วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.2) May – August 2022 บทความวิจัย

ไมโครนาโนบับเบิล : การไพรม์เมล็ดร่วมกับ *Trichoderma asperellum* ต่อความงอก ความแข็งแรง และการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้า

Micro-Nano Bubble: Seed Priming with *Trichoderma asperellum* on Germination, Vigor and Seedling Growth of Chinese Kale (*Brassica alboglabra*)

จักรพงษ์ กางโสภา*, อรัญญา สิงโสภา, นรารัตน์ ทาวงศ์ และ สุรีมาศ จันต๊ะอินทร์
Jakkrapong Kangsopa*, Aranya Singsopa, Nararat Thawong and Sureemard Chantain
สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
Division of Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University

Received : 1 July 2021
Revised : 18 August 2021
Accepted : 6 September 2021

บทคัดย่อ

ปัจจุบันคะน้าเป็นผักทานใบที่ได้รับความนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหาร และยังรับประทานได้ง่าย แต่การเพาะปลูกคะน้าทั้งในระดับเกษตรกรหรือในระดับอุตสาหกรรม มักประสบปัญหาการเพาะกล้าที่ได้มีความแข็งแรงต่ำ งอกไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้โรคและแมลงเข้าทำลายต้นกล้าได้ง่าย จากปัญหาดังกล่าวทำให้การแก้ปัญหาโดยวิธีการไพรม์เมล็ดพันธุ์คือหนึ่งในทางเลือกที่ช่วยให้เมล็ดคะน้างอกได้ง่ายและสม่ำเสมอเพิ่มขึ้น ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีวิธีการทดลองคือ T1) เมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์, T2) การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำกลั่น, T3) การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิลเพียงอย่างเดียว และ T4, T5, T6, T7 และ T8 เป็นการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ ต่อเมล็ดพันธุ์คะน้า 8 กรัม ผลการทดลองพบว่า การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิลร่วมกับ *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม ทำให้เมล็ดมีความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิดและความงอกสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ ส่วนคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการเร่งอายุพบว่า การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิลทุกวิธีการ การโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความงอก และความเร็วในการงอกสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ ภายใต้การทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิลร่วมกับ *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่ทำให้เมล็ดคะน้ามีการงอกที่ดี และสามารถยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์คะน้าได้

คำสำคัญ : การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ; จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ; นาโนบับเบิล ; การไพรม์เมล็ดพันธุ์อินทรีย์

Abstract

Currently, Chinese kale is commonly consumed as leafy vegetable because it has high nutrients and easy to eat. Nevertheless, it was found that the available Chinese kale seedlings which are used for cultivation either at a farmer level or industrial level have low vigor and inconsistent germination. As a result, this allows disease and insects to destroy the seedlings easily. From the aforementioned problem, seed priming is one of the alternatives to help make seeds germinate more consistent. The experiment was conducted at Seed Technology Laboratory and Biotechnology Laboratory, Field Crop Program, Faculty of Agricultural Production, Maejo University. The Completely Randomized Design is used as the experimental design and there were seven controlled groups which include T1) non-primed seeds, T2) seeds primed with distilled water, and T3, T4, T5, T6, and T7 was seeds primed with nano-bubble water and eight grams of seeds primed with 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 grams of *T. asperellum*. The results are the following. First, seeds primed with nano-bubble water and 1.0 grams of *T. asperellum* had higher speed of radicle emergence, germination percentage when compared to non–primed seeds. The differences were found statistically significant when tested under the laboratory condition. Second, regarding the quality of the seeds after accelerated aging, seeds primed with all ratios of nano-bubble water had higher radicle emergence percentage, speed of radicle emergence, germination percentage, and speed of germination compared to non-primed seeds. The differences were found to be statistically significant when tested under laboratory conditions. In conclusion, priming Chinese kale seeds with nano-bubble water and 1.0 grams of *T. asperellum* is considered the most appropriate ratio to enhance the quality of Chinese kale seeds.

Keywords : seed enhancement ; microorganisms ; nano-bubble ; organic seed priming

***Corresponding author. E-mail :** jakkrapong_ks@mju.ac.th

บทนำ

คะน้าเป็นผักรับประทานใบชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในพืชตระกูลกะหล่ำและได้รับความนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากอุดมไปด้วยคุณค่าทางสารอาหาร และยังรับประทานได้ง่าย (Buato & Chunnasit, 2016; Jeephet *et al*., 2020) นอกจากนี้ จากการรายงานของ The Office of Agricultural Regulation (2020) พบว่าเมล็ดพันธุ์คะน้ามีการผลิตเพื่อส่งออกถึง 3.9 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2.4 ล้านบาท อีกทั้งคะน้าเป็นพืชทานใบที่มีอายุการเก็บเกี่ยวเร็วประมาณ 45-55 วันหลังปลูก สามารถนำไปจำหน่ายสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรในยุคโรคระบาด COVID-19 ได้ ส่วนราคาการซื้อขายหน้าฟาร์มอยู่ที่กิโลกรัมละ 40-50 บาท และราคาขายตามตลาด เช่น คะน้าฮ่องเต้อยู่ที่กิโลกรัมละ 200 บาท (Ortorkor, 2021) จึงทำให้คะน้าเป็นหนึ่งในพืชที่มีราคาและความต้องการสูง จึงต้องควบคุมคุณภาพการผลิตให้ได้ผลผลิตและมาตรฐานออกสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม การเพาะปลูกคะน้าทั้งในระดับเกษตรกรหรือในระดับอุตสาหกรรม มักจะประสบปัญหาคือ ต้นกล้าที่ได้มีความแข็งแรงต่ำ งอกไม่พร้อมกัน จึงทำให้โรคและแมลงเข้าทำลายต้นกล้าได้ง่าย (Subnugarn, 2017) โดยปัญหาดังกล่าวส่วนหนึ่งเกิดจากเมล็ดพันธุ์คะน้าที่มีขนาดเล็ก และมีอาหารสะสมในเมล็ดน้อย ทำให้เมื่อนำไปเพาะต้นกล้าเมล็ดจึงมีความงอกและความแข็งแรงต่ำ (Jeephet *et al*., 2020) จากผลกระทบดังกล่าวทำให้เกษตรกรสูญเสียเมล็ดพันธุ์ เวลา และค่าจ้างแรงงานเพิ่มขึ้นจากเดิม นอกจากนี้เกษตรกรยังต้องเพิ่มการใช้สารเคมีมากขึ้นเพื่อควบคุมระบบการเพาะปลูกให้ได้ผลผลิต เช่น การใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีป้องกันโรคและแมลง เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าว การเตรียมความพร้อมให้กับเมล็ดพันธุ์คะน้าโดยวิธีการไพรม์เมล็ดพันธุ์คือหนึ่งในทางเลือกที่ช่วยให้เมล็ดคะน้างอกได้ง่ายและสม่ำเสมอเพิ่มขึ้น โดยการไพรม์เมล็ดพันธุ์เป็นวิธีการให้ความชื้นให้กับเมล็ดพันธุ์ โดยจะให้เมล็ดค่อย ๆ ดูดซับน้ำ ในสภาวะที่มีการควบคุมอุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความชื้น การไพรม์เมล็ดพันธุ์ช่วยเพิ่มกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ และกระบวนการทางชีววิทยาต่าง ๆ ภายในเมล็ดให้ดียิ่งขึ้น ส่งผลทำให้เมล็ดพันธุ์งอกได้เร็วและสม่ำเสมอมากขึ้น ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตดีขึ้น ส่งผลให้ต้นพืชเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตที่มากขึ้น (Taylor *et al*., 1998; McDonald, 2000; Siri, 2015) และหนึ่งในวิธีการยกระดับประสิทธิภาพของการไพรม์เมล็ดคือ การเพิ่มออกซิเจนในระดับนาโนให้กับสารละลายสำหรับใช้แช่เมล็ดพันธุ์ จึงมักเรียกเทคนิควิธีการดังกล่าวคือการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิล (nano-bubble hydropriming) ดังนั้นการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิล (nano-bubble water) จึงเป็นเป็นวิธีการเพิ่มฟองอากาศออกซิเจนให้ปะปนอยู่ในน้ำหรือสารละลาย อีกทั้งยังสามารถคงสภาพการเป็นนาโนบับเบิลได้นานมากกว่า 1-2 เดือน (Naenfan & Pagamas, 2020) โดยน้ำนาโนบับเบิลจะช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอ็นไซม์ amylase ซึ่งเป็น key enzyme ที่มีส่วนสำคัญต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพืช (Davies, 2004) ยกตัวอย่างการรายงานของ Sritontip *et al*. (2018) พบว่าการแช่เมล็ดพันธุ์คะน้าในน้ำ micro nano-bubbles เป็นเวลา 5 นาที สามารถกระตุ้นการงอกและส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้าได้ โดยน้ำนาโนบับเบิลสามารถช่วยกระตุ้นการงอกและกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหรือจุลินทรีย์บางชนิดที่มีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมการเกิดโรคในระยะต้นกล้าได้ ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่ม *Trichoderma asperellum* เป็นจุลินทรีย์สำหรับไพรม์ร่วมกับเมล็ดพันธุ์ จึงมีบทบาทสำคัญลดการเข้าทำลายของ *Sclerotium rolfsii* จากปัญหาโรคเน่าในระยะต้นกล้าได้ (Chet & Katan, 1980; Amin *et al*., 2010) เช่น มีการรายงานการพบสารทุติยภูมิของเชื้อราไตรโคเดอร์ม่าในกลุ่ม

trichothecens, cyclic peptides และ isocyanide ที่สามารถยับยั้งเส้นใยของเชื้อรา *Sclerotium rolfsii* ที่ก่อโรคโคนเน่าในต้นกล้าพริกได้ (Maketon, 2004) นอกจากนี้ยังพบรายงานเพิ่มเติมว่า *Trichoderma asperellum* สามารถเพิ่มความงอกให้กับเมล็ดพันธุ์แตงไทย (Kaveh *et al*., 2011) และเมล็ดพริกได้ (Asaduzzaman *et al*., 2010)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนของ *Trichoderma asperellum* ที่เหมาะสมต่อการไพรม์เมล็ดพันธุ์คะน้าโดยวิธีนาโนบับเบิล และติดตามการเปลี่ยนแปลงของความงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้า เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเพาะต้นกล้าคะน้าให้มีความงอกและความแข็งแรงสูงที่สุด

วิธีดำเนินการวิจัย

ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ดำเนินการทดลองระหว่างเดือนมกราคม – เมษายน 2564 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. การเตรียมน้ำนาโนไมโครบับเบิล (Micro-nano bubbles)

เตรียมน้ำกลั่นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเตรียมให้เป็นน้ำนาโนบับเบิลด้วยเครื่อง Nano Bubble Generator จากสาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำนาโนบับเบิลด้วยเครื่อง Dissolved Oxygen Meter พบว่ามีค่าออกซิเจนคือ 18.47 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนน้ำกลั่นมีค่าออกซิเจนคือ 7.22 มิลลิกรัม/ลิตร จากนั้นนำน้ำนาโนบับเบิลไปใช้ในการทดลองหัวข้อที่ 2

2. การไพรม์เมล็ดพันธุ์คะน้าด้วยน้ำนาโนบับเบิลร่วมกับ Trichoderma asperellum

นำน้ำนาโนบับเบิลที่ได้จากการเตรียมในหัวข้อที่ 1 มาทำการไพรม์เมล็ดพันธุ์คะน้าที่มีส่วนผสมของสารชีวภัณฑ์ *Trichoderma asperellum* (บริษัทแอพพลายเค็ม (ประเทศไทย) จำกัด) (ความเข้มข้นของจำนวนเชื้อ $2x10^8$ cfu/g) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยมีกรรมวิธีการทดลองคือ T1) เมล็ดเปล่า, T2) การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิลเพียงอย่างเดียว และการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม (T3, T4, T5, T6 และ T7 ตามลำดับ) ต่อเมล็ดพันธุ์คะน้า 8 กรัม โดยใช้น้ำนาโนบับเบิลปริมาตร 50 มิลลิลิตร/วิธีการ และใช้บีกเกอร์เป็นภาชนะสำหรับแช่เมล็ด จากนั้นนำเมล็ดในแต่ละวิธีการทดลองไปไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสง 180 μE เมื่อครบกำหนดเวลานำเมล็ดพันธุ์ออกมาล้างด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นซับน้ำที่ผิวเมล็ด และนำไปลดความชื้นในสภาพอุณหภูมิห้อง (มีพัดลมเป็นเครื่องช่วยลดความชื้นเมล็ด) จนความชื้นเมล็ดใกล้เคียงหรือเท่ากับความชื้นเริ่มต้นคือ 7% แล้วนำเมล็ดที่ผ่านการไพรม์มาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

3. การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์

3.1 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

3.1.1 การตรวจสอบความงอกมาตรฐาน สุ่มเมล็ดพันธุ์ในแต่ละวิธีการจำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด มาทดสอบความงอกโดยวิธี Top of paper (TP) จากนั้นนำไปไว้ในตู้เพาะความงอกอุณหภูมิสลับ (8 ชั่วโมง 30°C และ 16 ชั่วโมง 20°C) แล้ว

ตรวจนับความงอกหลังการเพาะครั้งแรกที่ 5 วัน (First count) และ 10 วันหลังเพาะ (Final count) โดยนำมาประเมินผลการตรวจสอบความงอกตามวิธีของ ISTA (2017)

3.1.2 การตรวจสอบความเร็วในการงอก สุ่มเมล็ดพันธุ์ในแต่ละวิธีการจำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด นับจำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ ประเมินนับทุกวัน ตั้งแต่เริ่มนับครั้งแรก (First count) จนถึงวันสุดท้าย (Final count) แล้วนำผลการนับมาคำนวณหาความเร็วในการงอก

3.1.3 การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด โดยสุ่มประเมินจากการเพาะทดสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ ในวันที่ 1 และ 4 วันหลังเพาะ ในแต่ละกรรมวิธีทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด โดยจะเริ่มตรวจนับเมื่อเมล็ดมีการงอกของรากที่ความยาว 2 มิลลิเมตร

3.1.4 การตรวจสอบความเร็วการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ดำเนินการตรวจนับรากที่มีความยาว 2 มิลลิเมตร ในทุกวันตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 4 หลังการเพาะ ทำทั้งหมด 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ในทุกกรรมวิธีการ จากนั้นนำมาคำนวณหาความเร็วการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิดของต้นกล้าคะน้า

3.1.5 เวลาเฉลี่ยในการงอก เพาะเมล็ดพันธุ์คะน้าเช่นเดียวกับวิธีการทดสอบความงอกมาตรฐาน ตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติทุกวัน เป็นเวลา 10 วัน ทำ 4 ซ้ำในแต่ละกรรมวิธีการทดลอง จากนั้นคำนวณเวลาเฉลี่ยในการงอก ตามวิธีการของ Ellis & Roberts (1980)

3.1.6 การตรวจสอบความยาวต้นและความยาวราก สุ่มต้นกล้าปกติที่อายุ 10 วันหลังเพาะจากการเพาะทดสอบความงอกโดยวิธีมาตรฐาน ทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น ทำการตรวจวัดความยาวต้น โดยวัดตั้งแต่ส่วนรอยต่อของต้นกับรากไปจนถึงปลายสุดใบจริง (Foliage leaf) ส่วนความยาวราก วัดจากบริเวณปลายรากจนถึงบริเวณข้อต่อระหว่างส่วนรากและลำต้นของต้นกล้า (Baki & Anderson, 1973) และการประเมินความยาวต้นกล้า ตรวจวัดตั้งแต่ปลายรากไปจนจนถึงปลายสุดใบจริง โดยใช้ไม้บรรทัดมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

3.2 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพเรือนทดลอง

3.2.1 การตรวจสอบความงอกมาตรฐาน สุ่มประเมินต้นกล้าปกติ จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด มาทดสอบความงอกในถาดหลุม ซึ่งใช้พีทมอส (Peatmoss) เป็นวัสดุเพาะต้นกล้า แล้วประเมินผลการงอกที่ 5 และ 10 วันหลังเพาะ โดยมีวิธีการประเมินตามหลักสากลเช่นเดียวกันกับวิธีการตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

3.2.2 การตรวจสอบความเร็วในการงอก ทำโดยสุ่มเมล็ดพันธุ์ทุกวิธีการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด นับจำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ ประเมินนับทุกวันตั้งแต่เริ่มนับครั้งแรก (First count) จนถึงวันสุดท้าย (Final count) แล้วนำผลการนับมาคำนวณหาความเร็วในการงอกเช่นเดียวกับการประเมินในสภาพห้องปฏิบัติการ

3.2.3 การตรวจสอบการโผล่พ้นดินและความเร็วในการโผล่พ้นดิน สุ่มประเมินการงอกของ Cotyledon ของต้นกล้าคะน้าที่โผล่พ้นดินขึ้นมาจากหลุมเพาะต้นกล้าในวันที่ 1 และวันที่ 4 หลังเพาะ ในแต่ละกรรมวิธี ทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด จากนั้นนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การโผล่พ้นดินของต้นกล้าคะน้า ส่วนการตรวจสอบความเร็วในการโผล่พ้นดิน ทำโดยสุ่มตรวจนับการงอกของ Cotyledon ของต้นกล้าที่โผล่พ้นดินขึ้นมาทุกวัน ตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 4 หลังการเพาะ จากนั้นนำมาคำนวณหาความเร็วในการโผล่พ้นดินของต้นกล้าคะน้า

3.2.4 การตรวจสอบความยาวต้น ทำโดยประเมินความยาวต้นที่ 10 วันหลังเพาะ ทั้งหมดทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น โดยการประเมินความยาวต้นวัดจากโคนต้นชิดวัสดุปลูกจนถึงปลายยอด โดยใช้ไม้บรรทัดมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

3.2.5 เวลาเฉลี่ยในการงอก เพาะเมล็ดพันธุ์คะน้าเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2.1 จากนั้นตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติทุกวันตั้งแต่เริ่มเพาะทดสอบ 1- 10 วัน ทำ 4 ซ้ำในแต่ละกรรมวิธีการทดลอง และคำนวณหาเวลาเฉลี่ยในการงอก เช่นเดียวกับการประเมินในสภาพห้องปฏิบัติการ

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล ทำการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ตามลักษณะต่าง ๆ ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แปลงข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดเพื่อวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้วิธี Arcsine transformation เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการวิจัย

การโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิดและความงอกของเมล็ดพันธุ์คะน้าหลังการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำไมโครนาโนบับเบิลร่วมกับ Trichoderma asperellum เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

เมื่อพิจารณาการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิดและความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิดของเมล็ดพันธุ์คะน้าเมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม มีการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิดและความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิดสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่ไพรม์ ส่วนการประเมินความงอกและความเร็วในการงอกพบว่า เมล็ดที่ถูกไพรม์ด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 และ 1.5 กรัม ทำให้เมล็ดมีความงอกและความเร็วในการงอกสูงกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่ไพรม์ (ตารางที่ 1)

การเปลี่ยนแปลงด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้าหลังการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำไมโครนาโนบับเบิลร่วมกับ Trichoderma asperellum เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

เมื่อตรวจสอบความยาวรากของต้นกล้าคะน้าพบว่า การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.5 และ 1.0 กรัม มีความยาวรากสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่ไพรม์ แต่การไพรม์เมล็ดทุกวิธีการไม่ทำให้ความยาวต้นมีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์เมล็ด ส่วนการพิจารณาความยาวต้นกล้า ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม มีความยาวต้นกล้าคือ 6.50 เซนติเมตร และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ นอกจากนี้ยังคงพบว่า การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม มีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างในวิธีการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.5, 1.5 และ 2.0 กรัม (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ภาพที่ 1 ยังแสดงให้เห็นว่าการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.5 และ 1.0 กรัม มีการเปลี่ยนแปลงความยาวของรากต้นกล้าได้มากกว่าวิธีการอื่น ๆ อย่างชัดเจน

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์การโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด เปอร์เซ็นต์ความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์คะน้า หลังการไพรม์เมล็ดด้วยนาโนบับเบิลร่วมกับ *Trichoderma asperellum* ที่อัตราแตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธี [1]	สภาพห้องปฏิบัติการ							
	การโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด (%)	(%)[4]	ความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด (ราก/วัน)	(%)	ความงอก (%)	(%)	ความเร็วในการงอก (ต้น/วัน)	(%)
T1	82 b[2, 3]		14.66 e		84 c		16.80 b	
T2	86 ab	(+5)	15.06 de	(+3)	86 bc	(+2)	17.37 ab	(+3)
T3	87 ab	(+6)	15.69 de	(+7)	85 bc	(+1)	17.00 ab	(+1)
T4	83 b	(+2)	17.29 b-d	(+18)	87 a-c	(+4)	17.21 ab	(+2)
T5	87 ab	(+6)	18.39 a-c	(+25)	90 ab	(+7)	17.84 ab	(+3)
T6	90 a	(+8)	19.23 a	(+30)	91 a	(+8)	18.05 a	(+8)
T7	86 ab	(+5)	16.76 cd	(+14)	91 a	(+8)	18.06 a	(+8)
T8	85 ab	(+4)	18.75 ab	(+28)	87 a-c	(+4)	17.28 ab	(+2)
F-test	*		**		*		*	
CV.(%)	7.32		7.56		5.14		6.20	

*, ** : มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ

[1] T1 = เมล็ดเปล่า, T2 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำกลั่น/เมล็ด 8 กรัม, T3 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิล/เมล็ด 8 กรัม, T4 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.1 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T5 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T6 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T7 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T8 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 2.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม

[2] อักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ P≤0.05

[3] แปลงข้อมูลการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิดและความงอกโดยวิธี arcsin ก่อนนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

[4] ตัวเลขในวงเล็บแสดงการเพิ่มขึ้น (+) ของลักษณะต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์

ตารางที่ 2 ความยาวราก ความยาวต้น ความยาวต้นกล้าและเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์คะน้า หลังการไพรม์เมล็ดด้วยนาโนบับเบิลร่วมกับ *Trichoderma asperellum* ที่อัตราแตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

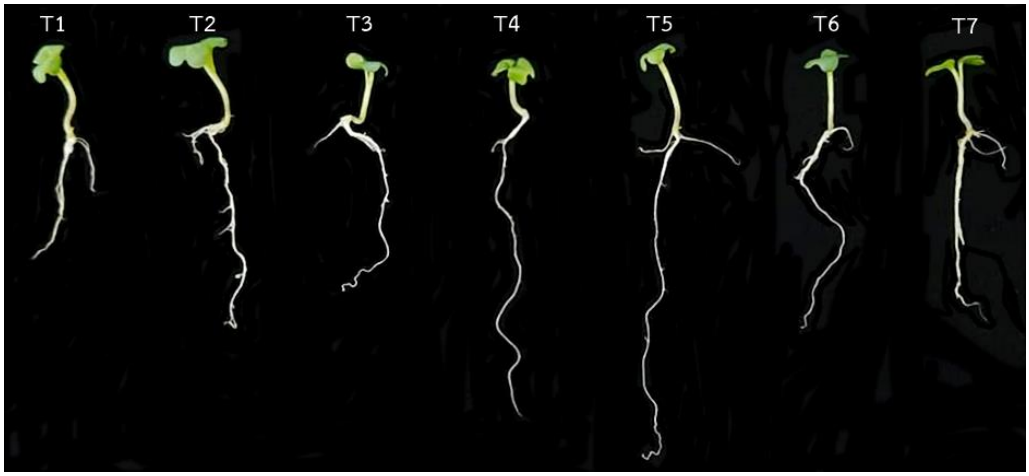
กรรมวิธี[1]	สภาพห้องปฏิบัติการ						
	ความยาวราก (เซนติเมตร)	(%)[3]	ความยาวต้น (เซนติเมตร)	ความยาวต้นกล้า (เซนติเมตร)	(%)	เวลาเฉลี่ยในการงอก (วัน)	(%)
T1	3.09 c[2]		1.97	5.05 c		7.82 ab	
T2	3.97 ab	(+28)	2.25	6.22 ab	(+23)	7.73 ab	(-2)
T3	3.84 ab	(+24)	2.31	6.15 ab	(+22)	7.93 a	(+2)
T4	3.90 ab	(+26)	1.68	5.58 a-c	(+11)	7.43 b	(-5)
T5	4.24 a	(+37)	1.64	5.87 a-c	(+16)	7.46 bc	(-5)
T6	4.27 a	(+38)	2.24	6.50 a	(+29)	7.34 c	(-6)
T7	3.23 c	(+5)	1.89	5.12 c	(+2)	7.60 a-c	(-3)
T8	3.53 bc	(+14)	1.72	5.25 bc	(+4)	7.49 bc	(-4)
F-test	**		ns	**		**	
CV.(%)	11.35		22.57	11.31		5.72	

ns, **: ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติและ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ P≤0.01 ตามลำดับ

[1] T1 = เมล็ดเปล่า, T2 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำกลั่น/เมล็ด 8 กรัม, T3 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิล/เมล็ด 8 กรัม, T4 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.1 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T5 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T6 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T7 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T8 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 2.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม

[2] อักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ P≤0.05

[3] ตัวเลขในวงเล็บแสดงการเพิ่มขึ้น (+) และลดลง (-) ของลักษณะต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์



ภาพที่ 1 ต้นกล้าของคะน้า หลังผ่านการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำไมโครนาโนบับเบิลร่วมกับ *Trichoderma asperellum* ที่อัตราแตกต่างกันเมื่อผ่านการตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ ที่อายุต้นกล้า 10 วันหลังเพาะ โดยมีวิธีการทดลองดังนี้ T1 = เมล็ดเปล่า, T2 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำกลั่น/เมล็ด 8 กรัม, T3 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิล/เมล็ด 8 กรัม, T4 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.1 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T5 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T6 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T7 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T8 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 2.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม

การโผล่พ้นดินและความงอกของเมล็ดพันธุ์คะน้าหลังการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำไมโครนาโนบับเบิลร่วมกับ Trichoderma asperellum เมื่อตรวจสอบในสภาพเรือนทดลอง

เมื่อตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์คะน้าหลังการตรวจสอบในสภาพเรือนทดลองพบว่า การไพรม์เมล็ดทุกกรรมวิธีมีการโผล่พ้นดินและความเร็วในการโผล่พ้นดินไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ แต่เมื่อพิจารณาความงอกและความเร็วในการงอกพบว่า ทุกกรรมวิธีมีความงอกและความเร็วในการงอกสูงมากกว่าการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.5 และ 2.0 กรัม แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติกับการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.1 กรัม (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์การโผล่พ้นดิน ความเร็วในการโผล่พ้นดิน เปอร์เซ็นต์ความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์คะน้า หลังการไพรม์เมล็ดด้วยนาโนบับเบิลร่วมกับ *Trichoderma asperellum* ที่อัตราแตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบในสภาพเรือนทดลอง

กรรมวิธี[1]	สภาพเรือนทดลอง					
	การโผล่พ้นดิน (%)	ความเร็วในการโผล่พ้นดิน (ต้น/วัน)	ความงอก (%)	(%)[4]	ความเร็วในการงอก (ต้น/วัน)	(%)
T1	39[3]	10.21	61 a[2]		11.94 a	
T2	45	11.65	62 a	(+2)	11.82 a	(-1)
T3	51	12.71	59 a	(-3)	11.46 a	(-4)
T4	48	12.60	52 ab	(-14)	10.13 ab	(-15)
T5	39	10.56	41 b	(-32)	8.02 b	(-32)
T6	41	10.98	60 a	(-3)	11.33 a	(-5)
T7	45	11.79	63 a	(+3)	12.13 a	(+2)
T8	38	10.65	41 b	(-32)	7.93 b	(-33)
F-test	ns	ns	*		*	
CV.(%)	15.55	21.64	14.48		19.58	

ns, *: ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติและ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ P≤0.05 ตามลำดับ

[1] T1 = เมล็ดเปล่า, T2 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำกลั่น/เมล็ด 8 กรัม, T3 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิล/เมล็ด 8 กรัม, T4 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.1 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T5 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T6 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T7 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T8 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 2.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม

[2] อักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ P≤0.05

[3] แปลงข้อมูลการโผล่พ้นดินและความงอกโดยวิธี arcsin ก่อนนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

[4] ตัวเลขในวงเล็บแสดงการเพิ่มขึ้น (+) และลดลง (-) ของลักษณะต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์

การเปลี่ยนแปลงด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้าหลังการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำไมโครนาโนบับเบิลร่วมกับ Trichoderma asperellum เมื่อตรวจสอบในสภาพเรือนทดลอง

เมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้าพบว่า การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม ทำให้ต้นกล้ามีความยาวต้นสูงมากกว่าการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.1 และ 2.0 กรัม แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ส่วนการตรวจสอบน้ำหนักสดต้นพบว่า เมล็ดไม่ไพรม์ การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำ การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิลเพียงอย่างเดียว และการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม มีน้ำหนักสดต้นสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างกันกับการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.5 กรัม ส่วนการตรวจสอบเวลาเฉลี่ยในการงอกพบว่า การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0, 1.5

และ 2.0 กรัม มีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วมากกว่าการไพรม์เมล็ดวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างกันกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ความยาวต้น น้ำหนักสดต้น และเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์คะน้า หลังการไพรม์เมล็ดด้วยนาโนบับเบิลร่วมกับ *Trichoderma asperellum* ที่อัตราแตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบในสภาพเรือนทดลอง

กรรมวิธี[1]	สภาพเรือนทดลอง					
	ความยาวต้น (เซนติเมตร)	(%)[3]	น้ำหนักสดต้น (กรัม)	(%)	เวลาเฉลี่ยในการงอก (วัน)	(%)
T1	2.44 ab[2]		0.92 a		4.57 ab	
T2	2.46 ab	(+1)	0.90 a	(-2)	4.65 a	(+2)
T3	2.43 ab	(+1)	0.92 a	(0)	4.70 a	(+3)
T4	2.30 bc	(-6)	0.75 b	(-18)	4.68 a	(+2)
T5	2.39 ab	(-2)	0.78 b	(-15)	4.72 a	(+3)
T6	2.53 a	(+4)	0.93 a	(+1)	4.48 b	(-2)
T7	2.42 ab	(-1)	0.81 ab	(-12)	4.50 b	(-2)
T8	2.13 c	(-13)	0.70 b	(-24)	4.49 b	(-2)
F-test	**		*		*	
CV.(%)	22.28		14.11		4.72	

*, ** : มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ

[1] T1 = เมล็ดเปล่า, T2 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำกลั่น/เมล็ด 8 กรัม, T3 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิล/เมล็ด 8 กรัม, T4 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.1 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T5 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T6 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T7 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T8 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 2.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม

[2] อักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ P≤0.05

[3] ตัวเลขในวงเล็บแสดงการเพิ่มขึ้น (+) และลดลง (-) ของลักษณะต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์

<u>การโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิดและความงอกของเมล็ดพันธุ์คะน้าหลังการเร่งอายุ เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ</u>

หลังการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำไมโครนาโนบับเบิลร่วมกับ *T. asperellum* ที่อัตราแตกต่างกัน จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ในแต่ละวิธีการมาประเมินความแข็งแรงโดยวิธีการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์พบว่า ทุกวิธีการไพรม์เมล็ดทำให้เมล็ดคะน้ามีการงอกราก ความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความงอก และความเร็วในการงอกสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์การโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด เปอร์เซ็นต์ความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์คะน้า หลังการไพรม์เมล็ดด้วยนาโนบับเบิลร่วมกับ *Trichoderma asperellum* ที่อัตราแตกต่างกัน เมื่อผ่านการเร่งอายุและตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธี[1]	สภาพห้องปฏิบัติการ							
	การโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด (%)	(%)[4]	ความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด (ราก/วัน)	(%)	ความงอก (%)	(%)	ความเร็วในการงอก (ต้น/วัน)	(%)
T1	47 b[2, 3]		12.08 b		42 b		7.97 b	
T2	66 a	(+40)	16.57 a	(+37)	62 a	(+48)	11.77 a	(+48)
T3	64 a	(+36)	17.81 a	(+47)	68 a	(+61)	12.17 a	(+53)
T4	69 a	(+46)	19.60 a	(+62)	64 a	(+52)	11.74 a	(+47)
T5	70 a	(+49)	19.29 a	(+60)	62 a	(+48)	11.36 a	(+42)
T6	67 a	(+43)	18.13 a	(+50)	69 a	(+64)	12.36 a	(+55)
T7	74 a	(+57)	21.19 a	(+75)	64 a	(+52)	11.83 a	(+48)
T8	64 a	(+36)	18.00 a	(+49)	58 a	(+38)	10.56 a	(+33)
F-test	*		**		*		*	
CV.(%)	10.94		15.73		14.57		19.38	

*, ** : มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ P≤0.05 และ P≤0.01 ตามลำดับ

[1] T1 = เมล็ดเปล่า, T2 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำกลั่น/เมล็ด 8 กรัม, T3 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิล/เมล็ด 8 กรัม, T4 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.1 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T5 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T6 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T7 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T8 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 2.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม

[2] อักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ P≤0.05

[3] แปลงข้อมูลการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิดและความงอกโดยวิธี arcsin ก่อนนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

[4] ตัวเลขในวงเล็บแสดงการเพิ่มขึ้น (+) ของลักษณะต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์

<u>การเปลี่ยนแปลงด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้าหลังการเร่งอายุ เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ</u>

เมื่อตรวจสอบการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้าหลังการเร่งอายุพบว่า การไพรม์เมล็ดทุกวิธีการไม่ทำให้ความยาวรากและความยาวต้นกล้ามีความแตกต่างกันในทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ แต่การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม มีความยาวต้นสูงมากกว่าวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ นอกจากนี้การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัมยังแสดงให้เห็นว่า ใช้เวลาเฉลี่ยในการงอก สูงกว่าวิธีการอื่น ๆ แต่ยังไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ความยาวราก ความยาวต้น ความยาวต้นกล้า และเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์คะน้า หลังการไพรม์เมล็ดด้วยนาโนบับเบิลร่วมกับ *Trichoderma asperellum* ที่อัตราแตกต่างกัน เมื่อผ่านการเร่งอายุและตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธี[1]	สภาพห้องปฏิบัติการ					
	ความยาวราก (เซนติเมตร)	ความยาวต้น (เซนติเมตร)	(%)[3]	ความยาวต้นกล้า (เซนติเมตร)	เวลาเฉลี่ยในการงอก (วัน)	(%)
T1	3.14	1.81 a-c[2]		4.94	0.48 ab	
T2	3.19	1.84 ab	(+2)	5.03	0.44 b	(-8)
T3	3.19	1.84 ab	(+2)	5.03	0.44 b	(-8)
T4	3.93	1.68 bc	(-7)	5.61	0.49 ab	(+1)
T5	3.53	1.57 c	(-13)	5.11	0.51 ab	(+6)
T6	3.58	1.99 a	(+10)	5.45	0.53 a	(+10)
T7	3.40	1.62 bc	(-10)	5.02	0.45 b	(-6)
T8	3.08	1.87 ab	(+3)	5.07	0.50 ab	(+4)
F-test	ns	*		ns	*	
CV.(%)	17.07	9.17		11.74	9.81	

ns, *: ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติและ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ P≤0.05 ตามลำดับ

[1] T1 = เมล็ดเปล่า, T2 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำกลั่น/เมล็ด 8 กรัม, T3 = การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิล/เมล็ด 8 กรัม, T4 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.1 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T5 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 0.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T6 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T7 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.5 กรัม/เมล็ด 8 กรัม, T8 = การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 2.0 กรัม/เมล็ด 8 กรัม

[2] อักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ P≤0.05

[3] ตัวเลขในวงเล็บแสดงการเพิ่มขึ้น (+) และลดลง (-) ของลักษณะต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์

วิจารณ์ผลการวิจัย

คุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำไมโครนาโนบับเบิลร่วมกับ Trichoderma asperellum

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การไพรม์เมล็ดทุกวิธีการทำให้เมล็ดคะน้ามีแนวโน้มของการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความงอก และความเร็วในการงอก สูงมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ โดยเฉพาะการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 และ 1.5 กรัม ทั้งนี้การไพรม์เมล็ดเป็นการให้ความชื้นกับเมล็ด เมื่อน้ำเข้าสู่ภายในเมล็ดจะช่วยกระตุ้นการทำงานทางชีวเคมีและองค์ประกอบต่าง ๆ ของเมล็ด เช่น ช่วยกระตุ้นให้โปรตีนเปลี่ยนไปเป็นกรดอะมิโน แป้งเปลี่ยนไปเป็นกลูโคส และซูโครส แล้วได้พลังงานออกมา ซึ่งพลังงานเหล่านี้จะถูกใช้ไปในการเคลื่อนย้ายสารอาหารสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการงอกของเมล็ดในลำดับต่อไป (Chanprasert, 2010; Bewley *et al*., 2013; Naenfan & Pagamas, 2020) นอกจากนี้ การเพิ่มออกซิเจนในสารละลายที่ใช้แช่เมล็ดยังช่วยกระตุ้นการหายใจเพื่อย่อยสลายอาหารและได้พลังงานออกมาใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของเซลล์จึงมีผลทำให้พืชมีความงอกดีขึ้น (Davies, 2004) สอดคล้องกับ Sritontip *et al*. (2018) รายงานว่า การแช่เมล็ดพันธุ์คะน้าในน้ำไมโคนาโนบับเบิลสามารถกระตุ้นความงอกของ

เมล็ดพันธุ์ให้สูงขึ้นมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการแช่น้ำ ซึ่ง Naenfan & Pagamas (2020) อธิบายเพิ่มเติมว่า เมื่อน้ำเข้าไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องจนช่วยกระตุ้นการย่อยสลายสารอาหารได้ดี โดยเฉพาะ amylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่ม hydrolysis และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของการเปลี่ยนจากแป้งไปเป็นน้ำตาล โดยไฮโดรไลซ์พันธะ 1-4 glycosidic linkage ในโมเลกุลของแป้งให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง ทำหน้าที่ย่อยพันธะไกลโคซิดิกได้ทั้งแบบ α-1,4 และ α-1,6 linkage ทำให้ได้เป็นเดกซ์ทริน และน้ำตาลประเภทไดแซ็กคาไรด์ เช่น มอลโทส และมอโนแซ็กคาไรด์ เช่น กลูโคสที่มีส่วนช่วยยกระดับกระบวนการหายใจและสร้างพลังงานสำหรับใช้ในกระบวนการงอกของเมล็ดเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม (Fogarty, 1983; Davies, 2004; Naenfan & Pagamas, 2020)

นอกจากนี้การใช้ *T. asperellum* ที่ความเข้มข้น 1.0 กรัม ยังแสดงให้เห็นว่ามีการส่งเสริมคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพิ่มสูงขึ้น โดยเชื้อราไตรโคเดอร์ม่าสามารถสร้างฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน Gibberellins (GA) ที่ช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดได้ (Marois & Locke, 1985) ซึ่งจิบเบอเรลลินมีบทบาทสำคัญต่อการทำลายการพักตัวของเมล็ด การขยายตัวของเซลล์เอ็มบริโอ และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดเพื่อกระตุ้นการงอก (Liu *et al*., 2005; Hentrich *et al*., 2013 Hansuri & Siri, 2018) โดยเฉพาะ α-amylase (Davies, 2004) ดังนั้น การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 และ 1.5 กรัม แสดงให้เห็นชัดว่ามีผลส่งเสริมทำให้เมล็ดมีการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความงอก และความเร็วในการงอกเพิ่มสูงขึ้น 8 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิดเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ ส่วนการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* และตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่าต้นกล้ามีพัฒนาการของรากเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 37 และ 38 เปอร์เซ็นต์เมื่อไพรม์ด้วยอัตรา 0.5 และ 1.0 กรัม โดย Saba *et al*. (2012) รายงานว่า *Trichoderma* เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญทำให้รากพืชมีความยาวมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งการเพิ่มปริมาณรากและส่งเสริมให้รากของพืชมีความยาวมากขึ้น นอกจากนี้ Maeda *et al*. (2015) ยังพบว่า *Trichoderma* สามารถย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนให้เป็นไนโตรเจนในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อการกระตุ้นเอนไซม์และควบคุมปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืช โดยมีช่วยส่งเสริมให้ต้นกล้ามีการยืดขยายของเซลล์ได้ดี โดยเฉพาะการเพิ่มความแข็งแรงของเยื่อหุ้มเซลล์มากขึ้น (Lawlor, 2002) ซึ่งจากผลการทดลองเห็นได้ชัดว่าการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* ทำให้ความยาวต้นกล้ามีความยาวมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ 29 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในสารละลายนาโนบับเบิลในมีส่วนช่วยเผาผลาญน้ำตาลเพื่อให้ได้พลังงานมากขึ้น ทำให้เมล็ดมีความเร็วในการงอกเพิ่มสูงขึ้น (Davies, 2004) จึงช่วยส่งเสริมให้เมล็ดคะน้ามีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ที่ 6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม

ส่วนการทดสอบในสภาพเรือนทดลองพบว่า ในระยะการงอกของเมล็ด 1-3 วัน การไพรม์เมล็ดทุกวิธีการไม่ทำให้การโผล่พ้นดินและความเร็วในการโผล่พ้นดินมีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ อีกทั้งการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำ การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิล และการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 และ 1.5 กรัม ไม่ทำให้เมล็ดมีความงอกแตกต่างจากเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ ซึ่งทั้ง 4 กรรมวิธีการดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าวิธีการไพรม์เมล็ดไม่ได้ทำให้คุณภาพความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์คะน้าลดลงแม้อยู่ภายใต้สภาพเรือนทดลองที่ไม่สามารถควบคุมปัจจัยสภาพแวดล้อมได้ เช่น ความชื้น แสง และอุณหภูมิ เป็นต้น อย่างไรก็ตามถึงแม้ความงอกและความแข็งแรงที่

ตรวจสอบจะไม่พบความความแตกต่างกันในกรรมวิธีดังกล่าวแต่จะพบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้นในด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้า ซึ่งเมื่อผ่านไป 10 วันหลังเพาะ แล้วตรวจสอบการเจริญเติบโตของต้นกล้าพบว่า การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม มีแนวโน้มของความยาวต้นและน้ำหนักสดต้นสูงกว่าวิธีการอื่น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปเมล็ดสามารถงอกได้เมื่อในสภาพบรรยากาศมีออกซิเจนประมาณร้อยละ 20 (Naenfan & Pagamas, 2020) ดังนั้น วิธีการไพรม์เมล็ดด้วยนาโนบับเบิลโดยการเพิ่มปริมาณออกซิเจนคือ 18.47 มิลลิกรัม/ลิตร ให้กับเมล็ดในขณะที่แช่อยู่ในสารละลาย จึงทำให้เมล็ดนำออกซิเจนไปใช้ในการหายใจเพื่อย่อยสลายอาหารและได้พลังงานออกมาใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของเซลล์ นอกจากนี้ การใช้ *T. asperellum* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถผลิต phytohormone จำพวก Gibberellins (GA) โดยมีคุณสมบัติสามารถควบคุมการเจริญเติบโตทางด้านการขยายขนาด และการยืดตัวของเซลล์ได้ ผ่านการกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ α-amylase ในกระบวนการย่อยสลายแป้งให้เป็นน้ำตาลสำหรับเอ็มบริโอใช้ในการเจริญเติบโตของลำต้นและรากในระยะต้นกล้าได้ (Appleford & Lenton, 1997; Yamaguchi, 2008; Kumlay & Eryigit, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับการรายของ Asaduzzaman *et al*. (2010) และ Bal & Altintas (2012) การใช้ *T. harzianum, T. viride* และ *T. pseudokoningi* ในเมล็ดพริกหวานและพริกขี้หนู สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้เพิ่มสูงขึ้นจากเดิม

คุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการเร่งอายุ

หลังจากการประเมินความแข็งแรงของเมล็ดโดยวิธีการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์แสดงให้เห็นว่า เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ ทุกวิธีการไพรม์เมล็ดพันธุ์ทำให้การโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ดคะน้ามีความแตกต่างกันกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์อย่างชัดเจน ซึ่งเห็นได้ชัดว่าการเตรียมความพร้อมให้กับเมล็ดสามารถเพิ่มศักยภาพความแข็งแรงให้กับเมล็ดพันธุ์คะน้าได้ โดยปัจจัยทั้งหมดเกิดจากการช่วยให้เมล็ดมีพลังงานพร้อมใช้สำหรับการงอก (Davies, 2004; Chanprasert, 2010; Bewley *et al*., 2013) โดยผ่านวิธีการไพรม์ด้วยน้ำนาโนบับเบิล อีกทั้งเป็นการไพรม์ร่วมกับสารละลายที่มี *T. asperellum* ร่วมอยู่ด้วย เมื่อนำเมล็ดไปเพาะปลูกอีกครั้งจะทำให้เมล็ดสามารถงอกได้เร็ว สม่ำเสมอ และมีสารออกฤทธิ์ที่มีคุณสมบัติช่วยส่งเสริมความงอกและความแข็งแรงให้กับเมล็ดได้ ดังนั้นเมล็ดที่ผ่านการไพรม์ทุกวิธีการ เมื่อถูกนำไปเร่งอายุแล้วนำมาเพาะทดสอบอีกครั้ง ยังคงแสดงให้เห็นว่า เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพดีกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์อย่างชัดเจน นอกจากนี้ การไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* ยังช่วยส่งเสริมการงอกโดยการผลิตฮอร์โมน (Marois & Locke, 1985) อีกทั้งมีรายงานว่า *Trichoderma* ในหลายสายพันธุ์สามารถผลิตวิตามินที่จำเป็นต่อการงอก เพิ่มการดูดซึมของราก ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายสารอาหาร เร่งการพัฒนารากและลำต้นที่เพิ่มขึ้น และเพิ่มอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต การสังเคราะห์แสง และส่งเสริมกลไกการป้องกันพืชได้ดีจากเชื้อก่อโรคในพืช (Kleifeld & Chet, 1992; Inbar *et al*., 1994; Harman *et al*., 2004; Harman, 2006) จากคุณสมบัติดังกล่าวพบว่า การเปลี่ยนแปลงของความยาวต้นของต้นกล้าที่มีความยาวต้นเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผ่านการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* 1.0 กรัม และทำให้เมล็ดมีความงอกดีเพิ่มขึ้น 6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผ่านการไพรม์เมล็ดด้วย *T. asperellum* 1.5 กรัม ถึงแม้เมล็ดพันธุ์จะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมโดยวิธีการเร่งอายุ แต่เมล็ดคะน้ายังคงมีความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เพิ่มสูงขึ้นจากเดิม

สรุปผลการวิจัย

การไพรม์เมล็ดคะน้าด้วยน้ำนาโนบับเบิลร่วมกับ *T. asperellum* ในอัตราที่แตกต่างกัน และตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยวิธีการเร่งอายุสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิลร่วมกับ *T. asperellum* อัตรา 1.0 กรัม ทำให้เมล็ดมีความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด และความงอก สูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์และการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำ เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

2. หลังการเร่งอายุ การไพรม์เมล็ดด้วยน้ำนาโนบับเบิลทุกวิธีการ ทำให้เมล็ดมีการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความเร็วในการโผล่พ้นเมล็ดของรากแรกเกิด ความงอก และความเร็วในการงอก สูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติกับการไพรม์เมล็ดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

Amin, F., Razdan, V.K., Mohiddin, F.A., Bhat, K.A., & Sheikh, P.A. (2010). Effect of volatile metabolites of *Thichoderma* species against seven fungal plant pathogens in-vitro, *Journal of Phytology*, *2*(10), 34-37.

Appleford, N.E.J., & Lenton, J.R. (1997). Hormonal regulation of a-amylase gene expression in germinating wheat (*Triticum aestivum*) grains. *Physiologia Plantarum, 100*, 534-542.

Asaduzzaman, M., Alam, M.J., & Islam, M.M. (2010). Effect of *Trichoderma* on seed germination and seedling parameters of chili. *Journal of Science Foundation, 8*(1-2), 141-50.

Baki, A., & Anderson, J.D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science, 13*(6), 630-633.

Bal, U., & Altintas, S. (2012). Application of the antagonistic fungus *Trichoderma harzianum* (TrichoFlow WP(tm)) to root zone increases yield of bell peppers grown in soil. *Biological Agriculture & Horticulture, 24*(2), 149-63.

Bewley, J.D., Bradford, K.J. Hilhorst, H.W.M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*, 3rd Edition. New York: Springer.

Buato, N., & Chunnasit, B. (2016). Influence of Solar Radiation on the growth of Chinese kale within Polypropylene (PP, Spunbond) house. *Songklanakarin Journal of Plant Science, 3*(Suppl.3), 67-73.

Chanprasert, W. (2010). *Seed Physiology*. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Chet, E.Y., & Katan, J. (1980). *Trichoderma harzianum*: A biocontrol agent effective against *Sclerotium rolfsii* and *Rhizocionia solani*, *Phytopathology, 70*, 119-121.

Davies, P. J. (2004). *A. Introduction: the plant hormones: their nature, occurrence and functions*. New York: Plant Hormones Biosynthesis.

Ellis, R.A., & Roberts, E.H. (1980). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, *9*(2), 373-409.

Fogarty, W.M. (1983). Microbial amylases. In W.M. Fogarty. (Ed.), *Microbial Enzyme and Biotech*, (pp. 1-90) London: Applied Science Publishers.

Hansuri, J., & Siri, B. (2018). Effects of seed coating with mixed plant hormones for seed qualities enhancement of hybrid cucumber. *Khon Kaen Agriculture Journal, 46*(3), 507-516.

Harman, G.E. (2006). Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology, 96*(2), 190–194.

Harman, G.E., Petzoldt, R., Comis, A., & Chen, J. (2004). Interactions between *Trichoderma harzianum* strain T22 and maize inbred line Mo17 and effects of these interactions on diseases caused by *Pythium ultimum* and *Colletotrichum graminicola*. *Phytopathology, 94*(2), 147–153.

Hentrich, M., Boettcher, C., & Duchting, P. (2013). The jasmonic acid signaling pathway is linked to auxin homeostasis through the modulation of YUCCA8 and YUCCA9 gene expression. *Plant Journal, 74*, 626-637.

Inbar, J., Abramsky, M., Cohen, D., & Chet, I. (1994). Plant-growth enhancement and disease-control by *Trichoderma harzianum* in vegetable seedlings grown under commercial conditions. *European Journal of Plant Pathology, 100*(5), 337–346.

ISTA. (2017). *International Rules for Seed Testing*, Edition 2017. Bassersdorf: International Seed Testing Association.

Jeephet, P., Kangsopa, J., & Atnaseo, C. (2020). Effect of seed pelleting with microbial inoculant MMO1 and MMO2 on germination and seedling growth of kale (*Brassica alboglabra*). In *Proceeding the 17th National Kasetsart University Kamphaeng Sean Conference*, (pp. 260-268.). Thailand: Nakhon Pathom. (in Thai)

Kaveh, H., Jartoodeh, S.V., Aruee, H., & Mazhabi, M. (2011). Would *trichoderma* affect seed germination and seedling quality of two muskmelon cultivars, Khatooni and Qasri and increase their transplanting Lawlor success. *Journal of Environmental Sciences, 5*(15), 169-175.

Kleifeld, O., & Chet, I. (1992). *Trichoderma harzianum*: interaction with plants and effect on growth-response. *Plant Soil*, *144*(2), 267–272.

Kumlay, A.M., & Eryigit, T. (2011). Growth and development regulators in plants: plant hormones. *Igdir University Journal of the Institute of Science and Technology, 1*, 47–56.

Lawlor, D.W. (2002). Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany, 89*(7), 871-885.

Liu, P.P., Koizuka, N., Homrichhausen, T.M., Hewitt, J.R., Martin, R.C., & Nonogaki, H. (2005). Large-scale screening of Arabidopsis enhancer-trap lines for seed germination-associated genes. *Plant Journal, 41*, 936-944.

Maeda, K., Spor, A., Edel-Hermann, V., Heraud, C., Breuil, M.C., Bizouard, F., Toyoda, S., Yoshida, N., Steinberg, C., & Philippot, L. (2015). N_2O production, a widespread trait in fungi. *Scientific Reports*, *5*, 9697.

Maketon, M. (2004). Efficacies of *Trichoderma harzianum rifai* (AP-001) for controlling root and stem rot in chili caused by *sclerotium rolfsii Sacc*. in farmer's plantation. *KU Science Journal (Thailand), 22*(2-3), 49-56. (in Thai)

Marois, J., & Locke, J. (1985). Population dynamics of *Trichoderma viride* in steamed plant growth medium, *Phytopathology, 75*(1), 115-118.

Mcdonald, M.B. (2000). Seed priming. In M. Black, & J.D. Bewley. (Eds.), *Seed Technology and Its Biology Basis*. (pp. 287-326). Sheffield: Sheffield Academic Press.

Naenfan, S., & Pagamas, P. (2020). Effect of nano-bubble priming on seed germination and seedling growth of France marigold. *Khon Kaen Agriculture Journal, 48*(3), 515-526. (in Thai)

Ortorkor. (2021). *Fresh food*. Retrieved September 1, 2021, from http://www.ortorkor.com/view?pid=161308.

Saba, H., Vibhash, D., Manisha. M., Prashant, K.S., Farhan, H., & Tauseef, A. (2012). *Trichoderma* - a promising plant growth stimulator and biocontrol agent. *Mycosphere, 3*(4), 524-31.

Siri, B. (2015). Seed *Conditioning and Seed Enhancements*. Khon Kaen: Klangnanavitthaya Press. (in Thai)

Sritontip, C., Phonsaeng, W., Thonglek, V., Dechthummarong, C., & Yoshikawa, K. (2018). The application of micro/nano bubbles to seed germination and seedling growth of chinese kale. *Agricultural Science Journal, 49*(Suppl.), 37-41. (in Thai)

Subnugarn, S. (2017). Effects of optimum concentration and duration for seed soaking with wood vinegar on seed germination and growth of chinese kale. *Rajabhat Agriculture Journal, 16*(2), 53-60. (in Thai)

Taylor, A.G., Allen, P.S., Bennett, M.A., Bradford, K.J., Burris, J.S., & Misra, M.K. (1998). Seed enhancements. *Seed Science Research, 8*, 245–256.

The Office of Agricultural Regulation. (2020). *Quantity and Export Values of Seed Controlled*. Retrieved June 25, 2021, from https://bit.ly/3x4lwXG. (in Thai)

Yamaguchi, S. (2008). Gibberellin metabolism and its regulation. *Annual Review of Plant Biology, 59*, 225–251.