็ดพันธุ์ เป็นต้น (Taylor *et al*., 1998) ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ให้เหมาะสมสำหรับนำไปใช้เพื่อการเพาะปลูกได้ โดยเฉพาะผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) ซึ่งเป็นพืชผักที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในทวีปเอเชียและทั่วโลก (Kim *et al*., 2016) แต่เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมมีรูปร่าง ขนาดเล็ก แบน บาง และน้ำหนักเบา จึงยากต่อการเพาะปลูก

อีกทั้งการเพาะปลูกผักกาดหอมต้องการเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพสูง มีความงอกสม่ำเสมอ ต้นกล้าแข็งแรง ปราศจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง และสะดวกสบายต่อการเพาะปลูก จึงทำให้ปัจจุบันเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมที่ผ่านการทำ seed treatment เป็นที่ต้องการเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันการเพาะปลูกผักกาดหอมในระบบการปลูกพืชไร้ดินมีความสำคัญต่อการผลิตผักกาดหอม เนื่องจากเป็นวิธีการใช้พื้นที่เพาะปลูกน้อยและสามารถทำการผลิตได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องได้ตลอดปี อีกทั้งประหยัดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินและกำจัดวัชพืช รวมทั้งสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชได้อย่างถูกต้องแน่นอนและรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม การทำ seed treatment มีวัตถุประสงค์จำเพาะเจาะจงต่อการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์หลายประเภท ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ วิธีการเคลือบเมล็ดและพอกเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากเป็นวิธีการสนับสนุนการเพาะกล้าผักกาดหอมที่มีความสะดวก ง่าย และมีประสิทธิภาพสูง โดยวิธีการเคลือบและพอกเมล็ดพันธุ์สามารถนำพาสารออกฤทธิ์ชนิดต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นต่อการงอกและการเจริญเติบโตให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้ ยกตัวอย่างเช่น จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ธาตุอาหารพืช สารป้องกันโรคและแมลง และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น โดยเฉพาะการเลือกใช้จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชมาใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะปลูก เนื่องจากจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชมีบทบาทสำคัญจากการตรึงไนโตรเจน การละลายธาตุอาหารพืช และสามารถสร้างสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชได้ (Glick, 2012) ยกตัวอย่างการรายงานการใช้ 12 สายพันธุ์ของ *Pseudomonas* ที่มีผลต่อการช่วยละลายฟอสเฟต และผลิตฮอร์โมน (Cipriano *et al*., 2016) ที่มีความสำคัญต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหอม นอกจากนี้ Olivera *et al*. (2016) รายงานว่าการเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลีร่วมกับ arbuscular mycorrhiza พบว่า สามารถเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียม (K) กำมะถัน (S) และสังกะสี (Zn) ในดินมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมการเกิดโรครากเน่าพร้อมทั้งส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น ในการเพาะปลูก mungbean (Ramzan *et al*., 2016) แต่ปัจจุบันยังคงขาดเอกสารรายงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วิธีการทำ seed treatment ร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการทำ seed treatment ร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และติดตามการเปลี่ยนแปลงของความงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมตลอดจนติดตามการเจริญเติบโตเมื่อตรวจสอบการเพาะปลูกผักกาดหอมในระบบการปลูกพืชไร้ดิน ดังนั้นผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ และการเพาะปลูกผักกาดหอมในระบบการปลูกพืชไร้ดินให้มีผลผลิตและคุณภาพเพิ่มสูงขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

ได้รับความอนุเคราะห์เชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas fluorescens* 31-12 และ *Bacillus subtilis* และทดลองที่ห้องปฏิบัติการ Agriculture and Agri-Food Canada, Saskatoon, Canada ประเทศแคนาดา ส่วนเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมพันธุ์ RUTLL 58-1 ได้รับความอนุเคราะห์จาก คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา ลำปาง และทำการวิจัยระหว่าง มิถุนายน-ธันวาคม 2559 โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การคัดเลือกวิธีการทำ seed treatment และเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

1. การเตรียมจุลินทรีย์

P. fluorescens 31-12 และ *B. subtilis* เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ 50 เปอร์เซ็นต์ trypticase soy broth (TSB, Difco, Becton-Dickinson) ในเครื่องเขย่า 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และหลังจากตรวจสอบด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

พบว่ามีปริมาณแบคทีเรียของ *P. fluorescens* 31-12 และ *B. subtilis* คือ 1.534 และ 0.631 cfu/ml ตามลำดับ

2. การทำ seed treatments

ทุกวิธีการทดลองใช้เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม 10 กรัม โดยวิธีการแช่เมล็ดพันธุ์ (seed soaking) ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการเพาะเลี้ยง *P. fluorescens* 31-12 และ *B. subtilis* ในปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 20 นาที ส่วนการเคลือบเมล็ดพันธุ์ (seed coating) ใช้ carboxymethyl cellulose (CMC) อัตรา 0.1 เปอร์เซ็นต์ (Sigma Aldrich) เป็นสารเคลือบ และการพอกเมล็ดพันธุ์ (seed pelleting) ใช้ CMC อัตรา 0.3 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเป็นวัสดุประสาน และใช้ calcium sulfate อัตรา 250 กรัม เป็นวัสดุพอก โดยมีวิธีทดลอง 9 วิธีการ จำนวน 4 ซ้ำ ตามตารางที่ 1 จากนั้นนำทั้ง 3 วิธีการ มาลดความชื้นในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. การตรวจสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม

3.1 การตรวจสอบความงอกในสภาพห้องปฏิบัติการ

การตรวจสอบความงอกในสภาพห้องปฏิบัติการทำโดยสุ่มเมล็ดพันธุ์แต่ละวิธีการจำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 เมล็ด มาทดสอบความงอกโดยใช้ถุงเพาะความงอก (growth pouch bag) จากนั้นนำไปไว้ในตู้เพาะความงอกอุณหภูมิสลับ (12 ชั่วโมง 20 องศาเซลเซียส และ 12 ชั่วโมง 15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 30-50 เปอร์เซ็นต์) แล้วนำมาประเมินผลความงอกตามหลักสากล (ISTA, 2013)

3.2 การตรวจสอบความงอกในสภาพเรือนทดลอง

ตรวจสอบความงอกโดยสุ่มเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการทำ seed treatment และเมล็ดควบคุม จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด มาทดสอบความงอกในถาดหลุม ซึ่งใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะต้นกล้า แล้วประเมินผลการงอกที่ 4-7 วัน และการตรวจสอบความยาวลำต้นประเมินเช่นเดียวกันกับวิธีการตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ (ISTA, 2013)

4. การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอม

การตรวจสอบความยาวต้น และความยาวราก ประเมินที่ 14 วันหลังปลูก ทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง โดยมีวิธีการตรวจสอบดังนี้

4.1 การตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

การประเมินในสภาพห้องปฏิบัติการใช้ถุงเพาะความงอก เพื่อประเมินความยาวต้นและความยาวราก ทั้งหมดทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น โดยการตรวจวัดความยาวต้นจะวัดตั้งแต่บริเวณโคนต้นจนถึงปลาย ส่วนความยาวรากจะวัดตั้งแต่โคนรากจนถึงปลายราก (มิลลิเมตร) หลังจากการตรวจวัดความยาวต้นและความยาวราก แล้วนำต้นกล้าไปตรวจสอบน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้า โดยทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น โดยการประเมินหาน้ำหนักแห้ง ทดสอบในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง (กรัม)

Table 1. Method and formulation of seed treatments

Seed treatment	Control	Coating	Pelleting	Soaking		Coating		Pelleting	
substance	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Carboxymethyl cellulose	-	0.1%	0.3%	-	-	0.1%	0.1%	0.3%	0.3%
P. fluorescens 31-12	-	-	-	50 ml	-	1 ml	-	1 ml	-
B. subtilis	-	-	-	-	50 ml	-	1 ml	-	1 ml
Water	-	99.9 ml	99.7 ml	-	-	98.9 ml	98.9 ml	98.7 ml	98.7 ml

4.2 การตรวจสอบในสภาพเรือนทดลอง

การประเมินในสภาพเรือนทดลอง จะตัดต้นพืชบริเวณโคนต้นชิดวัสดุปลูก ทั้งหมดทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น จากนั้นนำต้นกล้าที่ได้จากมาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 4.1

การทดลองที่ 2 การศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในระบบการปลูกพืชไร้ดิน

คัดเลือกกรรมวิธีการทำ seed treatments ที่มีผลส่งเสริมต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 มา 2 กรรมวิธี จากนั้นนำแต่ละวิธีการมาเพาะปลูกลงในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร จำนวน 6 ซ้ำ โดยใช้เพอร์ไลท์และเวอร์มิคูไลท์ อัตราส่วน 70:30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เป็นวัสดุปลูก ส่วนสารละลายธาตุอาหารพืชเตรียมโดยใช้ 10 เปอร์เซ็นต์ ของสารละลาย Hoagland's solution ประกอบไปด้วย 2 M $MgSO_4.7H_2O$, 1 M K_2HPO_4, 1 M KH_2PO_4, 1 M $CaCl_2.2H_2O$, 0.02 M $FeC_6H_5O_7.H_2O$ ผสมรวมกับธาตุอาหารรอง 6 ชนิด คือ $CoCl_2.6H_2O$, HBO_3, $MnCl_2.4H_2O$, $ZnSO_4.7H_2O$, $CuSO_4.5H_2O$ และ $Na_2MoO_4.2H_2O$ จากนั้นนำไปเพาะปลูกใน growth chamber (อุณหภูมิสลับ 25/18 องศาเซลเซียส กลางคืน/กลางวัน; ความชื้นสัมพัทธ์ 55±5 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลา 45 วัน แล้วบันทึกข้อมูล โดยตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต กรรมวิธีละ 6 ซ้ำ จากนั้นชั่งน้ำหนักสดใบ และน้ำหนักสดราก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำมาชั่งตรวจสอบหาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งรากด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง บันทึกผล

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) แปลงข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์เพื่อวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้วิธี arcsine transformation วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดลองที่ 1 โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SAS (Version 9.3) และการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีการเคลือบและการพอกเมล็ดโดยวิธี paired t-test โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ Statistix 10

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การคัดเลือกวิธีการทำ seed treatment และเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

1. ผลของจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชต่อการงอกของผักกาดหอม

ในสภาพห้องปฏิบัติการเปอร์เซ็นต์ความงอกหลังการทำ seed treatment ด้วยวิธีการแตกต่างกันพบว่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ส่วนความยาวต้นพบว่า การเคลือบเมล็ดร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 (F6) และการพอกเมล็ดร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 (F8) มีความยาวต้นมากที่สุด คือ 41.16 และ 41.23 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ส่วนการพอกเมล็ดร่วมกับ *B. subtilis* (F9) มีความยาวรากมากกว่าชุดควบคุม (124.26 มิลลิเมตร) แต่ไม่แตกต่างกันกับวิธีการพอกเมล็ดด้วยวิธีการอื่น ๆ และการพอกเมล็ดร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 (F8) มีน้ำหนักสดต้นดีมากกว่า F1, F2, F4, F5 และน้ำหนักแห้งต้นดีมากกว่า F1, F2, F6 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ และมีความแตกต่างกันในทางสถิติ (ตารางที่ 2)

เมื่อพิจารณาวิธีการทำ seed priming พบว่าความยาวต้นและความยาวรากมากกว่าเมล็ดชุดควบคุมและแตกต่างกันในทางสถิติ โดยการทำ seed priming เป็นวิธีการแช่เมล็ดร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 และ *B. subtilis* เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งวิธีการดังกล่าวทำให้จุลินทรีย์สามารถเกาะติดไปกับผิวเมล็ดได้ (Ashraf and Foolad, 2005) แต่การทำ seed priming ร่วมกับจุลินทรีย์มีข้อจำกัดคือ ระยะเวลาการแช่ และอุณหภูมิหลังการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ (Kasim *et al*., 2013) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อความมีชีวิตของจุลินทรีย์ที่ติดไปกับเมล็ด และเมื่อพิจารณาผลการทดลองหลังการทำ seed priming ด้วยจุลินทรีย์ร่วมกับเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมมีผลทำให้

Table 2. Germination percentage, shoot length, root length, seedling fresh and dry weight after tested under laboratory conditions

Treatments[1]	Germination (%)[2]	Shoot length (mm)	Root length (mm)	Seedling fresh weight (mg)	Seedling dry weight (mg)
F1	96	36.06 b[3]	102.83 b	180.81 d	10.83 c
F2	100	38.36 ab	104.76 ab	206.75 bcd	12.62 bc
F3	100	36.33 ab	113.26 ab	226.70 abc	16.66 abc
F4	100	40.63 ab	112.40 ab	203.63 cd	14.31 abc
F5	93	36.73 ab	112.03 ab	198.85 cd	13.84 abc
F6	100	41.16 a	113.70 ab	231.62 abc	12.60 bc
F7	100	36.36 ab	118.33 ab	222.17 abc	19.54 abc
F8	100	41.23 a	120.33 ab	246.74 a	22.32 a
F9	100	37.43 ab	124.26 a	243.19 ab	21.56 ab
F-test	NS	*	*	*	**
CV(%)	4.35	6.76	8.92	9.45	9.89

ns, *, **: not significantly difference, significantly different at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ respectively

[1] F1:non-treated seed, F2: seed coating alone, F3: seed pelleting alone, F4: seed soaking + *P. fluorescens* 31-12, F5: seed soaking + *B. subtilis*, F6: seed coating + *P. fluorescens* 31-12, F7: seed coating + *B. subtilis*, F8: seed pelleting + *P. fluorescens* 31-12 and F9: seed pelleting + *B. subtilis*

[2] Data are transformed by the arcsine before statistical analysis and back transformed data are presented

[3] Means within a column with different letters are significantly different $P \leq 0.05$ according to DMRT

ความยาวต้น ความยาวราก และน้ำหนักสดของต้นกล้าผักกาดหอมมากกว่าเมล็ดพันธุ์ชุดควบคุม นอกจากนี้ Bennett (1998) รายงานว่า การทำ seed priming ร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชสามารถเพิ่มความสม่ำเสมอในการงอกและลักษณะการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม

และเมื่อพิจารณาวิธีการเคลือบและพอกเมล็ดพันธุ์พบว่า หลังการเคลือบและการพอกเมล็ดพันธุ์ไม่มีผลขัดขวางต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ โดยวิธีการเคลือบและการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 สามารถส่งเสริมความสูงต้นของต้นกล้าผักกาดหอมได้ดีมากกว่าชุดควบคุม โดย *P. fluorescens* บางสายพันธุ์สามารถผลิต IAA (Indole-3-acetic acid) และ HCN (Hydrogen cyanide) ซึ่งทั้งหมดนี้มีส่วนช่วยในการส่งเสริมการยืดขยายของต้นกล้าผักกาดหอมได้เป็นอย่างดี (Cipriano *et al*., 2016) ส่วนความยาวรากพบว่าวิธีการพอกเมล็ดร่วมกับ *B. subtilis* มีการเจริญเติบโตดีมากกว่าชุดควบคุม เพราะวิธีการพอกเมล็ดพันธุ์มีสารเฉื่อยปริมาณมากห่อหุ้มรอบ ๆ เมล็ดพันธุ์ ทำให้สามารถนำพา *B. subtilis* และ *P. fluorescens* 31-12 ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้ดีมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแช่เมล็ด และการเคลือบเมล็ด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วิธีการพอกเมล็ด F8 และ F9 มีการเจริญเติบโตของลำต้นและรากอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจาก *B. subtilis* และ *P. fluorescens* สามารถสังเคราะห์ phytohormone ในกลุ่ม auxin ที่มีบทบาทต่อการกระตุ้นการงอกราก รวมทั้งส่งเสริมพัฒนาการการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Glick, 2012) ได้ดีมากกว่าเมล็ดผักกาดหอมที่ไม่ได้ผ่านการทำ seed treatment ซึ่งเมื่อพิจารณาวิธีการเคลือบและพอกเมล็ดพบว่า ทั้ง 2 วิธีการมีหลักการที่เป็นกุญแจสำคัญที่เหมือนกัน คือ สามารถนำพาสารออกฤทธิ์ให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้ (Taylor *et al*., 1998; Pedrini *et al*., 2017) โดยวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์เป็นการนำพาจุลินทรีย์ให้ติดไปกับเมล็ดด้วยพอลิเมอร์หรือสารเคลือบ ซึ่งสาร

เคลือบชนิด carboxymethyl cellulose เป็นสารเคลือบเมื่ออยู่ในรูปเป็นแผ่นฟิล์มจะมีความแข็งแรง และยึดเกาะกันแน่นหนา แต่สามารถละลายน้ำได้ง่าย (Khorasani and Shojaosadati, 2017) จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีส่วนทำให้วิธีการเคลือบเมล็ดสามารถยึดเกาะจุลินทรีย์ให้เกาะติดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้ เช่นเดียวกันกับวิธีการพอกเมล็ดพันธุ์ที่สามารถนำพาจุลินทรีย์ให้ติดไปกับเมล็ด แต่เนื่องจากวิธีการพอกเมล็ดเป็นการรวมตัวกันระหว่างวัสดุพอก วัสดุประสาน และเมล็ดพันธุ์ จึงทำให้จุลินทรีย์สามารถเกาะติดไปกับสารพอกเมล็ดพันธุ์ได้ในปริมาณที่มากกว่าวิธีการทำ seed priming และวิธีการเคลือบเมล็ดพันธุ์ จึงส่งผลให้ปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตติดรวมอยู่กับเมล็ดพันธุ์ในอัตราสูง และสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ดีมากกว่าวิธีการทำ seed treatment วิธีการอื่น ๆ เพราะฉะนั้นวิธีการพอกเมล็ดด้วย *P. fluorescens* 31-12 จึงเห็นผลความแตกต่างเมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการของความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสดต้นกล้า และน้ำหนักแห้งต้นกล้าดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดชุดควบคุม

2. ผลของจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอม

เมื่อพิจารณาในสภาพเรือนทดลองยังคงไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติของความงอกเมล็ดพันธุ์และการเคลือบเมล็ดด้วย *P. fluorescens* 31-12 (F6) และการพอกเมล็ดด้วย *P. fluorescens* (F8) มีความยาวต้นมากที่สุด คือ 60.10 และ 57.85 มิลลิเมตร ตามลำดับ และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบกับทุกกรรมวิธี (F1) ส่วนการตรวจสอบน้ำหนักสดลำต้นพบว่า การเคลือบเมล็ดด้วย *P. fluorescens* 31-12 (F6) และ การพอกเมล็ดด้วย *P. fluorescens* 31-12 (F8) มีน้ำหนักสดลำต้นดีที่สุด คือ 747.72 และ 743.06 มิลลิกรัม ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันในทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ และจากการพิจารณาน้ำหนักแห้งลำต้นพบว่า การพอกเมล็ดด้วย *P. fluorescens* 31-12 (F8) มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากที่สุด (28.83 มิลลิกรัม) และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ F1 และ F5 (ตารางที่ 3)

Table 3. Germination percentage, shoot length, shoot fresh and dry weight after tested under greenhouse condition

Treatments[1]	Germination (%)[2]	Shoot length (mm)	Shoot fresh weight (mg)	Shoot dry weight (mg)
F1	93	48.85 b[3]	548.75 cd	21.27 c
F2	96	49.35 b	559.07 cd	23.81 abc
F3	100	52.50 b	624.43 bc	25.24 abc
F4	96	52.65 b	601.13 bcd	24.60 abc
F5	96	47.85 b	518.27 d	23.44 bc
F6	97	60.10 a	747.72 a	28.37 ab
F7	100	52.20 b	645.84 b	26.30 ab
F8	100	57.85 a	743.06 a	28.83 a
F9	98	54.56 b	539.59 cd	27.55 ab
F-test	NS	**	**	**
CV.(%)	4.83	5.46	7.59	10.30

ns, **: not significantly difference, significantly different at $P \leq 0.01$ respectively.

[1] F1:non-treated seed, F2: seed coating alone, F3: seed pelleting alone, F4: seed soaking + *P. fluorescens* 31-12, F5: seed soaking + *B. subtilis*, F6: seed coating + *P. fluorescens* 31-12, F7: seed coating + *B. subtilis*, F8: seed pelleting + *P. fluorescens* 31-12 and F9: seed pelleting + *B. subtilis*

[2] Data are transformed by the arcsine before statistical analysis and back transformed data are presented

[3] Means within a column with different letters are significantly different $P \leq 0.05$ according to DMRT

จากผลการทดลอง ถึงแม้จะนำไปตรวจสอบในสภาพเรือนทดลองยังคงไม่พบการเปลี่ยนของความงอก เมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของความยาวต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอม เห็นได้ชัดว่า วิธีการเคลือบและพอกเมล็ดด้วย *P. fluorescens* 31-12 (F6, F8) มีผลส่งเสริมด้านการเจริญเติบโตมากกว่าวิธีการอื่น ๆ โดย *Pseudomonas* (Malboobi *et al*., 2009) และ *Bacillus* (Sahin *et al*., 2004) ต่างมีคุณสมบัติสามารถละลายฟอสเฟตที่มีความสำคัญต่อการส่งเสริมพัฒนาการของรากและลำต้นของพืชในระยะกล้าได้ นอกจากนี้คุณสมบัติของ *P. fluorescens* ยังสามารถสังเคราะห์ ACC-deaminase, IAA, siderophores (Gupta *et al*., 2005) และสามารถชักนำพืชให้สร้างภูมิต้านทานต่อเชื้อราได้ (Saravanakumar *et al*., 2007) เช่นเดียวกันกับ *B. subtilis* สามารถสังเคราะห์ IAA (Zaidi *et al*., 2006) และป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อราได้ (Cazorla *et al*., 2007) นอกจากนี้พบรายงานการทำหน้าที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยการตรึงไนโตรเจนใน *Pseudomonas putida* RC06 และ *Bacillus* OSU-142 ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวสาลีชูก้าบีทและผักขมได้เพิ่มมากขึ้น (Cakmakci *et al*., 2007) และพบรายงานการเพิ่มขึ้นของความยาวต้น และความยาวรากของต้นกล้าผักกาดหอม หลังการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ *Pseudomonas putida* CC-R2-4 และ *B. subtilis* CC-pg104 (Rekha *et al*., 2007)

การทดลองที่ 2 การศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมในระบบการปลูกพืชไร้ดิน

จากผลการทดลองที่ 1 สามารถคัดเลือกวิธีการทำ seed treatment ได้ 2 วิธีการ คือ การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วย *P. fluorescens* 31-12 (F6) และการพอกเมล็ดพันธุ์ด้วย *P. fluorescens* 31-12 (F8) จากนั้นนำทั้ง 2 วิธีการมาศึกษาการเจริญเติบโตในระบบการปลูกพืชไร้ดิน โดยมีผลการทดลองดังนี้

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการเคลือบและพอกเมล็ดพันธุ์ด้วย *P. fluorescens* 31-12 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งราก ทั้งสองวิธีการไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (ภาพที่ 1) แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการเคลือบเมล็ดกับเมล็ดควบคุม พบว่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดใบ น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งราก มีความแตกต่างกัน แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดราก ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการเคลือบเมล็ดร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 มีน้ำหนักสดใบ น้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นจากเดิม (เมล็ดชุดควบคุม) คือ 24.43, 21.68, 12.02 และ 28.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ส่วนการเปรียบเทียบวิธีการพอกเมล็ดและเมล็ดควบคุมพบว่า น้ำหนักสดใบ น้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากมีความแตกต่างกันในทางสถิติจากเมล็ดควบคุมอย่างชัดเจน ซึ่งเมื่อพิจารณาความ

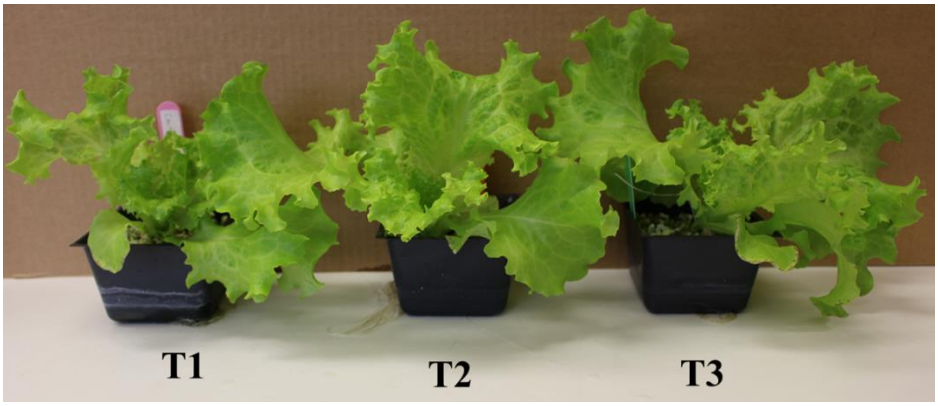

Figure 1. Effect of seed treatment with microbial probiotic growth promotion on plant growth of lettuce. (T1) control; (T2) coated seed + *Pseudomonas fluorescens* 31-12 and (T3) pelleted seed + *P. fluorescens* 31-12

Table 4. Leaf fresh and dry weight, root fresh and dry weight at harvesting (45 days-old) of lettuce after seed treatments with *Pseudomonas fluorescens* 31-12 grown under greenhouse condition

Parameters	Leaf fresh weight (g)	Leaf dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
Coating	11.61	1.01	2.05	0.18
Pelleting	12.22	1.15	2.16	0.21
T-test	ns	ns	ns	ns
Control	9.33	0.83	1.83	0.14
Coating	11.61 (+24.43)	1.01 (+21.68)	2.05 (+12.02)	0.18 (+28.57)
T-test	**	*	ns	*
Control	9.33	0.83	1.83	0.14
Pelleting	12.22 (+30.97)	1.15 (+38.55)	2.16 (+18.03)	0.21 (+50.00)
T-test	**	**	*	**

ns, *, **: ns: not significantly different; *: significantly different at $P \leq 0.05$ and ** significantly different at $P \leq 0.01$ respectively

แตกต่างของวิธีการพอกเมล็ดร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 และเมล็ดชุดควบคุม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วิธีการพอกเมล็ดมีน้ำหนักสดใบ น้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นจากเดิม (เมล็ดชุดควบคุม) คือ 30.97, 38.55, 18.03 และ 50.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองเห็นได้ชัดว่า วิธีการเคลือบและการพอกเมล็ดร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 (ภาพที่ 1) มีการเจริญเติบโตแตกต่างจากต้นผักกาดหอมควบคุม เนื่องจากวิธีการเคลือบหรือพอกเมล็ดพันธุ์มีข้อดี คือ มีสารเคลือบหรือสารเฉื่อยสำหรับเป็นตัวกลางเพื่อนำพาจุลินทรีย์ให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้ และจากการเปรียบเทียบวิธีการเคลือบและพอกเมล็ดพบว่า การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดใบ น้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการเคลือบ และพอกเมล็ดร่วมกับเมล็ดควบคุม ผลปรากฏว่า การเคลือบและการพอกเมล็ดมีผลการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของผักกาดหอมดีมากกว่าเมล็ดควบคุมอย่างชัดเจน

ดังนั้นจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า หลังจากการตรวจสอบการเจริญเติบโตของต้นผักกาดหอมกรรมวิธีการทำ seed treatment ร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 เห็นได้ชัดว่า มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรากเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดชุดควบคุม ทั้งนี้เมื่อ *P. fluorescens* อาศัยอยู่กับรากพืชจะมีคุณสมบัติพิเศษต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นพืชได้ดี อีกทั้งสามารถสังเคราะห์ฮอร์โมน และยังสามารถการต่อต้านเชื้อปฏิปักษ์ให้กับพืชที่อยู่อาศัยได้อีกด้วย (Mahanty *et al*., 2017) เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของใบผักกาดหอมอาจอธิบายได้เพิ่มเติมว่า *P. fluorescens* สามารถผลิตเอนไซม์ไนโตรจิเนสเพื่อช่วยเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้เป็นสารประกอบในรูปของแอมโมเนียและไนเตรท (Herrera *et al*., 2016) ซึ่งไนโตรเจนมีส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตของใบ และลำต้น ทำให้ลำต้น และใบมีสีเขียวเข้ม จึงเป็นส่วนสำคัญทำให้ต้นผักกาดหอมสามารถสังเคราะห์ธาตุอาหารได้มากขึ้น จึงทำให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น (Kumar *et al*., 2016; Mahanty *et al*., 2017) นอกจากนี้ *P. fluorescens* ยังมีคุณสมบัติส่งเสริมการสังเคราะห์แสงของพืชได้ ทำให้พืชสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการตรึง CO_2 ได้สูงขึ้น (Long *et al*., 2006) และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งราก วิธีการเคลือบและพอกเมล็ดพันธุ์ด้วย *P. fluorescens* 31-12 ทำให้ต้นผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตของรากเพิ่มสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพของ *P. fluorescens* มีกลไกสำคัญที่

สามารถผลิต phytohormone ที่เป็นกรดอินทรีย์สำคัญ คือ indolo-3-acetic acid (IAA) โดยฮอร์โมน IAA มีส่วนสำคัญต่อการแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเซลล์ราก อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความยาวของรากและพื้นที่ผิว เพื่อให้รากสามารถดูดซึมน้ำและสารอาหารได้มากขึ้น (Salisbury, 1994; Patten and Glick, 2002; Ahemad and Khan, 2011) นอกจากนี้ *P. fluorescens* 31-12 ยังสามารถผลิตเอนไซม์ L-tryptophan- dependent ขึ้น ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการเพิ่มจำนวนใบของพืชได้ (Asghar *et al*., 2002, Asghar *et al*., 2004) นอกจากนี้ตามรายงานของ Garcia de Salamone *et al*. (2001) พบว่า *P. fluorescens* ยังสามารถผลิต cytokinins ที่มีส่วนส่งเสริมการแบ่งเซลล์ การขยายตัวของเซลล์และการขยายตัวของเนื้อเยื่อพืชได้

สรุป

การเคลือบและการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 มีผลทำให้ความงอก ความแข็งแรง และการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมดีที่สุด ส่วนการทดลองที่ 2 หลังจากคัดเลือกวิธีการที่มีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงต้นกล้าผักกาดหอมดีที่สุด แล้วนำมาเพาะปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดินพบว่า การเคลือบและพอกเมล็ดร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 มีน้ำหนักสดใบ น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งรากมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดชุดควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบวิธีการเคลือบและพอกเมล็ดร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 พบว่า วิธีการทั้ง 2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่วิธีการพอกเมล็ดร่วมกับ *P. fluorescens* 31-12 มีการเจริญเติบโตของผักกาดหอมดีที่สุดเมื่อตรวจสอบในระบบการปลูกพืชไร้ดิน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (รหัสทุน พวอ. PHD58I0007) และ Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC) สำหรับการสนับสนุนสถานที่และวัสดุอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

จีราภรณ์ อินทสาร ฉัตรปวีณ์ เดชจิรรัตนสิริ และ ประวิทย์ บุญมี. 2560. ผลของแบคทีเรียที่ผลิตสาร Indole-3-Acetic Acid (IAA) ต่อการเจริญเติบโตและ ปริมาณธาตุอาหารของพริกขี้หนู. วารสารเกษตร 33(3): 333-344.

ธิดารัตน์ แก้วคำ. 2560. การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช. แก่นเกษตร 45(1): 197-208.

Ahemad, M. and M.S. Khan. 2011. Assessment of plant growth promoting activities of rhizobacterium *Pseudomonas putida* under insecticide-stress. Microbiology Journal 1(2): 54-64.

Asghar, H.N., Z. A. Zahir, M. Arshad and A. Khaliq. 2002. Relationship between *in vitro* production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. Biology and Fertility of Soils 35(4): 231-237.

Asghar, H.N., Z.A. Zahir and M. Arshad. 2004. Screening rhizobacteria for improving the growth, yield, and oil content of canola (*Brassica napus* L.). Australian Journal of Agricultural Research 55(2): 187-194.

Ashraf, M. and M.R. Foolad. 2005. Pre-sowing seed treatment - a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. Advances in Agronomy 88: 223-271.

Bardi, L. and E. Malusà. 2012. Drought and nutritional stresses in plant: alleviating role of rhizospheric microorganisms. pp. 1-57. *In*: N. Haryana and S. Punj (eds.). Abiotic

Stress: new Research. Nova Science Publishers Inc., Hauppauge.

Bennett, M.A. 1998. The use of biologicals to enhance vegetable seed quality. Seed Technology 20(2): 198-208.

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

Cakmakci, R., M. Erat, U. Erdogan and M.F. Donmez. 2007. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 170(2): 288-295.

Cazorla, F.M., D. Romero, A. Perez-Garcıa, B.J.J. Lugtenberg, A. de Vicente and G. Bloemberg. 2007. Isolation and characterization of antagonistic *Bacillus subtilis* strains from the avocado rhizoplane displaying biocontrol activity. Journal of Applied Microbiology 103(5): 1950-1959.

Cipriano, M.A., M. Lupatini, L. Lopes-Santos, M.J. da Silva, L.F. Roesch, S.A. Destéfano, S.S. Freitas and E.E. Kuramae. 2016. Lettuce and rhizosphere microbiome responses to growth promoting *Pseudomonas* species under field conditions. FEMS Microbiology Ecology 92(12), doi: 10.1093/femsec/fiw197.

Garcia de Salamone, I.E., R.K. Hynes and L.M. Nelson. 2001. Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants. Canadian Journal of Microbiology 47(5): 404-411.

Glick, B.R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. Scientifica 2012, doi: 10.6064/2012/963401.

Glick, B.R., Z. Cheng, J. Czarny and J. Duan. 2007. Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. European Journal of Plant Pathology 119(3): 329-339.

Gupta, A., V. Rai, N. Bagdwal and R. Goel. 2005. In situ characterization of mercury-resistant growth-promoting fluorescent pseudomonads. Microbiological Research 160: 385-388.

Herrera, J.M., G. Rubio, L.L. Häner, 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 Journal 6(2): 25, doi: 10.3390/agronomy6020025.

ISTA. 2013. International Rules for Seed Testing, ISTA, Bassersdorf.

Kasim, W.A., M.E. Osman, M.N. Omar, I.A. Eldaim, S. Bejai and J. Meijer. 2013. Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. Journal of Plant Growth Regulation 32(1): 122-130.

Khorasani, A.C. and S.A. Shojaosadati. 2017. Starch- and carboxymethylcellulose-coated bacterial nanocellulose-pectin bionanocomposite as novel protective prebiotic matrices. Food Hydrocolloids 63: 273-285.

Kim, M.J., Y. Moon, J.C. Tou, B. Mou and N.L. Waterland. 2016. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Journal of Food Composition and Analysis 49: 19-34.

Kumar, M., D.P. Singh, R. Prabha, A.K. Rai and L. Sharma. 2016. Role of microbial inoculants in nutrient use efficiency. pp. 133-142. *In*:

P.P. Singh, H.B. Singh and R. Prabha (eds.). Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity. Vol. 2: Functional Applications. Springer, New Delhi.

Kundu, B.S. and A.C. Gaur. 1980. Estabilshment of nitrogen-fixing and phosphate-solubilizing bacteria in rhizosphere and their effect on yield and nutrient uptake of wheat crop. Plant and Soil 57(2-3): 223-230.

Lakshminarayana, K., N. Narula, I.S. Hooda and A.S. Faroda. 1992. Nitrogen economy in wheat (*Triticum aestivum*) through use of *Azotobacter chroococcum*. Indian Journal Agricultural Sciences 62(1): 75-76.

Long, S.P., X.G. Zhu, S.L. Naidu and D.R. Ort. 2006. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? Plant, Cell and Environment 29(3): 315-330.

Mahanty, T., S. Bhattacharjee, M. Goswami, P. Bhattacharyya, B. Das, A. Ghosh and P. Tribedi. 2017. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. Environmental Science and Pollution Research 24(4): 3315-3335.

Malboobi, M.A., M. Behbahani, H. Madani, P. Owlia, A. Deljou, B. Yakhchali, M. Moradi and H. Hassanabadi. 2009. Performance evaluation of potent phosphate solubilizing bacteria in potato rhizosphere. World Journal of Microbiology and Biotechnology 25(8): 1479-1484.

Malusa, E. and N.A. Vassilev. 2014. A contribution to set a legal framework for biofertilisers. Applied Microbiology and Biotechnology 98(15): 6599-6607, doi: 10.1007/s00253-014-5828-y.

Olivera, M.E., L. Ferrari, S. Araoz and E.B. Postulka. 2016. Improvements on physiological seed quality of *festuca arundinacea* schreb by encrusting technology: products and storage effects. Research Journal of Seed Science 10(1): 33-37.

Oteino, N., R.D. Lally, S. Kiwanuka, A. Lloyd, D. Ryan, K.J. Germaine and D.N. Dowling. 2015. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. Frontier in Microbiology 6: 745, doi: 10.3389/fmicb.2015.00745.

Patten, C.L. and B.R. Glick. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. Applied and Environmental Microbiology 68(8): 3795-3801.

Pedrini, S., D.J. Merritt, J. Stevens, and K. Dixon. 2017. Seed Coating: Science or Marketing Spin?. Trends in Plant Science 22(2): 106-116.

Ramzan, N., N. Noreen, Z. Perveen and S. Shahzad. 2016. Effect of seed pelleting with biocontrol agents on growth and colonisation of roots of mungbean by root-infecting fungi. Journal of the Science of Food and Agriculture 96(11): 3694-3700.

Rekha, P.D., W. Lai, A.B. Arun and C.C. Young. 2007. Effect of free and encapsulated *Pseudomonas putida* CC-FR2-4 and *Bacillus subtilis* CC-pg104 on plant growth under gnotobiotic conditions. Bioresource Technology 98(2): 447-451.

Sahin, F., R. Cakmakci and F. Kantar. 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N_2-fixing and phosphate solubilizing bacteria. Plant and Soil 265(1-2): 123-129.

Salisbury, F.B. 1994. The role of plant hormones. pp. 39-81. *In*: R.E. Wilkinson (ed.). Plant-Environment Interactions. Marcel Dekker, New York.

Saravanakumar, D., C. Vijayakumar, N. Kumar and R. Samiyappan. 2007. PGPR-induced defense responses in the tea plant against blister blight disease. Crop Protection 26(4): 556-565.

Taylor, A.G., P.S. Allen, M.A. Bennett, K.J. Bradford, J.S. Burris and M.K. Misra. 1998. Seed enhancements. Seed Science Research 8: 245-256.

Turan, M., N. Ataoglu and F. Sahin. 2005. Evaluation the capacity of phosphate solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. Journal of Sustainable Agriculture 28(3): 99-108.

Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil 255(2): 571-586.

Zaidi, S., S. Usmani, B.R. Singh and J. Musarrat. 2006. Significance of *Bacillus subtilis* strain SJ 101 as a bioinoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in *Brassica juncea*. Chemosphere 64(6): 991-997.