

ผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายเกลือ KNO_3 และ CaCl_2

ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว

The Effect of Halopriming with KNO_3 and CaCl_2 Solutions on Seed Germination and Vigor of Chinese Mustard

พิจิตรา แก้วสอน^{1,*} ปิยรัตน์ รุจิณรงค์² และรศกศักดิ์ เสริมศักดิ์³

Pichittra Kaewsorn^{1,*}, Piyarat Ruchinarong² and Raksak Sermsak²

¹ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

²กองวิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

³ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

²Seed Research and Development Division, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand 10900

³Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

*Corresponding author: pichittra.k@ku.th

Received: May 15, 2025

Revised: August 14, 2025

Accepted: August 27, 2025

Abstract

Imported Chinese mustard seeds may exhibit secondary seed dormancy due to unsuitable environmental conditions during transportation or storage, such as high temperatures, leading to high seed dormancy (64.00%) and low germination (32.50%). Therefore, this research investigated seed enhancement through seed priming using KNO_3 and CaCl_2 solutions. A completely randomized design was used, comprising six treatments: non-primed seeds (control), seed priming with reverse osmosis water (hydropriming), and priming with 0.5 and 1.0% KNO_3 or CaCl_2 solution. Seeds were soaked for 6 hours at $20 \pm 2^\circ\text{C}$, after which the moisture content of the seeds was reduced to approximately 7%, which approximated the initial moisture content. The results showed that seed priming of Chinese mustard with 1.0% KNO_3 solution resulted in the highest percentages of radicle emergence and germination of 95.50 and 93.50%, respectively, when compared with non-primed seeds (32.50 and 31.00%, respectively). Moreover, the primed seeds with 1.0% KNO_3 solution were highly vigorous, which had the time to reach 50% radicle emergence (0.60 days), days to emergence (1.21 days), time to reach 50% germination (2.78 days) and mean germination time (3.62 days). These times were faster than those of non-primed seeds (1.84, 2.76, 4.08 and 4.76 days, respectively). In conclusion, priming Chinese mustard seeds with 1.0% KNO_3 solution for 6 hours at $20 \pm 2^\circ\text{C}$ is the best method as it resulted in the highest radicle emergence, germination and speed of germination.

Keywords: seed enhancement, seed dormancy, low germination, speed of germination, seed vigor

บทคัดย่อ

เมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศพบปัญหาการพักตัวแบบทุติยภูมิเป็นเวลานาน 1 ปี เนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมในระหว่างการขนส่งหรือการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เมล็ดพักตัวสูง (64.00%) และมีความงอกต่ำ (32.50%) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการกระตุ้นการงอกด้วยการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ โดยใช้สารละลาย KNO_3 และ CaCl_2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 6 ทรีตเมนต์ ได้แก่ เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ reverse osmosis (hydropriming) สารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% สารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% เป็นเวลา 6 ชม. ที่อุณหภูมิ $20 \pm 2^\circ\text{C}$ จากนั้นลดความชื้นของเมล็ดลงใกล้เคียงกับความชื้นเริ่มต้นประมาณ 7% ผลการทดลองพบว่า การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1.0% ทำให้เมล็ดมีรากงอกและมีความงอกสูงที่สุด คือ 95.50 และ 93.50% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (32.50 และ 31.00% ตามลำดับ) นอกจากนี้ เมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1.0% ยังมีความแข็งแรงสูง โดยเมล็ดใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% (0.60 วัน) มีจำนวนวันที่มีรากงอก (1.21 วัน) ใช้เวลาในการงอกถึง 50% (2.78 วัน) และมีเวลาเฉลี่ยในการงอก (3.62 วัน) ซึ่งเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (1.84, 2.76, 4.08 และ 4.76 วัน ตามลำดับ) ดังนั้น การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1.0% เป็นเวลา 6 ชม. ที่อุณหภูมิ $20 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นวิธีการที่ดีที่สุด เพราะเมล็ดมีรากงอกและความงอกสูงที่สุด อีกทั้งยังงอกรากและพัฒนาเป็นต้นอ่อนปกติได้เร็วที่สุด

คำสำคัญ: การกระตุ้นการงอก เมล็ดพักตัว ความงอกต่ำ ความเร็วในการงอก ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

คำนำ

ผักกาดเขียว (Chinese mustard) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica juncea* (L.) Czernjaew อยู่ในวงศ์ Brassicaceae (Openka, 1993) คนไทยนิยมบริโภคผักกาดเขียว และประเทศไทยมีการนำเข้าเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวในปี พ.ศ. 2567 ปริมาณ 1.66 แสนกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 21.09 ล้านบาท (Agricultural Regulatory Office, 2024a) โดยส่วนใหญ่นำเข้าเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวมาจากประเทศนิวซีแลนด์ปริมาณ 1.53 แสนกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 15.51 ล้านบาท (Agricultural Regulatory Office, 2024b) เมล็ดผักกาดเขียวจัดเป็นเมล็ดพันธุ์ควบคุมตามพระราชบัญญัติพันธุ์พืช โดยต้องมีความงอกไม่ต่ำกว่า 70% และมีความบริสุทธิ์ทางกายภาพไม่ต่ำกว่า 98% หากคุณภาพเมล็ดพันธุ์ต่ำกว่าที่กฎหมายกำหนดไม่สามารถจำหน่ายได้ (The Secretariat of the Cabinet, 2013) ในระหว่างการขนส่งเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวจากต่างประเทศจนถึงประเทศปลายทางอาจเกิดการพักตัวของเมล็ดแบบทุติยภูมิ (secondary dormancy) ซึ่งเมล็ดผักกาดเขียวมีขนาดเล็กและมีองค์ประกอบเป็นน้ำมันประมาณ 35% (Thomas *et al.*, 2004) โดยเมล็ดอาจได้รับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในระหว่างการขนส่งหรือการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ซึ่งเมล็ดพันธุ์พืชในวงศ์ Brassicaceae ส่วนใหญ่ไม่มีการพักตัวแบบปฐมภูมิ (primary dormancy) แต่อาจพบการพักตัวเพียงเล็กน้อยในพันธุ์ป่า (wild species) หรือเมล็ดอาจเกิดการพักตัวแบบทุติยภูมิ เนื่องจากได้รับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Awan *et al.*, 2018) ดังนั้น เมล็ดพันธุ์พืชในวงศ์ Brassicaceae ควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $4-5^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (Baskin and Baskin, 2020)

การกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์มีหลายวิธี เช่น การแช่เมล็ดในน้ำหรือสารเคมีในระยะเวลาที่เหมาะสม (McDonald, 2000) ซึ่งวิธีการดังกล่าวจำเป็นต้องนำเมล็ดไปเพาะปลูกทันที ไม่ควรเก็บรักษาเนื่องจากเมล็ดได้รับความชื้นมากเพียงพอจนบางครั้งเมล็ดมีรากปรากฏแล้ว อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้วิธีการกระตุ้นการงอกโดยทำให้เมล็ดแห้งเพื่อเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน ๆ มีความเหมาะสมในทางธุรกิจ เนื่องจากสะดวกในการบรรจุเมล็ดในภาชนะ การขนส่ง การวางจำหน่าย และรอการนำไปปลูกต่อไป ดังนั้น การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (seed priming) จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ยิยมในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเมล็ดพันธุ์เพื่อให้เมล็ดงอกได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ (Verma and Mathur, 2022) โดยเป็นการทำให้เมล็ดดูดน้ำอย่างยาวนานและเพียงพอในระยะที่ 2 หรือระยะงัน (lag phase) เพื่อให้เกิดกระบวนการทางเมแทบอลิซึมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการงอก แต่ยังไม่ทำให้รากปรากฏด้วยการลดความชื้นของเมล็ดลงเท่ากับความชื้นเริ่มต้น (MacDonald and Mohan, 2025)

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีหลายวิธี เช่น 1) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (hydropriming) เป็นการแช่เมล็ดในน้ำสะอาดหรือน้ำบริสุทธิ์ในระยะเวลาที่เหมาะสม 2) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายเกลือ (halopriming) เป็นการแช่เมล็ดในสารละลายเกลืออนินทรีย์ เช่น โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ซึ่งเป็นสารส่งเสริมการงอกและสารละลายมีค่าชลศัลยต่ำ เมล็ดจึงดูดน้ำอย่างช้า ๆ (MacDonald and Mohan, 2025) โดย KNO_3 เป็นสารเคมีที่ช่วยทำลายการพักตัวของเมล็ดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย (Nakorn and Kaewsorn, 2021) โดยเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวได้ K^+ และ NO_3^- ซึ่ง NO_3^- ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนในกระบวนการหายใจ จึงทำให้เมล็ดมีการหายใจที่เพิ่มขึ้น (McIntyre *et al.*, 1996; Lara *et al.*, 2014) รวมถึงช่วยในการดูดซึมออกซิเจนในกระบวนการหายใจและกระบวนการย่อยสลายสารอาหารภายในเมล็ด (Hilton and Thomas,

1986) ส่วน CaCl_2 เป็นสารส่งเสริมการงอก โดยเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็น Ca^{2+} ที่สามารถปรับสมดุลความดันออสโมติก (osmotic pressure) ทำให้มีผลต่อกระบวนการดูดน้ำ อีกทั้งมี Ca เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสำคัญต่อเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ และเป็น co-factor ของเอนไซม์ α -amylase ที่มีส่วนช่วยในการย่อยแป้งที่สะสมอยู่ในเอนโดสเปิร์มจากโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก (Reina and Pascual, 2001; Reina *et al.*, 2001; Kirossassefa *et al.*, 2010) มีรายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ฝักกาดเขียว ‘Sangam’ ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 12 ชม. (Kumar and Rai, 2021) และการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ฝักกาดเขียว ‘Sangam’ ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1.0% เป็นเวลา 4 ชม. ทำให้เมล็ดมีความงอกในสภาพแปลงสูงกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและเมล็ดที่ไม่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ตามลำดับ (Suresh *et al.*, 2025) แสดงให้เห็นว่าเมล็ดพันธุ์ชนิดเดียวกันและพันธุ์เดียวกัน แต่การตอบสนองต่อวิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ประวัติเมล็ดพันธุ์ คุณภาพเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์ (MacDonald and Mohan, 2025)

นอกจากนี้ มีรายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ฝักกาดเขียว ‘TM-2’ ในสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 18 ชม. ที่อุณหภูมิ 25°C ทำให้เมล็ดมีเปอร์เซ็นต์รากงอกสูงและงอกรากได้เร็ว (Srivastava *et al.*, 2010) เมล็ดพันธุ์ฝักกาดเขียวลือตที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเมล็ดพันธุ์นำเข้าจากประเทศนิวซีแลนด์และขนส่งทางเรือเมื่อ พ.ศ. 2567 โดยเมล็ดถูกบรรจุในกระสอบพลาสติกและใส่ในตู้คอนเทนเนอร์ที่ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ พบว่ามีการพักตัวเป็นเวลานานประมาณ 1 ปีจนกระทั่งถึงปัจจุบัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 และ CaCl_2 ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เพื่อให้เมล็ดงอกได้สูงอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ

อุปกรณ์และวิธีการ

เมล็ดพันธุ์ฝักกาดเขียว

เมล็ดพันธุ์ฝักกาดเขียวพันธุ์ NO. 2 ถูกรวบรวมและนำเข้าจากประเทศนิวซีแลนด์ได้ทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 โดยเมล็ดหนัก 0.26 กรัม/1,000 เมล็ด ความชื้น 7% ความงอก 65% เมล็ดสด 34% และต้นอ่อนผิดปกติ 1% เมล็ดพันธุ์ถูกสุ่มตัวอย่างและเก็บรักษาในถุงซิปลาสติกหนาปิดสนิทที่อุณหภูมิห้อง $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ปี เมล็ดมีความงอกลดลงจาก 65% เป็น 31% และมีเมล็ดสดเพิ่มขึ้นจาก 34% เป็น 64% มีต้นอ่อนผิดปกติ 4% และเมล็ดตาย 1% (ทดสอบเมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2568)

วิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์

นำเมล็ดพันธุ์ฝักกาดเขียวมาเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์โดยการแช่เมล็ดในน้ำ Reverse Osmosis (RO) สารละลาย KNO_3 (ความบริสุทธิ์ 99.00-100.50% น้ำหนักโมเลกุล 101.10 บริษัท HIMEDIA จำกัด ประเทศอินเดีย) ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% สารละลาย CaCl_2 (ความบริสุทธิ์ ≥ 93.0 น้ำหนักโมเลกุล 110.98 บริษัท Sigma-Aldrich จำกัด ประเทศเม็กซิโก) ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% เป็นเวลา 6 ชม. ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ จากนั้นล้างเมล็ดผ่านน้ำ RO ให้สะอาด ซับเมล็ดให้แห้งด้วยกระดาษซับ จากนั้นลดความชื้นของเมล็ดลงใกล้เคียงกับความชื้นเริ่มต้นประมาณ 7% ในตู้ดูดความชื้นไฟฟ้า (รุ่น Dry-60, ยี่ห้อ Weifo) ที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $40 \pm 5\%$ เป็นเวลา 48 ชม. ทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) มี 6 ทรีตเมนต์ ได้แก่ เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) การเตรียมพร้อม

เมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ สารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% และสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด

การบันทึกข้อมูล

นำเมล็ดพันธุ์ฝักกาดเขียวที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มาทดสอบความงอกมาตรฐานในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยเพาะเมล็ดบนกระดาษสำหรับการทดสอบความงอกชนิดม้วน รุ่น K-1 ของบริษัท เคียนหวง (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ด้วยวิธี Top of Paper (TP) ในตู้ควบคุมอุณหภูมิสถับ $20 \leftrightarrow 30^{\circ}\text{C}$ โดยที่อุณหภูมิ 20°C ในสภาพมืด เป็นเวลา 16 ชม. และที่อุณหภูมิ 30°C ในสภาพมีแสง เป็นเวลา 8 ชม. เป็นเวลา 7 วันหลังเพาะเมล็ด (International Seed Testing Association, 2025) ประเมินความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่

1) เมล็ดมีรากงอก (Radicule Emergence; RE) นับเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มม. ทุกวัน เป็นเวลา 7 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตร

$$\text{เมล็ดมีรากงอก (\%)} = (\text{จำนวนเมล็ดที่มีรากงอก} \times 100) \div \text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}$$

2) ความงอก (germination) ประเมินความงอกของเมล็ดฝักกาดเขียวโดยนับครั้งแรก (first count) และนับครั้งสุดท้าย (final count) ที่ 5 และ 7 วันหลังเพาะเมล็ด ตามลำดับ ได้แก่ ต้นอ่อนปกติ ต้นอ่อนผิดปกติ เมล็ดสด และเมล็ดตาย (International Seed Testing Association, 2025)

3) เวลาที่ใช้ในการงอกรากถึง 50% (time to reach 50% radicle emergence; T_{50RE}) นับเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มม. ทุกวัน เป็นเวลา 7 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตรที่ดัดแปลงจาก Coolbear *et al.* (1984)

$$T_{50RE} (\text{วัน}) = t_i + [(((N + 1) \div 2) - n_i) \div (n_j - n_i)] \times (t_j - t_i)$$

โดย t_i คือ เวลาก่อนที่เมล็ดงอกแรกได้ครั้งหนึ่ง
 t_j คือ เวลาที่ถัดจากเวลา t_i , n_i คือ จำนวนเมล็ด
 ที่มีรากงอก ณ เวลา t_i ,
 n_j คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากงอก ณ เวลา t_j ,
 N คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากงอกทั้งหมด
 4) จำนวนวันที่มีรากงอก (Days to Emergence;
 DTE) นับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มม.
 ทุกวัน เป็นเวลา 7 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตร
 (Dhillon, 1995)

$$DTE \text{ (วัน)} = \sum nd \div \sum n$$

โดย n คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากงอกในวันที่ 1, 2, ..., n
 $(n=7)$
 d คือ วันหลังเพาะเมล็ดในวันที่ 1, 2, ..., n
 $(n=7)$

5) เวลาที่ใช้ในการงอกถึง 50% (time to reach
 50% germination; T_{50}) นับต้นอ่อนปกติทุกวัน เป็นเวลา
 7 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตร (Coolbear *et al.*,
 1984)

$$T_{50} \text{ (วัน)} = t_i + [((N + 1) \div 2) - n_i] \div (n_j - n_i) \times (t_j - t_i)$$

โดย t_i คือ เวลาก่อนที่เมล็ดงอกเป็นต้นอ่อนปกติ
 ได้ครั้งหนึ่ง
 t_j คือ เวลาที่ถัดจากเวลา t_i
 n_i คือ จำนวนต้นอ่อนปกติ ณ เวลา t_i
 n_j คือ จำนวนต้นอ่อนปกติ ณ เวลา t_j
 N คือ จำนวนต้นอ่อนปกติทั้งหมด และ

5) เวลาเฉลี่ยในการงอก (mean germination
 time; MGT) นับจำนวนต้นอ่อนปกติทุกวัน เป็นเวลา 7
 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตร (Ellis and Robert,
 1980)

$$MGT \text{ (วัน)} = \sum nd \div \sum n$$

โดย n คือ จำนวนต้นอ่อนปกติในวันที่ 1, 2, ..., n ($n=7$)
 d คือ วันหลังเพาะเมล็ดในวันที่ 1, 2, ..., n ($n=7$)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลทางสถิติ
 (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่าง
 ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test
 (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสถิติ R (Jompuk, 2012)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การกระตุ้นความงอกเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วย
 วิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและสารละลาย
 ต่าง ๆ มีผลทำให้เมล็ดมีรากงอกและมีความงอกแตกต่าง
 ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (Table 1) โดยเมล็ดที่
 เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 ความ
 เข้มข้น 0.5 และ 1.0% มีรากงอกสูงที่สุดและไม่แตกต่าง
 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 88.50 และ 95.50%
 ตามลำดับ รองลงมา คือ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย
 สารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.5% (83.00%) ส่วน
 เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีรากงอกต่ำที่สุด คือ
 32.50% เช่นเดียวกับค่าความงอก โดยการเตรียมพร้อม
 เมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความ
 เข้มข้น 0.5 และ 1.0% ส่งผลให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุด
 และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 88.00 และ
 93.50% ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งพบเมล็ดสดต่ำที่สุด
 และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 9.50 และ
 0.00% ตามลำดับ (Figure 1) ส่วนเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อม
 เมล็ดพันธุ์มีความงอกต่ำที่สุด คือ 31.00% (Table 1)
 แต่พบเมล็ดสดสูงที่สุด คือ 64.00% (Figure 1) แสดงว่า
 เมล็ดมีการพักตัว

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการ
 เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3
 ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% ทำให้เมล็ดมีความงอก
 เพิ่มขึ้นประมาณ 57.00-62.50% เมื่อเปรียบเทียบกับ

เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับ Suresh *et al.* (2025) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 4 ชม. ทำให้เมล็ดมีความงอกในสภาพแปลงสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (92.40 และ 82.49% ตามลำดับ) เพราะ KNO_3 เป็นสารส่งเสริมการงอก (International Seed Testing Association, 2025) เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวได้ K^+ และ NO_3^- โดย K^+ ละลายอยู่ในไซโทพลาซึมและแวคิวโอล ช่วยรักษาค่าศักย์ออสโมซิส (osmotic potential) และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์มากกว่า 40 ชนิด ที่ใช้ในการสังเคราะห์แป้งและโปรตีน อีกทั้งยังกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจ (Wang and Wu, 2013; Anschutz *et al.*, 2014) ส่วน NO_3^- อาจมีความสัมพันธ์กับเอนไซม์ไนเตรตรีดักเทส (nitrate reductase) ในการสร้างไนไตรต์ (nitrite; NO_2^-) หรือไนตริกออกไซด์ (nitric oxide; NO) และได้ NH_4^+ ถูกตรึงเป็นกรดอะมิโนด้วยเอนไซม์กลูตามีนซินเทเทส (glutamine synthetase) หรือกลูตาเมตซินเทส (glutamate synthase) (Lin *et al.*, 2020) ซึ่ง NO_3^- จะช่วยในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนภายในเมล็ด ทำให้เมล็ดมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เมล็ดจึงงอกได้ ดีขึ้น (Hendricks and Taylorson, 1974; McIntyre *et al.*, 1996; Alboresi *et al.*, 2005; Lara *et al.*, 2014) อีกทั้ง NO_3^- เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจในวิถีเพนโตสฟอสเฟต (pentose phosphate pathway) ซึ่งเป็นการหายใจในระดับเซลล์

การใช้ออกซิเจนของกระบวนการหายใจแบบปกติจะกีดกันวิถีทางเลือกอื่น (alternative pathway) ที่ต้องการออกซิเจนเช่นกัน แสดงว่าการหายใจแบบปกติแย่งออกซิเจนไป วิถีทางเลือกจึงไม่เกิด แต่เมื่อการหายใจแบบปกติถูกยับยั้ง (block) ด้วยสารยับยั้งการหายใจ เช่น ไซยาไนด์ (cyanide) และมาโลเนต (malonate) ทำให้มีออกซิเจนเหลือเพียงพอที่จะขับเคลื่อนวิถีทางเลือกอื่น ๆ ซึ่งวิถีเพนโตสฟอสเฟตเป็นวิถีทางเลือกที่สำคัญที่อาจใช้ออกซิเจนเพื่อออกซิไดซ์ NADPH ซึ่งนอกจากออกซิเจน

แล้ว NADPH ยังถูกออกซิไดซ์ได้ด้วยตัวรับอิเล็กตรอนต่าง ๆ เช่น ไนเตรต ไนไตรต์ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนหรือวิถีทางเลือกของไกลโคไลซิส (glycolysis) ทำหน้าที่แทนออกซิเจนในการออกซิไดซ์ NADPH ในกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงส่งเสริมการงอกของเมล็ดได้ (Chanprasert, 2010) นอกจากนี้ NO_3^- ยังทำให้สารยับยั้งการงอกหรือกรดแอบไซซิก (abscisic acid) ภายในเมล็ดลดลง (Matakiadis *et al.*, 2009) และส่งเสริมการสังเคราะห์กรดจิบเบอเรลลินเพื่อกระตุ้นการงอก (Hilhorst and Karssen, 1988)

นอกจากนี้ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 0.5% ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับ Bhat *et al.* (2023) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ Honesty (*Lunaria annua* L.) วงศ์เดียวกับผักกาดเขียว โดยแช่เมล็ดในสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 3% เป็นเวลา 48 ชม. ทำให้เมล็ดมีรากงอกสูงกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (61.10 และ 40.00% ตามลำดับ) เพราะเมื่อ CaCl_2 ละลายน้ำจะแตกตัวให้ Ca^{2+} และ Cl^- ซึ่งแคลเซียมมีหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) ที่สำคัญของเอนไซม์หลายชนิดที่มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายแป้งจากแหล่งอาหารสะสมไปยังส่วนอื่น ๆ และช่วยย่อยแป้งในเอนโดสเปิร์มของเมล็ดให้มีโมเลกุลเล็กลงสำหรับใช้ในกระบวนการงอก (Hanson, 1984) นอกจากนี้ Ca^{2+} ยังมีบทบาทสำคัญในการควบคุมโครงสร้างและการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) โดยเกี่ยวข้องกับการทำงานของฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ช่วยรักษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ ลดการรั่วไหลของสารต่าง ๆ ออกมาภายนอกเซลล์ (Hepler, 2005) อีกทั้งยังส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ฟอสฟาเทส (phosphatase) และเอนไซม์ไคเนส (kinase) ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการส่งสัญญาณในกระบวนการงอกของเมล็ด (Trewavas and Malhó, 1997)

อย่างไรก็ตาม การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 1.0% มีผลทำให้เมล็ดมีรากงอกและมีความงอกต่ำกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 0.5% (Table 1) อาจเป็นเพราะสารละลายที่ระดับความเข้มข้นสูงจะมีค่าศักย์ต่ำกว่าสารละลายที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ทำให้เมล็ดดูดน้ำเข้าสู่ผลต่อการเกิดกระบวนการงอกช้า จึงพบเมล็ดสดหรือเมล็ดพักตัวสูง (36.50%) เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความเข้มข้น 0.5% มีเมล็ดสดเพียง 14.50% (Figure 1) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแรงไอออน (ionic strength) ระหว่างสารละลาย KNO_3 และ CaCl_2 ส่งผลต่อค่าศักย์ออสโมซิส

(osmotic potential) ของสารละลายที่แช่ในเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว ที่ระดับความเข้มข้น 0.5% สารละลาย KNO_3 มีความแรงไอออนต่ำกว่า CaCl_2 (0.0495 และ 0.1353 โมลต่อลิตร ตามลำดับ) เช่นเดียวกับที่ระดับความเข้มข้น 1.0% สารละลาย KNO_3 มีความแรงไอออนต่ำกว่า CaCl_2 (0.099 และ 0.2703 โมลต่อลิตร ตามลำดับ) หรือแม้กระทั่งสารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้น 1.0% มีความแรงไอออนต่ำกว่าสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 0.5% (0.099 และ 0.1353 โมลต่อลิตร ตามลำดับ) แสดงว่าสารละลายที่ระดับความเข้มข้นต่ำจะปลอดภัยสำหรับเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียว หากใช้ระดับความเข้มข้นสูงอาจส่งผลเสียต่อเยื่อหุ้มเซลล์

Table 1 Percentages of radicle emergence and germination of non-primed and primed seeds of Chinese mustard with different solutions

Treatment	Radicle emergence (%)	Improvement %	Germination (%)	Improvement %
Non-primed seeds (control)	32.50±4.12d	-	31.00±4.76d	-
Hydropriming	55.50±7.72c	23.00	57.00±10.89c	26.00
Seed priming with 0.5% KNO_3 solution	88.50±5.97ab	56.00	88.00±3.65ab	57.00
Seed priming with 1.0% KNO_3 solution	95.50±1.91a	63.00	93.50±3.42a	62.50
Seed priming with 0.5% CaCl_2 solution	83.00±9.31b	50.50	80.50±8.85b	49.50
Seed priming with 1.0% CaCl_2 solution	60.50±6.40c	28.00	60.50±5.26c	29.50
F-test	**		**	
CV (%)	9.20		9.85	

** Means±SD followed by the same alphabet are not significantly different when Duncan's Multiple Range Test (DMRT) method of mean comparison at 99% confidence.

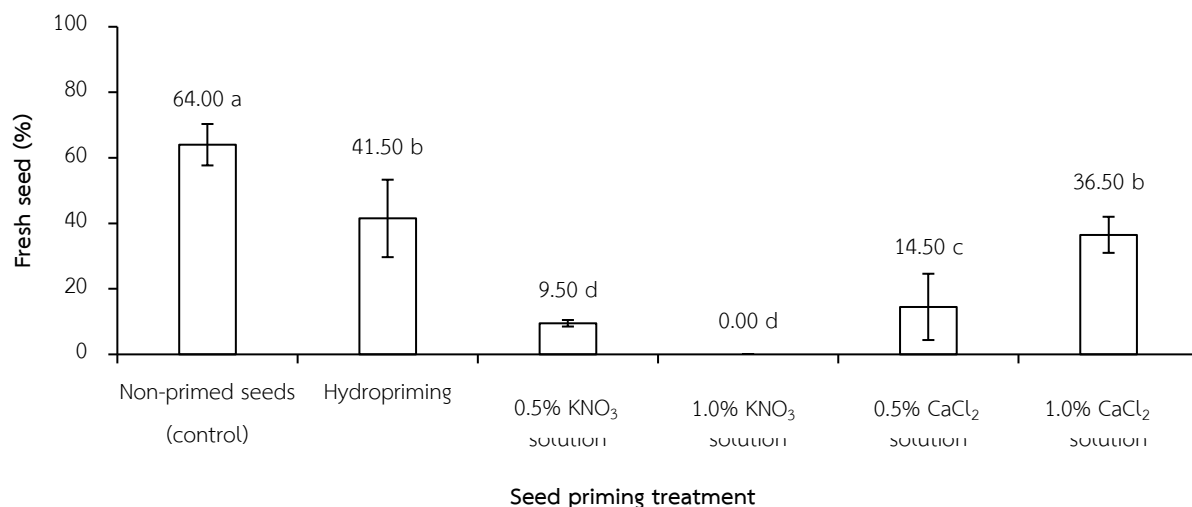


Figure 1 Fresh seed of non-primed and primed seeds of Chinese mustard with different solutions
Different lowercase letters represent significant difference ($p < 0.05$).

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวทุกวิธีการทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Table 2) แสดงว่าเมล็ดมีความแข็งแรงจึงงอกได้เร็วและสม่ำเสมอ เพราะเมื่อเมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ดูดน้ำจะเข้าสู่ระยะที่ 2 หรือระยะงัน (lag phase) ของรูปแบบการดูดน้ำได้เร็วขึ้น เกิดกิจกรรมเมแทบอลิซึมต่าง ๆ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจทำงาน และมีการสังเคราะห์เอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการย่อยสลายสารอาหารจากโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก เช่น hydrolytic enzyme, α -, β -amylase, proteinase และ lipase ซึ่งย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน โดยสารอาหารเหล่านี้จะถูกเคลื่อนย้ายไปยังเอ็มบริโอเพื่อการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ เมล็ดจึงแทงรากได้เร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (McDonald, 2000) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO₃ ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% ทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% เร็วที่สุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 0.71 และ 0.60 วัน ตามลำดับ ซึ่งเร็วกว่า

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (1.09 วัน) ในขณะที่เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% ช้าที่สุด คือ 1.84 วัน (Table 2) แสดงว่าเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO₃ ทั้งสองความเข้มข้นสามารถงอกได้ถึงครึ่งหนึ่งเร็วกว่าเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าจำนวนวันที่มีรากงอก (Table 2) โดยเมล็ดผักกาดเขียวที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO₃ ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% มีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วที่สุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (1.35 และ 1.43 วัน ตามลำดับ) ซึ่งเร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (1.60 วัน) ส่วนเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีจำนวนวันที่มีรากงอกช้าที่สุด คือ 2.76 วัน สอดคล้องกับ Bhat *et al.* (2023) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ Honesty (*Lunaria annua* L.) ด้วยสารละลาย CaCl₂ ความเข้มข้น 3% เป็นเวลา 48 ชม. ทำให้เมล็ดมีจำนวนวันที่มีรากงอกถึง 50% เร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (11.6 และ 14.6 วัน ตามลำดับ)

Table 2 Time to reach 50% radicle emergence (T_{50RE}) and days to emergence (DTE) of non-primed and primed seeds of Chinese mustard with different solutions

Treatment	T_{50RE} (days)	DTE (days)
Non-primed seeds (control)	1.84±0.47a	2.76±0.16a
Hydropriming	1.09±0.30b	1.60±0.26b
Seed priming with 0.5% KNO_3 solution	0.71±0.05c	1.35±0.02cd
Seed priming with 1.0% KNO_3 solution	0.60±0.05c	1.21±0.10d
Seed priming with 0.5% $CaCl_2$ solution	0.76±0.06bc	1.43±0.10bcd
Seed priming with 1.0% $CaCl_2$ solution	0.85±0.06bc	1.57±0.13bc
F-test	**	**
CV (%)	23.86	8.97

** Means±SD followed by the same alphabet are not significantly different when Duncan's Multiple Range Test (DMRT) method of mean comparison at 99% confidence.

วิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Table 3) แสดงว่าเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์สามารถงอกรากและพัฒนาเป็นต้นอ่อนปกติได้เร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ เพราะการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์เป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับเมล็ดและต้นกล้าผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึมและกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการควบคุมการให้น้ำหรือความชื้น (Verma and Mathur, 2022) โดยการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น

1.0% ทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วที่สุด คือ 2.78 และ 3.37 วัน ตามลำดับ รองลงมา คือ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 0.5% (3.22 และ 3.62 วัน ตามลำดับ) ในขณะที่เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ใช้เวลาในการงอกถึง 50% และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกช้าที่สุด คือ 4.08 และ 4.76 วัน ตามลำดับ สอดคล้องกับ Batool *et al.* (2015) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์กะหล่ำปลีด้วยสารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้น 1.0% ทำให้เมล็ดมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วที่สุดและมีดัชนีความแข็งแรงของเมล็ดสูงที่สุด

Table 3 Time to reach 50% germination (T_{50}) and mean germination time (MGT) of non-primed and primed seeds of Chinese mustard with different solutions

Treatment	T_{50} (days)	MGT (days)
Non-primed seeds (control)	4.08±0.18a	4.76±0.07a
Hydropriming	3.51±0.07b	3.99±0.12c
Seed priming with 0.5% KNO_3 solution	3.22±0.08c	3.62±0.06d
Seed priming with 1.0% KNO_3 solution	2.78±0.08d	3.37±0.09e
Seed priming with 0.5% $CaCl_2$ solution	3.57±0.10b	4.14±0.15b
Seed priming with 1.0% $CaCl_2$ solution	3.63±0.08b	4.20±0.07b
F-test	**	**
CV (%)	3.02	2.36

** Means±SD followed by the same alphabet are not significantly different when Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) method of mean comparison at 99% confidence.

สรุปผลการวิจัย

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยน้ำสารละลาย KNO_3 และ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% ทำให้เมล็ดมีรากงอกและมีความงอกสูงกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ นอกจากนี้ เมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ยังใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% มีจำนวนวันที่มีรากงอก ใช้เวลาในการงอกถึง 50% และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ดังนั้น การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ผักกาดเขียวด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1.0% เป็นเวลา 6 ชม. เป็นวิธีการที่ดีที่สุด โดยทำให้เมล็ดมีความงอกและความแข็งแรงสูงสุด รองลงมา คือ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 0.5% สารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 0.5% ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มพัฒนาระบบตรวจสอบและรับรองคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร ที่อนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์สำหรับงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Agricultural Regulatory Office. 2024a. List of quantity and value of imported controlled seeds in 2024 (1 January to 31 December 2024). [Online]. Available <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2025/01/import-seed-2567-Plant-list.pdf> (July 7, 2025). [in Thai]

- Agricultural Regulatory Office. 2024b. **List of imported controlled seeds by country in 2024 (1 January to 31 December 2024)**. [Online]. Available <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2025/01/import-seed-2567-Plant-list.pdf> (July 7, 2025). [in Thai]
- Alboresi, A., C. Gustin, M.T. Leydecker, M. Bedu, C. Meyer and H.N. Truong. 2005. Nitrate, a signal relieving seed dormancy in Arabidopsis. **Plant, Cell and Environment** 28(4): 500–512.
- Anschutz, U., D. Becker and S. Shabala. 2014. Going beyond nutrition: regulation of potassium homeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. **Journal of Plant Physiology** 171(1): 670–687.
- Awan, S, S. Footitt and W.E. Finch-Savage. 2018. Interaction of maternal environment and allelic differences in seed vigour genes determines seed performance in *Brassica oleracea*. **Plant Journal** 94(6): 1098–1108.
- Baskin, C.C. and J.M. Baskin. 2020. Breaking seed dormancy during dry storage: a useful tool or major problem for successful restoration via direct seeding? **Plants** 9(5): 636. <https://doi.org/10.3390/plants9050636>
- Batool, A., K. Ziaf and M. Amjad. 2015. Effect of halo-priming on germination and vigor index of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). **Journal of Environmental and Agricultural Sciences** 2(1): 1–7.
- Bhat, R.A., F.U. Khan, I.T. Nazki, Z.A. Bhat, F.A. Khan, J.A. Wani, A. Manzar, Neelofar, Q. Altaf, N.H. Masoodi. 2023. Effect of potassium nitrate and calcium chloride priming on germination and seedling growth of honesty (*Lunaria annua* L.). **Environment and Ecology** 41(1C): 599–604.
- Chanprasert, W. 2010. **Seed Physiology**. Bangkok: Kasetsart University Press. 167 p. [in Thai]
- Coolbear, P., A. Francis and D. Grierson. 1984. The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. **Journal of Experimental Botany** 35(1): 1609–1617.
- Dhillon, N.P.S. 1995. Seed priming of male sterile muskmelon (*Cucumis melo* L.) for low temperature germination. **Seed Science and Technology** 23(3): 881–884.
- Ellis, R.H. and E.H. Roberts. 1980. Improved equation for the prediction of seed longevity. **Annals of Botany** 45(1): 13–30.

- Hanson, J.B. 1984. The Function of Calcium in Plant Nutrition. pp. 149–208. *In* Tinker, P.B. and A. Louchli (eds.). **Advances in Plant Nutrition**. New York: Praeger Publishers.
- Hendricks, S.B. and R.B. Taylorson. 1974. Promotion of seed germination by nitrate, nitrite, hydroxylamine and ammonium salts. **Plant Physiology** 54(3): 304–309.
- Hepler, P.K. 2005. Calcium: a central regulator of plant growth and development. **The Plant Cell** 17(8): 2142–2155.
- Hilhorst, H.W.M. and C.M. Karssen. 1988. Dual effect of light on the gibberellin and nitrate-stimulated seed germination of *Sisymbrium officinale* and *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology** 86(1): 591–597.
- Hilton, J.R. and J. Thomas. 1986. Regulation of pregerminative rates of respiration in seeds of various weed species by potassium nitrate. **Journal of Experimental Botany** 37(10): 1516–1524.
- International Seed Testing Association. 2025. **International Rules for Seed Testing**. Wallisellen: International Seed Testing Association (ISTA). 320 p.
- Jompuk, C. 2012. **Statistics: Experimental Design and Data Analysis in Plant Research using “R”**. Bangkok: Kasetsart University Press. 350 p. [in Thai]
- Kirosassefa, M., R. Hunje, R.V. Koti and N.K. Biradarpatil. 2010. Enhancement of seed quality in soybean following priming treatments. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences** 23(1): 780–787.
- Kumar, A.H. and P.K. Rai. 2021. Influence of different pre-sowing seed priming on plant growth, yield and yielding attributing traits of mustard (*Brassica juncea* L. Czern and Coss). **Journal of Crop and Weed** 17(2): 235–239.
- Lara, T.S., J.M.S. Lira, A.C. Rodrigues, M. Rakocevic and A.A. Alvarenga. 2014. Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. **Journal of Agricultural Science** 6(2): 72–80.
- Lin, D., Y. Huang, J. Zhao, Z. Wu, S. Liu, W. Qin, D. Wu, H. Chen and Q. Zhang. 2020. Evaluation of seed nitrate assimilation and stimulation of phenolic-linked antioxidant on pentose phosphate pathway and nitrate reduction in three feed-plant species. **BioMed Central Plant Biology** 20(1): 267. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02453-w>
- MacDonald, M.T. and V.R. Mohan. 2025. Chemical seed priming: molecules and mechanisms for enhancing plant germination, growth and stress tolerance. **Current Issues in Molecular Biology** 47(3): 177. <https://doi.org/10.3390/cimb47030177>

- Matakiadis, T., A. Alboresi, Y. Jikumaru, K. Tatematsu, O. Pichon, J.P. Renou, Y. Kamiya, E. Nambara and H.N. Truong. 2009. The Arabidopsis abscisic acid catabolic gene CYP707A2 plays a key role in nitrate control of seed dormancy. **Plant Physiology** 149(2): 949–960.
- McDonald, M.B. 2000. Seed Priming. pp. 287–325. In Michael, B. and J.D. Bewley (eds.). **Seed Technology and Its Biological Basis**. Sheffield: Academic Press.
- McIntyre, G.I., A.J. Cessna and A.I. Hsiao. 1996. Seed dormancy in *Avena fatua*: Interacting effects of nitrate, water and seed coat injury. **Physiologia Plantarum** 97(2): 291–302.
- Na Nakorn, P. and P. Kaewson. 2021. Effects of KNO₃ concentration and aeration during seed priming on seed quality of wax gourd (*Benincasa hispida* [Thunb.] Cogn.). **Agriculture and Natural Resources** 55(1): 877–885.
- Openña, R.T. 1993. *Brassica juncea* (L.) Czernjaew. pp. 104–108. In Siemonsma, J.S. and K. Piluek (Eds.). **Plant Resources of South-East Asia, No. 8 Vegetables**. The Wageningen: Pudoc Scientific Publishers.
- Reina, F.G. and L.A. Pascual. 2001. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds part I theoretical considerations. **Bioelectromagnetics** 22(8): 589–595.
- Reina, F.G., L.A. Pascual and I.A. Fundora. 2001. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds part II experimental results. **Bioelectromagnetics** 22(8): 596–602.
- Srivastava, A.K., V.H. Lokhande, V.Y. Patade, P. Suprasanna, R. Sjahril and S.F. D’Souza. 2010. Comparative evaluation of hydro-, chemo-, and hormonal priming methods for imparting salt and PEG stress tolerance in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). **Acta Physiologiae Plantarum** 32(6): 1135–1144.
- Suresh, K., R.K. Mandal, Chetna, A. Balakoti, K.A. Dora and K.P. Raju. 2025. Effect of seed priming treatments on seed quality characteristics in Indian mustard (*Brassica juncea* L. Czern & Coss). **Plant Archives** 25(Suppl. 1): 2629–2633.
- The Secretariat of the Cabinet. 2013. Announcement of Ministry of Agriculture and Cooperatives on Standard Quality and Storage of Controlled Seed (Vol. 2) B.E. 2556. pp. 32–33. In **Royal Thai Government Gazette** 130(Special 148 Ng) (October 31, 2013). [in Thai]
- Thomas, J., K.M. Kuruvilla and T.K. Hrideek. 2004. Mustard. pp. 388–398. In Peter, K.V. (ed). **Handbook of Herbs and Spices, Volume 2**. Sawton, Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 42(3): 41-54

Trewavas, A.J. and R. Malhó. 1997. Signal perception and transduction: the origin of phenotype. **The Plant Cell** 9(7): 1181–1195.

Verma, B. and P. Mathur. 2022. Seed priming: types and importance. **Just Agriculture** 2(6): 1–4.

Wang, Y. and W.H. Wu. 2013. Potassium transport and signaling in higher plants. **Annual Review of Plant Biology** 64(1): 451–476.