

ผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์พริกหวาน

Effect of Seed Priming with CaCl_2 Solution on Germination and Vigor of Sweet Pepper Seeds

จันทร์เจตจำ สุริยะไชย¹, เบญญา มะโนชัย^{1,2} และพิชิตรา แก้วสอน^{2*}

Janjerdja Suriyachai¹, Benya Manochai^{1,2} and Pichitra Keawsorn^{2*}

Received date: 22 เม.ย. 68 Revised date: 13 มิ.ย. 68 Accepted date: 16 มิ.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.267099>

บทคัดย่อ

เมล็ดพันธุ์พริกหวานมักพบปัญหาความงอกต่ำและไม่สม่ำเสมอ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์พริกหวาน การทดลองวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ประกอบด้วย 5 ทรีตเมนต์ ได้แก่ เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ reverse osmosis สารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10, 30 และ 50% เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง แล้วลดความชื้นเมล็ดลงจนเท่ากับความชื้นเริ่มต้นประมาณ 7% ผลการทดลองพบว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยทุกวิธีไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การมีรากงอกและเปอร์เซ็นต์ความงอกเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ แต่เมล็ดที่ผ่านเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีเวลาในการงอกรากถึง 50% หรือถึงครึ่งหนึ่ง มีจำนวนวันที่มีรากงอก มีเวลาในการงอกถึง 50% หรือถึงครึ่งหนึ่ง และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตาม การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10% มีแนวโน้มทำให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุด 84.00% ใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% เร็ว 5.81 วัน มีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็ว 6.48 วัน ใช้เวลาในการงอกถึง 50% เร็วที่สุด 11.51 วัน และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วที่สุด 12.20 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีความงอก 74.00% ใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% ช้า 6.84 วัน มีจำนวนวันที่มีรากงอกช้า 7.45 วัน ใช้เวลาในการงอกถึง 50% ช้า 12.63 วัน และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกช้า 12.71 วัน

คำสำคัญ: การไพร้มเมล็ดพันธุ์ ความเร็วในการงอก คุณภาพเมล็ดพันธุ์ เวลาเฉลี่ยในการงอก

Abstract

Sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds often have problems concerning low germination and non-uniform germination. This study aimed to investigate the effects of seed priming with calcium chloride (CaCl_2) solutions in different concentrations on germination and vigor of sweet pepper seeds. The experiment was designed in a completely randomized design (CRD) with five treatments, including non-primed seeds (control), seed priming with reverse osmosis water (hydropriming), seed priming with CaCl_2 solutions at the concentrations of 10, 30 and 50% for 72 hours. After priming, seed moisture was reduced to the initial level of approximately 7%. The results showed that all priming methods had no effect on percentages of radicle emergence and germination, when compared with non-primed seeds. However, primed seeds had time to reach 50% or a half of radicle emergence (T_{50RE}), days to emergence (DTE), time to reach 50% or a half of germination (T_{50}) and mean germination (MGT) faster than non-primed seeds. However, seed priming with 10% CaCl_2 solution tended to have the highest germination of 84.00%. In addition, primed seeds had a high speed of T_{50RE} at 5.81 days, DTE at 6.48 days, T_{50} at 11.51 days and MGT at 12.20 days when compared with non-primed seeds had the germination of 74%, slow T_{50RE} of 6.84 days, DTE of 7.45 days, T_{50} of 12.63 days and MGT of 12.71 days.

Keywords: seed priming, speed of germination, seed quality, mean germination time

¹ สาขาวิชาเกษตรเขตร้อน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Tropical Agriculture Program, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

² Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

* Corresponding author: pichitra.k@ku.th

คำนำ

พริกหวาน (*Capsicum annuum* L.) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในระดับโลก นิยมปลูกในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน (Serrano et al., 2010) พริกหวานเป็นที่นิยมเนื่องจากป้องกันโรคบางชนิดได้ เช่น หลอดเลือดหัวใจ ช่วยชะลอการชรา ลดคอเลสเตอรอล และช่วยเจริญอาหาร (Marín et al., 2004) ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีการปลูกพริกหวานทั้งสิ้น 1,630 ไร่ ผลผลิต 2,112 ตัน อีกทั้งเมล็ดพันธุ์พริกหวานที่เป็นเมล็ดพันธุ์ลูกผสมมีมูลค่าสูงมาก ทำให้เกษตรกรต้องใช้ต้นทุนสูงในการผลิตพริกหวาน และต้องซื้อเมล็ดพันธุ์ใหม่ทุกครั้งที่จะปลูกรอบใหม่ (Duangyam, 2021) แต่เมล็ดพันธุ์มักพบปัญหาความงอกและความสม่ำเสมอในการงอกต่ำ อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ไม่เหมาะสมทำให้เมล็ดพักตัว (Basavaraja et al., 1998) โดยการพักตัวของเมล็ดพริกอาจเกิดตั้งแต่เมล็ดพัฒนาอยู่บนต้นแม่ (Randle and Honma, 1981) มีสาเหตุการพักตัวแบบสรีรวิทยา (physiological dormancy) หรือมีสารยับยั้งการงอกภายในเอ็มบริโอ (Baskin and Baskin, 2020; Bewley and Black, 1994; Chichaghere et al., 2021; Munatsi et al., 2024) จากปัญหาคงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พริกหวานอาจแก้ไขได้โดยการกระตุ้นการงอก เช่น การแช่เมล็ดในน้ำหรือสารเคมี (McDonald, 2000) ซึ่งวิธีการนี้จำเป็นต้องนำเมล็ดไปปลูกทันที ไม่ควรเก็บรักษาเนื่องจากเมล็ดได้รับความชื้นมากเกินไปจนบางครั้งเมล็ดมีรากปรากฏแล้ว อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้วิธีการกระตุ้นการงอกโดยทำให้เมล็ดแห้งเพื่อเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน ๆ จึงเหมาะสมในทางธุรกิจ เนื่องจากสะดวกในการบรรจุเมล็ดในภาชนะ การขนส่ง การวางจำหน่าย และรอการนำไปปลูกต่อไป ดังนั้น “การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์” (seed priming) จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในทางธุรกิจ เพื่อเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ ทำให้เมล็ดงอกได้เร็วอย่างสม่ำเสมอ (Parera and Cantiffe, 1994) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทางสรีรวิทยาให้ดีขึ้น เพื่อให้เมล็ดพัฒนาการงอกให้อยู่ในระดับเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน (Bewley and Black, 1982) โดยเมล็ดจะดูดซับความชื้นจนเพียงพอต่อการงอกและเพียงพอในการกระตุ้นการงอกทางสรีรวิทยา แต่ยังไม่ถึงระดับที่ทำให้รากแรกเกิด (radicle) ปรากฏ หลังจากนั้นลดความชื้นของเมล็ดลงให้อยู่ในระดับเริ่มแรก ดังนั้น เมล็ดที่ได้เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์แล้วจึงงอกได้เร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (McDonald, 2000) ในการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มี 2 วิธี ได้แก่ 1) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ หรือไฮโดรไพรมิง (hydropriming) เป็นการแช่เมล็ดในน้ำสะอาดภายในระยะเวลาที่เหมาะสม (Bradford, 1986) วิธีนี้ปฏิบัติได้ง่าย ไม่มีสารพิษตกค้างในเมล็ดและสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ ไม่สามารถควบคุมการดูดน้ำของเมล็ดได้ หากพืชต่างชนิดกันกระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเมล็ดจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน อีกทั้งน้ำสะอาดหรือน้ำบริสุทธิ์มีค่าคลอไรด์สูง เมล็ดบางชนิดอาจดูดน้ำเร็วเกินไปส่งผลทำให้เกิดความเสียหายกับเมล็ดได้เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดที่แตกต่างกัน (McDonald, 2000) Keoboua et al. (2020) ได้รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกขีหนูสวนด้วยน้ำ (hydropriming) มีผลทำให้เมล็ดมีความงอกสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (95 และ 88% ตามลำดับ) และ 2) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลายเกลือ หรือฮาโลไพรมิง (halopriming) เป็นการแช่เมล็ดในสารละลายเกลือ เช่น CaCl_2 (Jett et al., 1996) ซึ่งเป็นสารส่งเสริมการงอกของเมล็ด และสารละลายมีค่าคลอไรด์ (water potential; Ψ) ในระดับต่ำเพื่อชะลอการดูดน้ำของเมล็ดให้ช้าลง (Assefa et al., 2010; Reina and Pascual, 2001; Reina et al., 2001) โดย Smith and Cobb (1991) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘Keystone Resistant Giant #3’ ในสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10, 25, 50, 100, 200 และ 300 มิลลิโมลาร์ ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานานถึง 17 วัน ทำให้เมล็ดงอกได้เร็วกว่าเมล็ดที่เตรียมพร้อมด้วยน้ำกลั่น สอดคล้องกับ Saleh et al. (1996) ได้รายงานว่าเมล็ดพริกหวาน ‘Gedeon F1’ ที่ได้เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 เป็นระยะเวลานานถึง 144 ชั่วโมง หรือ 6 วัน มีอัตราการงอก ความสม่ำเสมอในการงอก และความงอกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Ameri et al. (2011) ได้รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘California Wonder’ ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 1% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ส่งผลให้เมล็ดมีความงอกสูงและงอกได้เร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ เช่นเดียวกับรายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริก ‘Baklouti’ ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (0.1%) เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดงอกสูงกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (92 และ 65% ตามลำดับ) (Aloui et al., 2014a) อีกทั้งยังทำให้เมล็ดมีอัตราการงอกเร็ว ต้นกล้ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) โปรลีน (proline) เพิ่มขึ้น และมีการสะสมโปรตีนเพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะเครียดจากเกลือ NaCl (Aloui et al., 2014b) จากปัญหาเมล็ดพันธุ์พริกหวานงอกไม่สม่ำเสมอนอกจากส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์โดยตรง ยังส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อการวางแผนการปลูกในแปลง และความไม่สม่ำเสมอของต้นกล้าที่งอกและผลิตผล ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่มีความเข้มข้นต่างกันต่อความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ เพื่อยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์สำหรับการผลิตต้นกล้าที่แข็งแรงและสม่ำเสมอ

วิธีการศึกษา

เมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘ทันเดอร์’ เป็นเมล็ดพันธุ์ผสมเปิด (open-pollinated variety; OP) ที่เก็บเกี่ยวใหม่และได้ทดสอบคุณภาพเริ่มต้นเมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 โดยมีน้ำหนักเมล็ด 7.40 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด ความชื้น 7% ความงอก 55% และความบริสุทธิ์ทางกายภาพ 98% เมล็ดถูกเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ปิดสนิท ที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ $60 \pm 5\%$ เป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน

วิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์

นำเมล็ดพันธุ์พริกหวานมาเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์โดยการแช่เมล็ดในน้ำ reverse osmosis (RO) และสารละลาย CaCl_2 (Sigma-Aldrich, USA) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนสารละลายทุกวันเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลาย เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดล้างเมล็ดให้สะอาดด้วยน้ำ RO ไหล จากนั้นซบเมล็ดให้แห้งด้วยกระดาษซับและลดความชื้นเมล็ดในตู้ดูดความชื้นไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ $40 \pm 2\%$ เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง จนความชื้นของเมล็ดเท่ากับค่าเริ่มต้นประมาณ 7% ทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ ห้อง 509 คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ ตั้งแต่พฤศจิกายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2567 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) มี 5 ทรีตเมนต์ จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ได้แก่ เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10, 30 และ 50% เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์พริกหวานที่ไม่ผ่านและผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มาทดสอบความงอกมาตรฐานในสภาพห้องปฏิบัติการ

การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์พริกหวาน

นำเมล็ดพันธุ์พริกหวานมาทดสอบความงอกมาตรฐานในสภาพห้องปฏิบัติการตามกฎหมายของสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติ (International Seed Testing Association) ด้วยวิธีการเพาะเมล็ดบนกระดาษชื้น (top of paper; TP) ในกล่องพลาสติกใสมีฝาปิดสนิท วางกล่องเพาะเมล็ดในตู้เพาะเมล็ด (seed germinator) ที่ควบคุมอุณหภูมิ $20 \leftrightarrow 30$ องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง ในสภาพมืด สลับกับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ในสภาพมีแสง (International Seed Testing Association, 2024) บันทึกข้อมูลดังนี้

การมีรากงอก (radicle emergence; RE): นับเมล็ดพริกหวานที่มีรากยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร ทุกวัน เป็นระยะเวลา 14 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณจากสูตร

$$\text{การมีรากงอก (\%)} = (\text{เมล็ดที่มีรากงอก} / \text{จำนวนเมล็ด}) \times 100$$

ความงอก (germination): ประเมินความงอกเมล็ดพันธุ์พริกหวานตามกฎหมายของสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติ หรือ International Seed Testing Association (International Seed Testing Association, 2024) โดยนับครั้งแรก (first count) เมื่อครบ 7 วันหลังเพาะเมล็ด นับเฉพาะต้นอ่อนปกติที่มีลักษณะรากสมบูรณ์ ลำต้นอ่อนใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) ตั้งตรง และมีใบเลี้ยงสีเขียว 2 ใบ และนับครั้งสุดท้าย (final count) เมื่อครบ 14 วันหลังเพาะเมล็ด ได้แก่ ต้นอ่อนปกติ ต้นอ่อนผิดปกติ เมล็ดสดและเมล็ดตาย จากนั้นคำนวณจากสูตร

$$\text{ความงอก (\%)} = (\text{จำนวนต้นอ่อนปกติ} / \text{จำนวนเมล็ด}) \times 100$$

เวลาที่ใช้ในการมีรากงอกถึง 50% (time to reach 50% radicle emergence; T_{50RE}): นับเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร ทุกวัน เป็นระยะเวลา 14 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นคำนวณเวลาที่ใช้ในการมีรากงอกถึง 50% โดยดัดแปลงสูตรจาก Coolbear et al. (1984)

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

โดย t_i คือ เวลาที่เมล็ดมีรากงอกได้ครั้งแรก, t_j คือ เวลาถัดจากเวลา t_i , n_i คือ จำนวนเมล็ดที่มีราก ณ เวลา t_i , n_j คือ จำนวนเมล็ดที่มีราก ณ เวลา t_j และ N คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากทั้งหมด

จำนวนวันที่มีรากงอก (days to emergence; DTE): นับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร ทุกวัน เป็นระยะเวลา 14 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นคำนวณจากสูตร (Dhillon, 1995)

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

โดย n คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากในวันที่ 1, 2, ..., 14 และ d คือ จำนวนวันหลังเพาะเมล็ด 1, 2, ..., 14

เวลาที่ใช้ในการงอกถึง 50% (time to reach 50% germination; T_{50}): นับจำนวนต้นอ่อนปกติ ทุกวัน เป็นระยะเวลา 14 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นคำนวณจากสูตร (Coolbear et al., 1984)

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

โดย t_i คือ เวลาก่อนเมล็ดงอกเป็นต้นอ่อนปกติได้ครั้งหนึ่ง, t_j คือ เวลาถัดจากเวลา t_i , n_i คือ จำนวนต้นอ่อนปกติ ณ เวลา t_i , n_j คือ จำนวนต้นอ่อนปกติ ณ เวลา t_j และ N คือ จำนวนต้นอ่อนปกติทั้งหมด

เวลาเฉลี่ยในการงอก (mean germination time; MGT): นับต้นอ่อนปกติทุกวัน เป็นระยะเวลา 14 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณจากสูตร (Ellis and Robert, 1980)

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

โดย n คือ จำนวนต้นอ่อนปกติในวันที่ 1, 2, ..., 14 และ d คือ จำนวนวันหลังเพาะเมล็ด 1, 2, ..., 14

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ของข้อมูลคุณภาพเมล็ดพันธุ์พริกหวานลักษณะต่าง ๆ และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และ 0.01 โดยใช้โปรแกรมสถิติ R (Jompuk, 2012)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การมีรากงอกและความงอก

เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) และการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยน้ำหรือสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10, 30 และ 50% ไม่มีผลทำให้เมล็ดมีรากงอกและความงอกแตกต่างทางสถิติ (Table 1) โดยเมล็ดมีรากงอกสูง 90.00-94.50% และเมล็ดมีความงอกสูง 72.50-84.00% โดยต้นอ่อนปกติของพริกหวานมีระบบรากสมบูรณ์ ลำต้นตั้งตรง และใบเลี้ยง 2 ใบ (Figure 1A) แสดงว่าวิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและสารละลาย CaCl_2 ทุกระดับความเข้มข้น ไม่มีผลในการกระตุ้นความงอกของเมล็ดพริกหวาน อาจเป็นเพราะเมล็ดพริกหวานล็อตนี้เป็นเมล็ดพันธุ์ผสมเปิดที่คล้ายการพักตัวจากที่มีความงอกเริ่มต้น 55% เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน มีความงอกสูงขึ้นเป็น 74.00% แต่ความสม่ำเสมอของเมล็ดภายในล็อตค่อนข้างน้อย จึงทำให้เมล็ดแสดงศักยภาพสูงสุดแล้ว สอดคล้องกับ Prapanoppasin (1999) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริก ‘บางช้าง’ ที่มีความงอกเริ่มต้นสูง 97.5% ด้วยน้ำ เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ไม่มีผลทำให้เมล็ดมีความงอกแตกต่างทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (97.5-99.5%) อย่างไรก็ตาม การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10% มีแนวโน้มทำให้เมล็ดงอกสูงสุด คือ 84.00% ซึ่งสูงกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ที่มีความงอกเพียง 74.00% (ประมาณ 10%) เพราะสารละลาย CaCl_2 แตกตัวเป็น Ca^{2+} ที่สามารถปรับสมดุลความดันออสโมติก (osmotic pressure) ซึ่งมีผลต่อกระบวนการดูดน้ำของเมล็ด อีกทั้ง CaCl_2 มี Ca เป็นองค์ประกอบหลักที่มีความสำคัญต่อเสถียรภาพของเมมเบรน (membrane) ละลายน้ำได้ดี และ Ca เป็น co-factor ของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ซึ่งมีส่วนช่วยในการย่อยแป้งที่สะสมอยู่ในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) จากโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก จึงส่งเสริมการงอกของเมล็ด (Assefa et al., 2010; Reina and Pascual, 2001; Reina et al., 2001) นอกจากนี้ Wangsawang and Wangsawang (2024) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดมีความงอก 78.70 และ 67.70% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ที่มีความงอกเพียง 42.35%

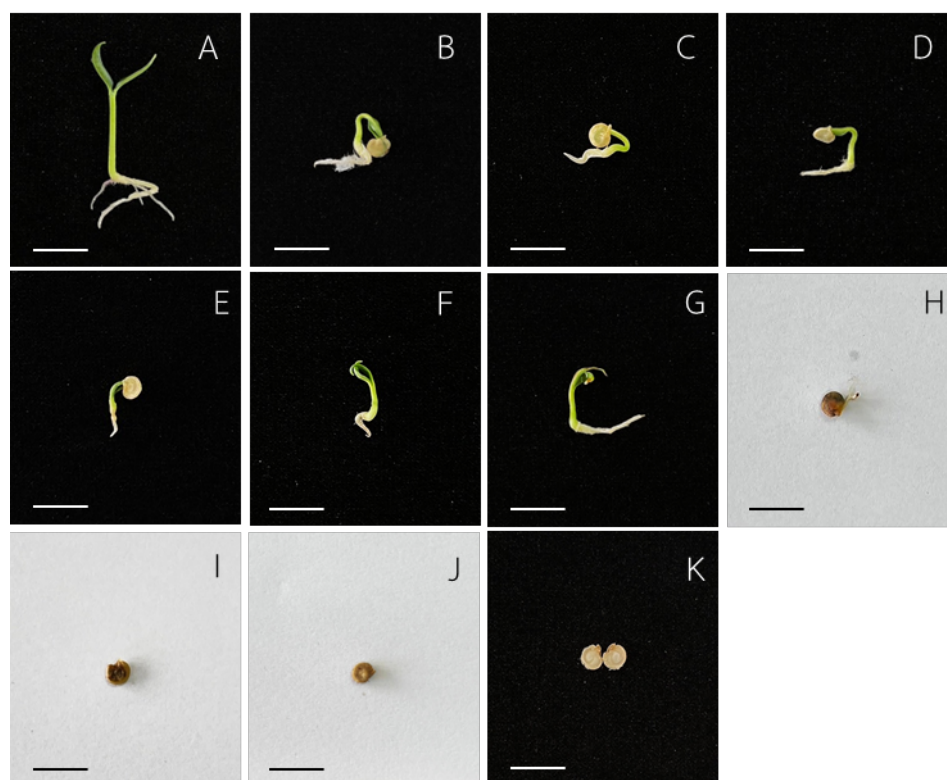
เมล็ดพริกหวานที่ไม่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีต้นอ่อนผิดปกติสูงที่สุด คือ 20.50% ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 30% โดยมีต้นอ่อนผิดปกติ 17.50% เท่ากัน (Figure 2) ต้นอ่อนผิดปกติส่วนใหญ่มีเปลือกเมล็ดยังติดอยู่กับใบเลี้ยง (cotyledons) เกิดจากเมล็ดงอกช้าจึงทำให้ต้นอ่อนพัฒนาช้า ใบเลี้ยงไม่สามารถดันเปลือกเมล็ดออกได้ (Figure 1B, C, D, E) และต้นอ่อนมีรากกุดสั้น (Figure 1E, F) ใบเลี้ยงมีสีน้ำตาล (Figure 1G) และเมล็ดมีรากงอกแต่ถูกเชื้อแบคทีเรียเข้าทำลาย (Figure 1H) ส่วนการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10% มีผลทำให้เกิดต้นอ่อนผิดปกติต่ำที่สุด คือ 7.00% (Figure 2) อาจเป็นเพราะ CaCl_2 มีส่วนช่วยในการเพิ่มความงอกและความแข็งแรงของเมล็ด ทำให้เมล็ดที่มีรากงอกพัฒนาไปเป็นต้นอ่อนปกติได้เพิ่มขึ้น จึงพบต้นอ่อนผิดปกติน้อยลง (Assefa et al., 2010)

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยน้ำและสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่มีผลทำให้เมล็ดสดและเมล็ดตายแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Figure 3 and 4) โดยมีเมล็ดสดเพียง 3.50-6.00% (Figure 2) ซึ่งเมล็ดมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยจากการที่เมล็ดสามารถดูดน้ำได้แต่ไม่งอก ทั้งนี้เอนโดสเปิร์มและเอนโดสเปิร์มภายในเมล็ดยังสดอยู่ (Figure 1K) แสดงว่าเมล็ดเกิดการพักตัวขั้นทุติยภูมิ (secondary dormancy) อาจเกิดในขั้นตอนการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ในสภาพที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์สูง นอกจากนี้ยังพบเมล็ดตายเพียง 1.50-5.50% (Figure 4) โดยเลือกเมล็ดมีเส้นใยสีดำจากเชื้อราขึ้นปกคลุมเมล็ด และมีเชื้อแบคทีเรียเข้าทำลายทำให้เกิดการเน่าและ (Figure 1I, 1J)

Table 1 Radicle emergence and germination percentages of sweet pepper seeds after priming with different CaCl_2 concentrations

Treatment	Radicle emergence (%)	Germination (%)
Non-primed seeds (control)	94.50±1.00	74.00±8.49
Hydropriming	90.00±4.32	72.50±7.55
Seed priming with 10% CaCl_2 solution	91.00±7.57	84.00±8.16
Seed priming with 30% CaCl_2 solution	92.00±4.90	74.50±6.61
Seed priming with 50% CaCl_2 solution	91.00±2.58	78.00±2.31
F-test	ns	ns
CV (%)	5.06	9.13

ns = not significantly different.

**Figure 1** Normal seedling of sweet pepper with a fully developed primary root, hypocotyl, and two cotyledons (A); abnormal seedlings: trapped cotyledons inside the seed coat (B–E), missing primary root (E, F), cotyledon senescence (G), infection (H), dead seed (I, J), and fresh seed (K). Bar indicates 1 cm.

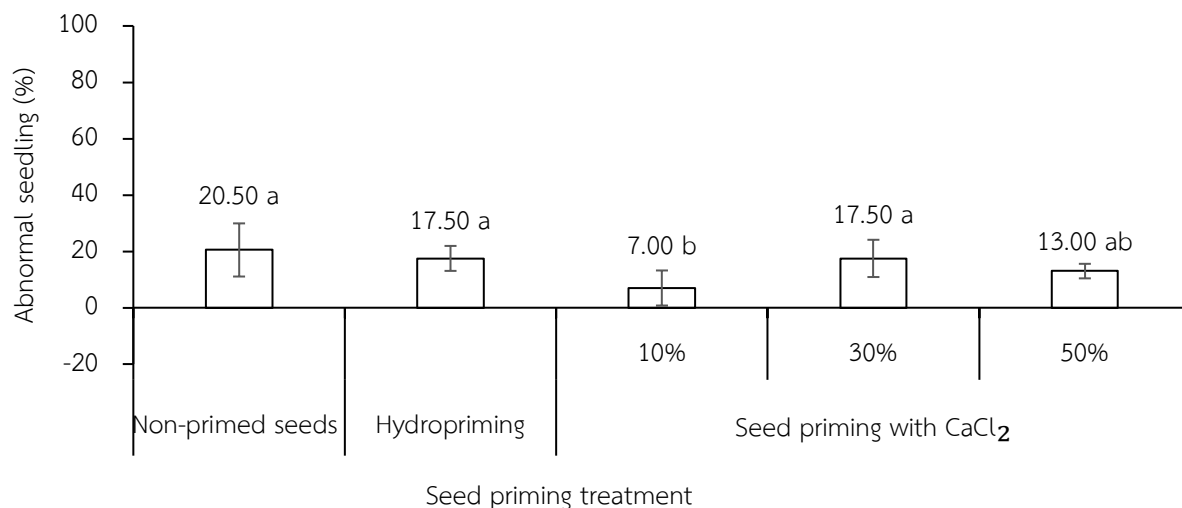


Figure 2 Abnormal seedlings of sweet pepper after priming with different CaCl_2 concentrations

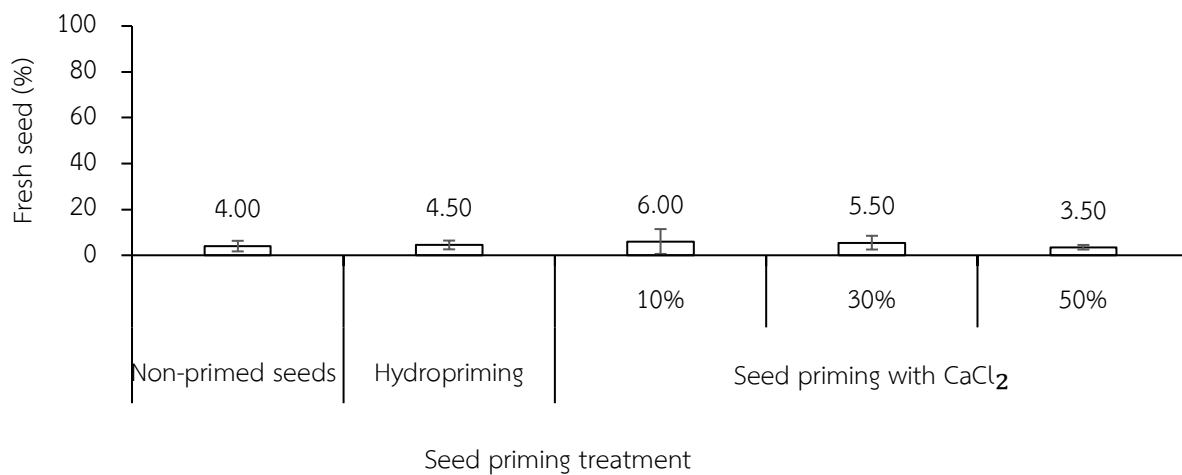


Figure 3 Fresh seeds of sweet pepper after priming with different CaCl_2 concentrations

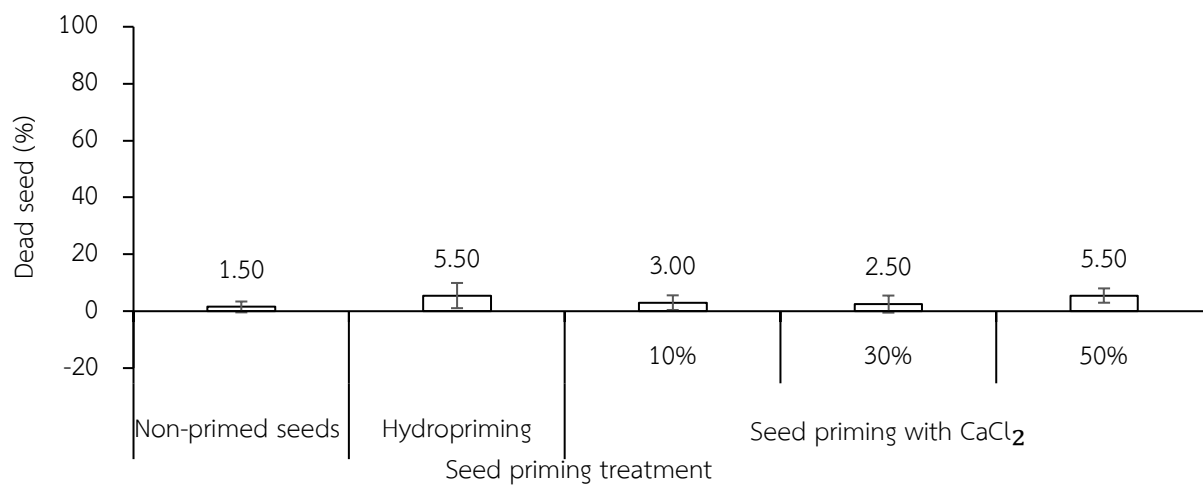


Figure 4 Dead seeds of sweet pepper after priming with different CaCl_2 concentrations

เวลาที่ใช้ในการมีรากงอกถึง 50% และจำนวนวันที่มีรากงอก

เมล็ดพริกหวานที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วที่สุด คือ 5.30 และ 6.08 วัน ตามลำดับ (Table 2) รองลงมา คือ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10% (5.81 และ 6.48 วัน ตามลำดับ) ในขณะที่เมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (ชุดควบคุม) ใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกช้าที่สุด คือ 6.84 และ 7.45 วัน ตามลำดับ แสดงว่าเมล็ดพริกหวานที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำมีความแข็งแรงจึงงอกรากได้เร็วกว่าเมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10, 30 และ 50% และเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ตามลำดับ เพราะการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำทำให้เมล็ดดูดน้ำบริสุทธิ์ได้เร็วจึงเข้าสู่ระยะ lag phase ได้เร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และปริมาณน้ำหรือความชื้นภายในเมล็ดเพียงพอในระยะที่ 2 หรือระยะงัน ทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเมล็ดสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จากนั้นลดความชื้นลง เมื่อนำเมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำไปปลูก เมล็ดจะดูดน้ำและเข้าสู่ระยะ lag phase ได้เร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 และเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากเมล็ดได้เตรียมพร้อมในการงอกแล้ว ทำให้เมล็ดแทงรากได้เร็วขึ้นและสม่ำเสมอ (McDonald, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับ Sa-ngasaeng et al. (2020) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘California’ ด้วยน้ำ เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (13.37 และ 15.33 วัน ตามลำดับ) จากการทดลองนี้พบว่า การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานทุกวิธีการมีผลทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Table 2) เพราะในกระบวนการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์จะต้องแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำ หรือสารละลาย ซึ่งน้ำสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่ย่อยสลายอาหารสะสมภายในเมล็ด เพื่อให้เมล็ดสามารถนำไปใช้ในกระบวนการงอกได้ (Chanprasert, 2010) นอกจากนี้ เมล็ดพริกหวานที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ทุกความเข้มข้น เพราะการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ RO เป็นน้ำบริสุทธิ์ที่มีค่าศักย์ (water potential; Ψ) สูง คือ 0 MPa เมื่อนำเมล็ดแห้งที่มีค่าศักย์ต่ำมากถึง -100 ถึง -200 MPa แช่ในน้ำบริสุทธิ์ เมล็ดจึงดูดน้ำอย่างรวดเร็ว จึงทำให้กระบวนการงอกเกิดขึ้นได้เร็ว (Chanprasert, 2010)

เมื่อพิจารณาวิธีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 10% มีค่าศักย์ -6.80 MPa ทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกรากถึง 50% และมีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 30% มีค่าศักย์ -20.41 MPa และ 50% มีค่าศักย์ -34.01 MPa (Table 2) เนื่องจากการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ที่ความเข้มข้นต่ำ 10% มีค่าศักย์สูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จึงทำให้เมล็ดดูดน้ำได้เร็วกว่า ดังนั้น กิจกรรมทางชีวเคมีในระยะที่ 2 หรือ lag phase จึงเกิดได้อย่างสมบูรณ์มากกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง (Siri, 2015) สอดคล้องกับ Aloui et al. (2014a) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริก ‘Baklouti’ ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ หรือ 0.1% เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ

Table 2 Time to reach 50% radicle emergence ($T_{50\text{RE}}$) and days to emergence (DTE) of sweet pepper seeds after priming with different CaCl_2 concentrations

Treatment	$T_{50\text{RE}}$ (days)	DTE (days)
Non-primed seeds (control)	6.84±0.17 a	7.45±0.27 a
Hydropriming	5.30±0.16 d	6.08±0.12 d
Seed priming with 10% CaCl_2 solution	5.81±0.28 c	6.48±0.36 c
Seed priming with 30% CaCl_2 solution	6.44±0.13 b	6.99±0.26 b
Seed priming with 50% CaCl_2 solution	6.26±0.18 b	6.91±0.10 b
F-test	**	**
CV (%)	3.10	3.56

** Means±SD within a column followed by the same letter are not significantly when DMRT method of mean comparison at 99% confidence.

เวลาที่ใช้ในการงอกถึง 50% และเวลาเฉลี่ยในการงอก

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10% และน้ำ มีผลทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% เร็วที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ คือ 11.51 และ 11.89 วัน ตามลำดับ (Table 3) เช่นเดียวกับเมล็ดใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ คือ 12.20 และ 12.36 วัน ตามลำดับ (Table 3) ส่วนเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์และเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 30% และ 50% ใช้เวลาในการงอกถึง 50% ช้าที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ คือ 12.63, 12.24 และ 12.38 วัน ตามลำดับ และเมล็ดใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกช้าที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ คือ 12.71, 12.68 และ 12.67 วัน ตามลำดับ แสดงว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10% และน้ำ ทำให้เมล็ดงอกเร็วและเจริญไปเป็นต้นอ่อนจนปกติได้เร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ เพราะเมล็ดที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ได้ผ่านกระบวนการดูดน้ำในระยะ 2 หรือระยะงัน (lag phase) อย่างเพียงพอแล้ว เมื่อนำเมล็ดไปเพาะหรือเมล็ดได้รับน้ำอีกครั้ง จึงทำให้เมล็ดงอกได้อย่างรวดเร็ว (Siri, 2015) นอกจากนี้ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ทำให้ค่าชลศักย์ของสารละลายต่ำลง เมล็ดจะดูดน้ำช้าลง ช่วยยืดระยะเวลาการดูดน้ำของระยะที่ 2 หรือระยะงัน (lag phase) ให้เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (McDonald, 2000) เช่นเดียวกับ Smith and Cobb (1991) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 200 และ 300 มิลลิโมลาร์ ทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% เร็ว 1.88 และ 3.93 วัน ตามลำดับ เปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ใช้เวลาในการงอกถึง 50% ช้าที่สุด คือ 6.47 วัน อีกทั้งสอดคล้องกับ Wangsawang and Wangsawang (2024) รายงานเมล็ดพริกขี้หนูสวน (*Capsicum frutescens*) ที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ และน้ำ RO เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกเร็ว 10.42 และ 11.33 วัน ตามลำดับ ซึ่งเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกช้า 12.53 วัน อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองนี้พบว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘ทันเดอร์’ ด้วยน้ำ เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทำให้เมล็ดใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (12.36 และ 12.71 วัน ตามลำดับ) ซึ่งขัดแย้งกับ Sangsaeng et al. (2020) รายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวาน ‘California’ ด้วยน้ำ เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ไม่มีผลทำให้เมล็ดใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกแตกต่างทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (21.34 และ 21.56 วัน ตามลำดับ) อาจเป็นเพราะคุณภาพเริ่มต้นของเมล็ดและพันธุ์พริกหวานแตกต่างกัน โดย ‘California’ มีความงอกเริ่มต้นเพียง 56.50% ซึ่งต่ำกว่า ‘ทันเดอร์’ ที่ใช้ในงานทดลองนี้มีความงอกสูง 74.00% จึงทำให้ตอบสนองต่อการกระตุ้นการงอกต่างกัน ซึ่งพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์อาจมีองค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ดแตกต่างกัน รวมถึงกระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเมล็ดจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน (McDonald, 2000)

Table 3 Time to reach 50% germination (T_{50}) and mean germination time (MGT) of sweet pepper seeds after priming with different CaCl_2 concentrations

Treatment	T_{50} (days)	MGT (days)
Non-primed seeds (control)	12.63±0.28 a	12.71±0.10 a
Hydropriming	11.89±0.40 bc	12.36±0.17 b
Seed priming with 10% CaCl_2 solution	11.51±0.23 c	12.20±0.07 b
Seed priming with 30% CaCl_2 solution	12.24±0.29 ab	12.68±0.08 a
Seed priming with 50% CaCl_2 solution	12.38±0.43 ab	12.67±0.19 a
F-test	**	*
CV (%)	2.75	1.00

**, *Means±SD within a column followed by the same letter are not significantly when DMRT method of mean comparison at 99% and 95% confidence, respectively.

สรุปผลการศึกษา

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกหวานด้วยสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 10% ที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง เป็นวิธีการที่ดีที่สุด เพราะทำให้เมล็ดมีความงอกสูงและเมล็ดมีความแข็งแรงสูง โดยเมล็ดงอกได้เร็วอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเหมาะสำหรับการผลิตต้นกล้าพริกหวาน

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรเขตร้อน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยในครั้งนี้

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม (idea) และ สมมุติฐาน, การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria, การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล, การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: จันทรเจตจำ สूरียะไชย, พิจิตรา แก้วสอน. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ จันทรเจตจำ สूरียะไชย, พิจิตรา แก้วสอน, เบญญา มะโนชัย. การให้การสนับสนุนเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และครุภัณฑ์: พิจิตรา แก้วสอน.

เอกสารอ้างอิง

- Aloui, H., Souguir, M., & Hannachi, C. (2014a). Determination of an optimal priming duration and concentration protocol for pepper seeds (*Capsicum annuum* L.). *Acta Agriculturae Slovenica*, 103(2), 213-221.
- Aloui, H., Souguir, M., Latique, S., & Hannachi, C. (2014b). Germination and growth in control and primed seeds of pepper as affected by salt stress. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 47(3), 83-95.
- Ameri, A., Fatemi, H., Aroiee, H., & Teixeira da Silva, J. A. (2011). What's the effect of saline priming on germination factors of *Capsicum annuum* var. 'California wonder' seeds? *Seed Science and Biotechnology*, 5(1), 47-49.
- Assefa, M. K., Hunje, R., Koti, R. V., & Biradarpatil, N. K. (2010). Enhancement of seed quality in soybean following priming treatments. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 23(5), 787-789.
- Basavaraja, P. K., Nagaraja, A., Jagadeesha, R. C., Yogeesh, H. S., & Junathaiah, H. (1998). Effect of copper ore tailings on fruit yield and seed quality of chilli. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 11(3), 815-817.
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (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>.
- Bewley, J. D., & Black, M. (1982). *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination Volume 2: Viability, Dormancy, and Environmental Control*. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Bewley, J. D., & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Springer.
- Bradford, K. J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience*, 21(5), 1105-1112.
- Chanprasert, W. (2010). *Seed Physiology*. Extension and Training Office, Kasetsart University. (in Thai).
- Chichaghare, A. R., Raj, R. M., Sreejith, M. M., & Noweshad, S. (2021). Seed treatment: breaking dormancy of seed. In Beura, S., Rout, S., Nayak, S., Pradhan, K., & Khare, N. (Ed.), *Recent Trends in Propagation of Forest and Horticultural Crops*, pp. 43-47. Taran Publishers.
- Coolbear, P., Francis, A., & Grierson, D. (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(160), 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.
- Duangyam, T. (2021). *Breeding of Hot-tolerant Sweet Pepper*. Department of Agriculture. (in Thai).
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). Improved equation for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany*, 45(1), 13-30.
- International Seed Testing Association. (2024). *International Rules for Seed Testing*. International Seed Testing Association.
- Jett, L. W., Welbaum, G. E., & Morse, R. D. (1996). Effects of matric and osmotic priming treatments on broccoli seed germination. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(3), 423-429.
- Jompuk, C. (2012). *Statistics: Experimental Design and Data Analysis in Plant Research Using "R"*. Kasetsart University Press. (in Thai).
- Keoboua, B., Yangkhamman, P., Saritnum, O., & Watcharawetsaringkharn, S. (2020). Effect of chitosan and bio-extract in seed priming process on germination and seedling growth of bird chili pepper. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 38(4), 441-448. (in Thai).

- Marín, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2004). Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 52(12), 3861-3869.
- McDonald, M. B. (2000). Seed priming. In Black, M., & Bewley, J. D. (Eds). **Seed Technology and Its Biology Basis**, pp. 287-326. Sheffield Academic Press, England.
- Munatsi, R., Charachimwe, R. R., Tembo, L., & Chandiposha, M. (2024). Response of sweet pepper (*Capsicum annuum*) to different priming treatments on germination and early growth. **International Journal of Science and Research Archive**, 13(2), 724-732.
- Parera, C. A., & Cantiffe, D. J. (1994). Presowing seed priming. **Horticultural Reviews**, 16(1), 109-141.
- Prapanoppasin, P. (1999). **Studies on Pepper Seed Priming by Hydropriming and Osmopriming**. Master's Special Problem. Kasetsart University. (in Thai).
- Randle, W. M., & Honma, S. (1981). Dormancy in peppers. **Scientia Horticulturae**, 14(1), 19-25.
- Reina, F. G., & Pascual, L. A. (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., Pascual, L. A., & Fundora, I. A. (2001). Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds part II experimental results. **Bioelectromagnetics**, 22(8), 596-602.
- Saleh, M. M., Abou-Hadid, A. F., & El-Beltagy, A. S. (1996). Sweet pepper emergence and seedling growth after seed pre-germination. **Acta Horticulturae**, 434(1), 335-340.
- Sa-ngasaeng, U., Chulaka, P., & Kaewson, P. (2020). Effects of concentration of KNO₃ solution and soaking duration during seed priming on quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds. **Thai Science and Technology Journal**, 28(7), 1301-1308. (in Thai).
- Serrano, M., Zapata, P. J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., & Valero, D. (2010). Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. **Food Chemistry**, 118(3), 497-503.
- Siri, B. (2015). **Seed Conditioning and Seed Enhancements**. Khon Kaen University. (in Thai).
- Smith, P. T., & Cobb, B. G. (1991). Accelerated germination of pepper seed by priming with salt solutions and water. **HortScience**, 26(4), 417-419.
- Wangsawang, T., & Wangsawang, S. (2024). Effect of Thai chili (*Capsicum frutescens* L.) seed priming for salinity tolerance with different chemical solutions and different soaking times on growth, yield, some physiological characteristics and secondary compounds contents. **Burapha Science Journal**, 29(3), 998-1021. (in Thai).