การพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69

Seed Pelleting with *Bacillus subtilis* on Seed Quality and Seedling Growth of Khao Dawk Mali 105 and RD69 Rice Seed Varieties

ธิดารัตน์ แก้วคำ[1*]
Tidarat Kaewkham[1*]

Received date: 19 ก.ย. 66 Revised date: 5 ก.พ. 67 Accepted date: 14 ก.พ. 67
DOI: https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.03.24.014

บทคัดย่อ

การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเกษตรกรยังพบปัญหาการเข้าทำลายของโรคและแมลงในทุกระยะ จึงได้นำเอาเทคโนโลยีการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับจุลินทรีย์ มาประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาดังกล่าวงานทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการเจริญเติบโตต้นกล้าของเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังการพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แบ่งออกเป็น 5 กรรมวิธี คือ เมล็ดไม่พอก (T_1), เมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* (T_2), เมล็ดพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร (T_3-T_5) ตามลำดับ หลังการพอกนำมาตรวจสอบ คุณภาพเมล็ดพันธุ์ และการเจริญเติบโตของต้นกล้า จากการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์พบว่า การพอกเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์ความงอกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ได้พอก แต่มีแนวโน้ม ทำให้เมล็ดพันธุ์งอกเพิ่มขึ้นทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง และเมื่อตรวจสอบ การเจริญเติบโตของต้นกล้าพบว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า คือทำให้ต้นกล้าข้าว มีความยาวต้นมีแนวโน้มลดลงในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และการพอกเมล็ดร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตรา 1 และ 3 มิลลิลิตร ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีผลทำให้ความยาวรากเพิ่มขึ้นจากเมล็ดไม่พอก 5-30 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ต้นกล้าข้าวที่เกิดจากเมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร มีอัตราการ เจริญเติบโตดีกว่าเมล็ดที่ไม่ได้พอก และเมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* ทั้งในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69

คำสำคัญ: การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ข้าว การงอกของเมล็ดพันธุ์ การพอกเมล็ดพันธุ์ จุลินทรีย์

Abstract

In rice seed production, farmers continue to encounter problems related to diseases and insect infestations at various stages of the process. Consequently, seed pelleting technology and plant-promoting microorganisms are applied together to solve such problems. This experiment investigated seed quality and seedling growths of rice seeds following pelleting with *Bacillus subtilis* at varying ratios. This experiment was conducted at Seed Technology Laboratory, Faculty of Engineer and Agro-Industry, Maejo University, and was divided into five methods: non-pelleted seed (T_1), pelleted seed without *Bacillus subtilis* (T_2), pelleted seed in combination with *Bacillus subtilis* at three different concentrations (1, 2, and 3 milliliters (T_3-T_5). Following the pelleting process, the pelleted seeds were taken for seed quality testing and evaluation of seedling growth. The results of the seed quality testing indicated that pelleting Khao dawk mali 105 and RD69 rice seed varieties with 1, 2, and 3 milliliters of *Bacillus subtilis* had germination percentages non-statistically different from non-pelleted seed. However, there was a tendency to increase seed germination in both laboratory and greenhouse conditions. When assessing seedling growths, it was observed that pelleting had an impact on the seedlings of both rice varieties. Specifically, there was a decreasing trend in seedling shoot length for the Khao dawk mali 105 rice seed variety while pelleted seeds with 1 and 3 milliliters of *Bacillus subtilis* for both rice varieties exhibited longer root lengths, with an increase ranging from 5% to 30% compared to non-pelleted seeds.

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1]Division of Postharvest Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiangmai 50290

* Corresponding author: Tidarat_kk@mju.ac.th

Additionally, it was noted that rice seedlings germinated from pelleted seeds with 1, 2, and 3 milliliters of *Bacillus subtilis* exhibited superior growth compared to seedlings from non-pelleted seeds and pelleted without *Bacillus subtilis*.

Keywords: seed enhancement, rice seed, seed germination, seed pelleting, microorganisms

คำนำ

ข้าว (*Oryza sativa*) เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของโลก โดยครึ่งหนึ่งของประชากรโลกและมากกว่าร้อยละ 60 ของประชากรในแถบเอเชียบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกข้าว 7.6 - 7.7 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 138,452 ล้านบาท ซึ่งเป็นอันดับสามของโลก รองจากเวียดนาม และอินเดีย (Office of Agricultural Economics, 2022) ส่วนความต้องการใช้ภายในประเทศในปี 2565/2566 อยู่ที่ประมาณ 27.6 ล้านตันข้าวเปลือก เพื่อใช้ในการบริโภค ภาคอุตสาหกรรม และการผลิตเมล็ดพันธุ์ (Department of Internal Trade, 2022) ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้าวยังคงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับประเทศได้อย่างต่อเนื่องแต่ในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเกษตรกรยังพบปัญหาการเข้าทำลายของโรคและแมลงในช่วงระยะต้นกล้า การเก็บเกี่ยวและในระหว่างการเก็บรักษามีผลทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเกิดความเสียหายจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง ในปัจจุบันเกษตรกรบางรายลดการใช้สารเคมีป้องกันโรคและแมลงและเริ่มให้ความสนใจวิธีทางชีวภาพมากขึ้น เพื่อลดต้นทุนการผลิต และไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพดินและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว (Kesan, 2007) จึงได้นำเอาเทคโนโลยีการพอกเมล็ดพันธุ์ (seed pelleting) มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งการพอกเมล็ดพันธุ์เป็นการทำให้เมล็ดพันธุ์ถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุพอกหรือสารเติมเต็มชนิดต่างๆ โดยมีวัสดุประสานเป็นตัวช่วยในการยึดเกาะและให้สารพอกเป็นตัวกลางในการนำพาสารออกฤทธิ์ให้ติดไปกับผิวเมล็ดพันธุ์อย่าง สม่ำเสมอ โดยสารออกฤทธิ์จะไม่สัมผัสกับผิวเมล็ดพันธุ์โดยตรง เพื่อให้การออกฤทธิ์ของสารชนิดต่างๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและไม่ส่งผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ เช่น สารป้องกันโรคและแมลง ธาตุอาหาร และจุลินทรีย์ชีวภาพ (Siri, 2015) เพื่อป้องกันการเข้าทำลายของโรค แมลง และเป็นการส่งเสริมคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้านการงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์หลังเพาะปลูกให้ดียิ่งขึ้น

ซึ่งจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้ร่วมกับการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์จะเป็นจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทั้งในรูปแบบการตรึงไนโตรเจน การละลายธาตุอาหาร การสร้างซิเดอร์โรฟอร์ (siderophore) การสร้างสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การสร้างสารปฏิชีวนะและสารยับยั้งเชื้อรา รวมไปถึงการส่งเสริมต้นกล้าพืชให้มีความต้านทานในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่างๆ (Beneduzi et al., 2012; Bulgarelli et al., 2013) ซึ่งจะประกอบไปด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำงานร่วมกันกับพืชอาศัยเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ PGPB (Plant Growth Promoting Bacteria) (Hayat et al., 2010) หรือกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำงานส่งเสริมการเจริญเติบโตบริเวณรากพืช หรือ PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) (Kloepper and Schroth, 1978) เช่น *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas* sp. (Indiragandhi et al., 2008), *Bradyrhizobium* sp. 750, *Pseudomonas* sp., A3R3, *Psychrobacter* sp. SRS8 (Ma et al., 2011), *Acinetobacter* spp. (Rokhbakhsh-Zamin et al., 2011), *Bacillus subtilis* QST713, *Pseudomonas fluorescens* CA (Kaewkham et al., 2016), *Bacillus oryziocola* (Dunlap et al., 2016) และ *Bacillus methylotrophicus* (Liu et al., 2018) เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้มีกลไกสำคัญคือ ช่วยในการผลิตฮอร์โมนพืชหรือสนับสนุนให้พืชหาอาหารและการดูดซึมจากดินผ่านกลไกต่างๆ มากขึ้น อีกทั้งจุลินทรีย์เหล่านี้ ยังสามารถช่วยตรึงไนโตรเจนในบรรยากาศให้กับพืชได้ จึงทำให้เมล็ดพันธุ์มีพัฒนาการที่ดีและเป็นต้นกล้าที่มีความแข็งแรงสูง โดยช่วยปกป้องการเข้าทำลายของโรคพืช สร้างธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ส่งเสริมการงอก รวมถึงการยืดขยายของรากและลำต้น (Vacheron et al., 2013) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ด้วยอัตราที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69

วิธีการศึกษา

การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวที่ผ่านการพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราความเข้มข้นที่ต่างกัน ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ระหว่างเดือน กรกฎาคม - ตุลาคม 2562 โดยได้รับความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ทับทิมชุมแพ (กข 69) จากศูนย์วิจัยข้าวชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ส่วนจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่นำมาใช้ในการทดลองนี้คือ *Bacillus subtilis* strain MBI 600 ที่ผลิตโดยบริษัท บีเอเอฟเอส จำกัด ซึ่งมีปริมาณแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* เท่ากับ 2.2×10^{10} spore/ml มีขั้นตอนการดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

การพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวร่วมกับ *Bacillus subtilis*

การพอกเมล็ดพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยใช้ carboxymethyl cellulose (CMC) อัตรา 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 100 มิลลิลิตร เป็นวัสดุประสาน และใช้ calcium sulfate 250 กรัม เป็นวัสดุพอกต่อเมล็ดพันธุ์ 25 กรัม จากนั้นทำการพอกร่วมกับแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในอัตราความเข้มข้นที่ต่างกัน 5 กรรมวิธี คือ เมล็ดไม่พอก (T_1), เมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* (T_2), เมล็ดพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร ต่อวัสดุประสาน 100 มิลลิลิตร (T_3, T_4 และ T_5) จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ที่ผ่านการพอกไปลดความชื้นในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างเมล็ดพอกมาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าในลักษณะต่างๆ

การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว

การตรวจสอบความงอกในสภาพห้องปฏิบัติการ: สุ่มเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการพอกและไม่พอกในแต่ละกรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด มาทดสอบความงอกด้วยวิธี between paper (BP) จากนั้นนำไปไว้ในตู้เพาะความงอกที่อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส และนำมาตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติ ต้นกล้าผิดปกติ เมล็ดสดไม่งอก และเมล็ดตาย โดยนับครั้งแรก (first count) หลังจากเพาะ 7 วัน และนับครั้งสุดท้าย (final count) หลังเพาะ 14 วัน และรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอก (ISTA, 2017)

การตรวจสอบความงอกในสภาพเรือนทดลอง: สุ่มเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการพอกและไม่พอกในแต่ละกรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด มาทดสอบความงอกในถาดเพาะ ใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะ จากนั้นนำไปไว้ในสภาพเรือนทดลองภายใต้อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส และนำมาตรวจนับความงอกครั้งแรก (first count) หลังจากเพาะ 7 วัน และนับครั้งสุดท้าย (final count) หลังเพาะ 14 วัน และรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอก (ISTA, 2017)

ดัชนีการงอก: ตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติจากการนับความงอกครั้งแรก (first count) หลังเพาะ 7 วัน และวันสุดท้าย (final count) หลังเพาะ 14 วัน ของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เพาะในสภาพห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณหาดัชนีการงอกจากสูตร (AOSA, 2002)

$$\text{ดัชนีการงอก} = \frac{\text{ผลรวมของ [จำนวนต้นกล้าที่งอกในแต่ละวัน]}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}$$

ความเร็วในการงอก: ตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติจากการนับความงอกครั้งแรก (first count) หลังเพาะ 7 วัน จนถึงวันสุดท้าย (final count) หลังเพาะ 14 วัน ของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เพาะในสภาพเรือนทดลอง จากนั้นนำข้อมูลการนับมาคำนวณหาความเร็วในการงอกจากสูตร (ISTA, 2017)

ความเร็วในการงอก (ต้น/วัน)= ผลรวมของ (จำนวนต้นกล้าปกตินับครั้งแรก/วันหลังเพาะที่นับครั้งแรก +.....+จำนวนต้นกล้าปกติที่นับครั้งสุดท้าย/วันหลังเพาะที่นับครั้งสุดท้าย)

ความยาวต้นและความยาวรากของต้นกล้า: สุ่มต้นกล้าข้าวปกติที่อายุ 14 วันหลังเพาะ ในสภาพห้องปฏิบัติการมาประเมินความยาวต้นและความยาวราก (เซนติเมตร) ทำทั้งหมด 4 ซ้ำๆ ละ 10 ต้น โดยการตรวจสอบวัดความยาวต้นจะวัดตั้งแต่บริเวณโคนต้นจนถึงปลายยอด ส่วนความยาวรากจะวัดตั้งแต่โคนรากจนถึงปลายรากของต้นกล้า

อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า: นำต้นกล้าข้าวที่เพาะในสภาพห้องปฏิบัติการจำนวน 10 ต้น ทำทั้งหมด 4 ซ้ำ ชั่งน้ำหนักก่อนอบ จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำต้นกล้าที่ผ่านการอบไปชั่งน้ำหนักหลังอบ และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า ดังสูตร

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (มิลลิกรัมต่อต้น)} = \frac{\text{น้ำหนักของต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลข้อมูลการพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราแตกต่างกัน ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีการพอกโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และ 0.01 โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SAS10

ผลการศึกษาและวิจารณ์

คุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวร่วมกับ *Bacillus subtilis*

การพอกเมล็ดพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราที่แตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการพอกพบว่า เมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ที่ผ่านการพอกเมล็ดร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร (T_3-T_5) มีความงอกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T_1) แต่มีแนวโน้มทำให้เมล็ดพันธุ์งอกเพิ่มขึ้นทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง โดยเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีความงอกอยู่ในช่วง 92-99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ กข 6 มีความงอกอยู่ในช่วง 83-96 เปอร์เซ็นต์ (Table 1) จะเห็นได้ว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อความงอกและมีแนวโน้มทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวงอกดีกว่าเมล็ดที่ไม่ได้พอก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Junges et al. (2013) รายงานว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดร่วมกับ *Bacillus subtilis* ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดมีความงอกและการเจริญเติบโตที่เพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกันกับ Tu et al. (2016) รายงานว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ฝ้ายด้วยสูตรสารเคลือบ ESCA4 ร่วมกับแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* SL-13 สามารถยกระดับความงอกของเมล็ดพันธุ์ฝ้ายเพิ่มขึ้น 28-29 เปอร์เซ็นต์ และ Mahmood et al. (2016) กล่าวว่า การไพรม์มิ่ง การเคลือบและการพอกเมล็ดพันธุ์ต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง ผักกาดหอม ข้าวสาลี เป็นต้น ร่วมกับ rhizobacteria เป็นหนึ่งในวิธีการที่ดีสำหรับกาเตรียมความงอกให้กับเมล็ดพันธุ์ โดยสามารถช่วยให้เมล็ดสามารถงอกได้ดี งอกสม่ำเสมอ ต้นกล้ามีความสมบูรณ์แข็งแรง และสามารถป้องกันเชื้อราที่จะเข้ามาทำลายรากในระยะกล้าได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพอกเมล็ดร่วมกับจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช สามารถช่วยส่งเสริมการงอกให้กับพืชได้ เนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้มีกลไกที่สำคัญคือ การผลิตฮอร์โมนพืชหรือสนับสนุนให้พืชหาอาหารและการดูดซึมธาตุอาหารจากดินผ่านกลไกต่างๆ มากขึ้น จุลินทรีย์เหล่านี้ยังสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศได้ (Vacheron et al., 2013) โดยจะผลิตเอนไซม์ไนโตจิเนสมาช่วยตรึงและเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้เป็นสารประกอบในรูปของแอมโมเนีย และไนเตรท เพื่อให้ต้นกล้าพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันทีหลังจากเมล็ดพันธุ์เริ่มงอก (Herrera et al., 2016)

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าวัสดุประสานและวัสดุพอกที่ใช้ในการพอกเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ในงานวิจัยครั้งนี้ ไม่มีผลต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ ซึ่ง Amer and Utkhede (2000) พบว่า การใช้ carboxymethyl cellulose เป็นวัสดุประสานในการพอกเมล็ดพันธุ์ และเป็นวัสดุตัวกลางนำพา *Bacillus subtilis* และ *Pseudomonas putida* ให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม ผลปรากฏว่าการพอกเมล็ดพันธุ์ด้วยจุลินทรีย์เหล่านี้ไม่เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์และ Buakaew and Siri (2018) ได้รายงานว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมโดยใช้ calcium sulfate เป็นวัสดุพอกไม่มีผลต่อความงอกและความเร็วในการงอก และวัสดุพอกชนิดนี้มีคุณสมบัติที่สามารถดูดซับความชื้นได้ดี โดยความชื้นและอากาศสามารถแทรกซึมได้ง่าย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Peek et al., 2008)

Table 1 Seed germination of khao dawk mali 105 and RD69 seed varieties after pelleting seed with *Bacillus subtilis* at different rate under laboratory and greenhouse conditions

Treatments[1]	Seed germination (%)							
	Khao dawk mali 105				RD69			
	Laboratory	(%)[2]	Greenhouse	(%)	Laboratory	(%)	Greenhouse	(%)
T_1	97		93		92		83	
T_2	99	(+2)	92	(-1)	96	(+4)	86	(+3)
T_3	99	(+2)	94	(+1)	93	(+1)	84	(+1)
T_4	99	(+2)	96	(+3)	93	(+1)	85	(+2)
T_5	98	(+1)	93	(0)	93	(+1)	89	(+6)
C.V. (%)	2.25		5.73		3.64		6.49	
F-test	ns		ns		ns		ns	

ns = not significant

[1] T_1 = Non-pelleted seed

T_2 = Pelleted seed without *Bacillus subtilis*

T_3 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 1 ml.

T_4 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 2 ml.

T_5 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 3 ml.

[2] The number in parenthesis refers to percentage change of increase (+) and decrease (-) compared to the control

จาการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ที่ผ่านการพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในอัตราที่แตกต่างกัน โดยใช้วิธีการวัดความเร็วในการงอกและดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวพบว่า ในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีความเร็วในการงอกไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T_1) มีค่าความเร็วในการงอกสูงที่สุด (31.3 ต้นต่อวัน) รองลงมาคือ เมล็ดพันธุ์ที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1 มิลลิลิตร (T_3) และเมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* (T_2) ตามลำดับ (31.1 และ 31.0 ต้นต่อวัน) ต่อมาเมื่อตรวจสอบค่าดัชนีการงอกพบว่า เมล็ดที่ไม่ได้พอก (T_1) มีค่าดัชนีการงอกไม่แตกต่างกับเมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* (T_2) แต่แตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร (T_3-T_5) ส่วนการตรวจสอบความเร็วในการงอกและดัชนีการงอกของข้าวพันธุ์ กข 69 พบว่า ความเร็วในการงอกและค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T_1) มีค่าความแข็งแรงสูงกว่าเมล็ดพอกโดยไม่เติม *Bacillus subtilis* (T_2) และเมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ในทุกอัตรา (T_3-T_5) ทั้งความเร็วในการงอกและค่าดัชนีการงอก (Table 2) เช่นเดียวกันกับ Kaodilok et al. (2019) ได้ศึกษาผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต Gibberellic acid (GA_3) และ Indole-3-acetic acid (IAA) ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์พบว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต GA_3 และ GA_3 ผสมกับ IAA ทุกกรรมวิธีส่งผลให้ความเร็วในการงอกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้พอกทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพเรือนทดลอง ทั้งนี้การพอกเมล็ดพันธุ์เป็นวิธีการที่ทำให้เมล็ดพันธุ์จะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุพอก ทำให้เมล็ดพันธุ์พืชบางชนิดไม่สามารถงอกได้ทันทีหรืองอกได้ช้าลง แต่ไม่ส่งผลต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ (Soulange and Levantard, 2008)

ซึ่งจะเห็นได้ว่า การพอกเมล็ดพันธุ์นั้นไม่เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ แต่จะมีผลทำให้การงอกรากของต้นกล้าและความเร็วในการงอกของต้นกล้าช้าลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้พอก ซึ่งผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยการพอกเมล็ดพันธุ์พืชชนิดอื่นๆ เช่น ทานตะวัน (Kiran et al., 2014) ยาสูบ (Trachoo, 2016) ผักกาดหอม (Buakaew and Siri, 2018) และมะเขือเทศ (Chaiyasarn and Siri, 2019) ซึ่งการพอกเมล็ดไม่ส่งผลให้ความงอกของเมล็ดพันธุ์ลดลง

Table 2 Speed of germination and germination index of khao dawk mali 105 and RD69 seed varieties after pelleting seed with *Bacillus subtilis* at different rate

Treatments[1, 2]	Khao dawk mali 105				RD69			
	Germination index	(%)[3]	Speed of germination (seedling/day)	(%)[3]	Germination index	(%)[3]	Speed of germination (seedling/day)	(%)[3]
T_1	18.5 a		31.3		17.6 a		30.0 a	
T_2	17.2 ab	(-7)	31.0	(-1)	13.9 b	(+3)	27.9 b	(-7)
T_3	16.9 b	(-9)	31.1	(-1)	11.9 b	(+1)	26.3 b	(-12)
T_4	16.1 b	(-13)	30.0	(-4)	13.0 b	(+2)	26.4 b	(-12)
T_5	15.8 b	(-15)	29.8	(-5)	13.0 b	(+6)	27.0 b	(-10)
C.V. (%)	5.08		2.78		10.16		4.35	
F-test	**		ns		**		**	

ns = not significant and ** = significant at $P<0.01$

[1] Means within a column followed by the same letter are not significantly at $P<0.01$ and $P<0.05$ by LSD

[2] T_1 = Non-pelleted seed
T_2 = Pelleted seed without *Bacillus subtilis*
T_3 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 1 ml.
T_4 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 2 ml.
T_5 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 3 ml.

[3] The number in parenthesis refers to percentage change of increase (+) and decrease (-) compared to the control

การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวหลังการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ *Bacillus subtilis*

จากการพิจารณาการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ที่ผ่านการพอกเมล็ดร่วมกับ *Bacillus subtilis* แล้วตรวจสอบความยาวต้นในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า ความยาวต้นของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 หลังการพอกทุกกรรมวิธี (T_2-T_5) ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T_1) ซึ่งในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมล็ดที่ไม่ได้พอก (T_1) มีความยาวต้นมากที่สุดเท่ากับ 14.1 เซนติเมตร ส่วนพันธุ์ กข 69 เมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 2 มิลลิลิตร (T_4) มีความยาวต้นมากที่สุดเท่ากับ 16.3 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างกับงานทดลองของ Kaodilok et al. (2019) ได้ศึกษาผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพบว่า การพอกเมล็ดร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต GA_3 และ GA_3 ผสมกับ IAA ทุกกรรมวิธี มีความยาวต้นมากกว่าและแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้พอก และจากการตรวจสอบความยาวรากพบว่า เมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1 มิลลิลิตร (T_3) ทำให้ต้นกล้ามีความยาวรากสูงที่สุด รองลงมาคือ เมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 3 มิลลิลิตร (T_5) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (12.0 และ 11.0 เซนติเมตร ตามลำดับ) แต่มีความแตกต่างทางสถิติในข้าวพันธุ์ กข 69 (12.8 และ 10.3 เซนติเมตร ตามลำดับ) (Table 3) การพอกเมล็ดร่วมกับ *Bacillus subtilis* สามารถเพิ่มความยาวรากของต้นกล้าได้ เนื่องจาก *Bacillus subtilis* เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างฮอร์โมนพืช (phytohormones) กลุ่มออกซิน (auxins) คือ Indole-3-acetic acid (IAA) (Prasanna et al., 2011; Mahmood et al., 2016; Myo et al., 2019) ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สามมารถกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ การแบ่งเซลล์ และการเปลี่ยนสภาพของเซลล์ได้ (Tanthani, 2012; Masciarelli et al., 2014) อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความยาวของรากและพื้นที่ผิวราก ทำให้ต้นกล้าแข็งแรงขึ้น ทำให้รากสามารถดูดซึมน้ำและสารอาหารได้มากขึ้น (Ahemad and Khan, 2011; Glick, 2012; Vacheron et al., 2013) อีกทั้งยังสามารถต่อต้านเชื้อปฏิปักษ์ให้กับพืชที่อยู่อาศัยได้อีกด้วย และ Hernandez et al. (2009) ยังพบว่า แบคทีเรีย *Bacillus pumilus* มีคุณสมบัติที่มีประโยชน์ต่อพืชทั้งในด้านการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคในพืช และยังสามารถช่วยพืชตรึงไนโตรเจนได้อีกด้วย

Table 3 Shoot length and root length of khao dawk mali 105 and RD69 seed varieties after pelleting seed with *Bacillus subtilis* at different rate under laboratory conditions

Treatments[1, 2]	Khao dawk mali 105				RD69			
	Shoot length (cm)	(%)[3]	Root length (cm)	(%)[3]	Shoot length (cm)	(%)[3]	Root length (cm)	(%)[3]
T_1	14.1		9.1		14.1		9.7 b	
T_2	13.8	(-2.1)	9.3	(+2.2)	13.9	(-1.4)	8.8 b	(-9.2)
T_3	13.3	(-5.7)	12.0	(+32)	14.1	(0)	12.8 a	(+32)
T_4	13.1	(-7.1)	9.9	(+8.8)	16.3	(+15.6)	9.5 b	(-2.1)
T_5	13.1	(-7.1)	11.0	(+20.9)	15.2	(+7.8)	10.3 b	(+6.2)
C.V. (%)	7.48		14.29		19.63		14.87	
F-test	ns		ns		ns		*	

ns = not significant and * = significant at $P<0.05$, respectively

[1] Means within a column followed by the same letter are not significantly at $P<0.01$ and $P<0.05$ by LSD

[2] T_1 = Non-pelleted seed
T_2 = Pelleted seed without *Bacillus subtilis*
T_3 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 1 ml.
T_4 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 2 ml.
T_5 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 3 ml.

[3] The number in parenthesis refers to percentage change of increase (+) and decrease (-) compared to the control

Table 4 Seedling growth rate of khao dawk mali 105 and RD69 seed varieties after pelleting seed with *Bacillus subtilis* at different rate under laboratory conditions

Treatments[1, 2]	Seedling growth rate (milligram/plant)			
	Khao dawk mali 105	(%)[3]	RD69	(%)[3]
T_1	8.1 c		4.5 c	
T_2	11.5 b	(+42)	12.8 b	(+184)
T_3	13.8 a	(+70)	15.2 a	(+238)
T_4	11.9 b	(+47)	14.5 a	(+222)
T_5	11.7 b	(+44)	12.9 b	(+187)
C.V. (%)	8.43		8.87	
F-test	**		**	

** = significant at $P<0.01$

[1] Means within a column followed by the same letter are not significantly at $P< 0.01$ and $P< 0.05$ by LSD

[2] T_1 = Non-pelleted seed
T_2 = Pelleted seed without *Bacillus subtilis*
T_3 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 1 ml.
T_4 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 2 ml.
T_5 = Pelleted seed with *Bacillus subtilis* 3 ml.

[3] The number in parenthesis refers to percentage change of increase (+) and decrease (-) compared to the control

จากการตรวจสอบอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และกข 69 หลังการพอกเมล็ดร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตราแตกต่างกันพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการพอกทุกกรรมวิธี (T_2-T_5) มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้ามากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T_1) โดยเมล็ดที่พอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* อัตรา 1 มิลลิลิตร (T_3) มีอัตราการเจริญของต้นกล้ามากที่สุดคือ 13.8 และ 15.2 มิลลิกรัม/ต้น (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ กข 69 ตามลำดับ) ส่วนเมล็ดที่ไม่ได้พอก (T_1) มีอัตราการเจริญของต้นกล้าน้อยที่สุดคือ 8.1 และ 4.5

มิลลิกรัม/ต้น (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ตามลำดับ) (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Kangsopa et al. (2018) ได้ทำการประยุกต์วิธีการทำ seed treatment ร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชคือ *Pseudomonas fluoresces* 31-12 และ *Bacillus subtilis* พบว่า การเคลือบและการพอกเมล็ดพันธุ์ด้วย *P. fluorescens* 31-12 มีน้ำหนักสดใบ น้ำหนักราก น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งรากมากกว่าและแตกต่างกันทางสถิติอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการพอก และมีรายงานว่าการคลุกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศร่วมกับ *Bacillus subtilis* (EPC016) ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการคลุกร่วมกับ *Bacillus subtilis* (EPC016) (Ramyabharathi et al., 2013) ในปัจจุบัน Jeephet (2022) รายงานเพิ่มว่า การพอกเมล็ดร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช จะทำให้เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตที่ดี และสามารถเพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งทั้งต้นและรากได้ดีกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการพอก

สรุปผลการศึกษา

จากการพอกเมล็ดข้าวทั้ง 2 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตราที่แตกต่างกันพบว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตรา 2 มิลลิลิตร มีผลทำให้ ความงอกในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือนดีกว่าเมล็ดที่ไม่พอก แต่พันธุ์ กข 69 ได้ผลดีที่การพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตรา 3 มิลลิลิตร แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่พอก แต่เมื่อตรวจสอบ อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าพบว่าเมล็ดข้าวที่มีการพอกร่วมกับ *Bacillus subtilis* ที่อัตรา 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าดีกว่าเมล็ดที่ไม่พอกและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้สามารถแนะนำได้ว่าการพอกเมล็ดข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 และ กข 69 ร่วมกับ *Bacillus subtilis* ควรใส่ในอัตราที่ 2-3 มิลลิลิตร

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวชุมแพที่ได้สนับสนุนเมล็ดพันธุ์เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

การคิดริเริ่ม การตั้งสมมติฐาน การทำการทดลอง การจัดเก็บข้อมูลการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง และการเขียนบทความต้นฉบับ: ธิดารัตน์ แก้วคำ.

เอกสารอ้างอิง

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

Amer, G. A., & Utkhede, R. S. (2000). Developments of formulations of biological agents for management of root rot of lettuce and cucumber. **Canadian Journal of Microbiology**, 46(9), 809-816.

AOSA. (2002). **Seed Vigor Testing Handbook (Revised 2002).** Contribution No. 32 to the Handbook on Seed Testing. Association of Official Seed Analysis.

Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. **Genetics and Molecular Biology**, 35(Suppl.4), 1044-1051.

Buakaew, S., & Siri, B. (2018). Physical properties and seed quality after pelleting with different binder and filler materials of lettuce seed (*Lactuca sativa* L.). **Khon Kaen Agriculture Journal**, 46(3), 469-480. (in Thai).

Bulgarelli, D., Schlaeppi, K., Spaepen, S., Van Themaat, E. V. L., & Schulze-Lefert, P. (2013). Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. **Annual Review of Plant Biology**, 64(1), 807-838.

Chaiyasarn, S., & Siri, B. (2019). Effect of seed pelleting with different plant nutrients on seed germination, vigor and seedling growth of hybrid tomato. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 47(5), 877-890. (in Thai).

Department of Internal Trade. (2022). **Action Plan, Production Plan and Comprehensive Rice Marketing for the Production Year 2022/23.** Bureau of Rice Policy & Strategy, The Rice Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).

Dunlap, C. A., Kim, S. J., Kwon, S. W., & Rooney, A. P. (2016). *Bacillus velezensis* is not a later heterotypic synonym of *Bacillus amyloliquefaciens*; *Bacillus methylotrophicus*, *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *Plantarum* and '*Bacillus oryzicola*' are later heterotypic synonyms of *Bacillus velezensis* based on phylogenomics. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, 66(3), 1212-1217.

Glick, B. R. (2012). **Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications.** Scientifica: Hindawi Publishing Corporation.

Hayat, R., Ali, S., & Amara, U. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of Microbiology**, 60(1), 579-98.

Hernandez, J. P., De-Bashan, L. E., Rodriguez, D. J., Rodriguez, Y., & Bashan, Y. (2009). Growth promotion of the freshwater microalga *Chlorella vulgaris* by the nitrogen-fixing, plant growth-promoting bacterium *Bacillus pumilus* from arid zone soils**. European Journal of Soil Biology**, 45(1), 88-93.

Herrera, J. M., Rubio, G., Levy, L., Delgado, J. A., Lucho-Constantino, C. A., Islas-Valdez, S., & Pellet, D. (2016). Emerging and established technologies to increase nitrogen use efficiency of cereals. **Agronomy**, 6(25), 1-19.

Indiragandhi, P., Anandham, R., Madhaiyan, M., & Sa, T. M. (2008). Characterization of Plant Growth–Promoting Traits of Bacteria Isolated from Larval Guts of Diamondback Moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Current Microbiology**, 56(4), 327-333.

ISTA. (2017). **International Rules for Seed Testing.** International Seed Testing Association.

Jeephet, P. (2022). **Effect of Seed Pelleting Formulas with Plant Growth Promoting Bacteria on Lettuce Seed's Quality and Longevity.** Master's thesis. Agronomy, Office of Academic Adminstration and Development, Maejo University. (in Thai).

Junges, E., Toebe, M., Santos, R. F. D., Finger, G., & Muniz, M. F. B. (2013). Effect of priming and seed-coating when associated with *Bacillus subtilis* in maize seeds. **Revista Ciencia Agronomica**, 44(3), 520-526.

Kaewkham, T., Hynes, R. K., & Siri, B. (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.

Kangsopa, J., Hynes, R. K., & Siri, B. (2018). Effects of seed treatment with plant growth promoting bacteria on germination and growth of lettuce. **Journal of Agriculture**, 34(3), 385-397. (in Thai).

Kaodilok, T., Siri, B., & Tira-umpon, A. (2019). Effects of seed pelleting with plant growth regulator GA_3 and IAA on quality of lettuce seed. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 47(5), 1027-1036. (in Thai).

Kesan, J. P. (2007). **Agricultural Biotechnology and Intellectual Property: Seeds of Change.** CAB International.

Kiran, S. P., Paramesh R., Nishanth, G. K., Channakeshava., & Niranjana, K. B. (2014). Influence of seed pelleting on seed quality of sunflower hybrid seed production of KBSH-53 (*Helianthus annus* L.). **International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry**, 3(2), 2277-4688.

Kloepper, J. W., & Schroth, M. N. (1978). Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. In **Proceedings of the 4th International Conference on Plant Pathogen Bacteria**, pp. 879-882. INRA, Gilbert-Clarey.

Liu, B., Ge, B., Azhar, N., Zhao, W., Cui, H., & Zhang, K. (2018). Complete genome sequence of *Bacillus methylotrophicus* strain NKG-1, isolated from the Changbai Mountains, China. **Genome Announcements**, 6(3), e01454-17.

Ma, Y., Rajkumar, M., Vicente, J. A., & Freitas, H. (2011). Inoculation of Ni-resistant plant growth promoting bacterium *Psychrobacter* sp. strain SRS8 for the improvement of nickel phytoextraction by energy crops. **International Journal of Phytoremediation**, 13(2), 126-139.

Mahmood, A., Turgay, O. C., Farooq, M., & Hayat, R. (2016). Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria: a review. **FEMS Microbiology Ecology**, 92(8), 1-14.

Masciarelli, O., Llanes, A., & Luna, V. (2014). A new PGPR co-inoculated with *Brandyrhizobium japonicum* enhances soybean nodulation. **Microbiology Research**, 169(7-8), 609-615.

Myo, E. M., Liu, B., Ma, J., Shi, L., Jiang, M., Zhang, K., & Ge, B. (2019). Evaluation of *Bacillus velezensis* NKG-2 for bio-control activities against fungal diseases and potential plant growth promotion. **Biological Control**, 134(1), 23-31.

Office of Agricultural Economics. (2022). **Thailand Foreign Agricultural Trade Statistics 2022.** Centre for Agricultural Information, Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai).

Peek D. R., Reed, T. D., Johnson, C. S., Semtner, P. J., & Wilkinson, C. A. (2008). **Burley Tobacco Production Guide.** Virginia Cooperative Extension, Virginia State University.

Prasanna, R., Joshi, M., Rana, A., Shivay, Y. S., & Nain, L. (2011). Influence of co-inoculation of bacteria-cyanobacteria on crop yield and C–N sequestration in soil under rice crop. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 28(1), 1223-1235.

Ramyabharathi, S., Meena, B., & Raguchander, T. (2013). Induction of defense enzymes and proteins in tomato plants by *Bacillus subtilis* EPCO16 against *Fusarium oxysporum* f. sp. Lycopersici. **Madras Agricultural Journal**, 100(Special 1), 126-130.

Rokhbakhsh-Zamin, F., Sachdev, D., Kazemi-Pour, N., Engineer, A., Pardesi, K. R., Zinjarde, S., Dhakephalkar, P. K., & Chopade, B. A. (2011). Characterization of plant-growth-promoting traits of *Acinetobacter* species isolated from rhizosphere of *Pennisetum glaucum*. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, 21(6), 556-566.

Siri, B. (2015). **Seed Conditioning and Seed Enhancements.** Klungnanawitthaya Priting. (in Thai).

Soulange, J. G. & Levantard, M. (2008). Comparative studies of seed priming and pelleting on percentage and meantime to germination of seeds of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.). **African Journal of Agricultural Research**, 3(10), 725-731.

Tanthani, S. (2012). Microorganisms, biotechnology for soil improvement. **Department of Science Service Journal**, 60(190), 36-39. (in Thai).

Trachoo, S. (2016). **Seed Pelleting with Plant Nutrients on Seed Quality and Storability of Tobacco Seed.** Master's thesis. Agronomy, Graduate School, Khon Kaen University. (in Thai).

Tu, L., He, Y., Shan, C., & Wu, Z. (2016). Preparation of Microencapsulated *Bacillus subtilis* SL-13 Seed coating agents and their effects on the growth of cotton seedlings. **BioMed Research International**, 2016(1), 1-7.

Vacheron, J., Debrosses, G., Bouffaud, M-L., Touraine, B., Moënne-Loccoz, Y., Muller, D., Legendre, L., Wisniewski-Dye, F., & Pregent-Combaret, C. (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in Plant Science**, 4(1), 356-375.