การเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์พริกหลังการไพร์มมิ่งด้วยความเร็วในการลดความชื้นต่างกัน

Quality Changes during Storage of Hot-chili Seeds Primed with Different Drying Speeds

วิริยา กิตติวัชนะ[1,2] เสริมศิริ จันทร์เปรม[1,2,3] วชิรญา อิ่มสบาย[1,2] และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ[1,2,3*]

Wiriya Kittiwatchana[1,2], Sermsiri Chanprame[1,2,3], Wachiraya Imsabai[1,2] and Thammasak Thongket[1,2,3 *]

บทคัดย่อ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่งและลดความชื้นด้วยความเร็วต่างกัน นำเมล็ดพันธุ์พริกชี้ฟ้าพันธุ์แม่ปิง ที่มีความงอก 98% มาทำฮาโล-ไพร์มมิ่งในสารละลาย KNO_3 2% นาน 3 วัน ก่อนนำไปลดความชื้น 2 วิธี คือ 1) แบบเร็ว (fast drying; FD) โดยบ่มในตู้ควบคุมความชื้นที่ 35% RH 3 วัน และ 2) แบบช้า (slow drying; SD) โดยบ่มในตู้ควบคุมความชื้นที่ 75% RH 2 วัน ตามด้วย 50% RH 2 วัน และ 35% RH อีก 3 วันตามลำดับจากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการไพร์มมิ่ง (กรรมวิธีควบคุม) และผ่านการไพร์มมิ่งแล้วลดความชื้นแบบ FD และ SD ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5°C) นาน 12 เดือน และอุณหภูมิสูง (40°C) นาน 6 เดือน พบว่า ก่อนเก็บรักษา เมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่งมีเปอร์เซ็นต์ความงอกไม่แตกต่างทางสถิติจากกรรมวิธีควบคุม แต่การไพร์มมิ่งและลดความชื้นแบบ SD ให้ความเร็วในการงอกมากกว่าแบบ FD และกรรมวิธีควบคุม และในระหว่างเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิ พบว่า เมล็ดพันธุ์กรรมวิธีควบคุมมีความงอกสูงที่สุดทั้ง 2 สภาพอุณหภูมิตลอดอายุเก็บรักษา การไพร์มมิ่งเมล็ดพันธุ์พริกและลดความชื้นแบบ SD ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอก และกิจกรรมของเอนไซม์แคทตาเลสในเมล็ดพันธุ์พริกลดลง มีการรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์และการสะสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นมากกว่าการลดความชื้นแบบ FD และกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความแตกต่างทางสถิติดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิสูงได้เร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

คำสำคัญ: การรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์ การงอกของเมล็ด ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อุณหภูมิ

Abstract

Changes of quality during storage of primed hot-chili seeds with different drying speeds were studied. Hot-chili seeds (*Capsicum annuum* L. cv. Mae-ping) with initial germination of 98% were halo-primed in 2% KNO_3 solution for 3 days. After soaking, seeds were subjected to two drying rates: fast drying (FD) by incubating in 35% RH for 3 days and slow drying (SD) by incubating in 75% RH 2 days, then 50% RH for 2 days and 35% RH for 3 days. Non-primed seed (control) and primed seeds were stored at 5°C for 12 months and at 40 °C for 6 months. The results revealed that before storage, germination percentage of primed hot-chili seeds were not significantly different from that of control seed. However, primed seed with SD had faster germination speed than primed seed with FD and control. During storage at both temperatures, the controlled seed had significantly highest germination percentage throughout the storage period. The germination percentage and catalase enzyme activity of SD primed hot chili seed were significantly lower and their electrolyte leakage and H_2O_2 content were significantly higher than that of FD primed seed and control. These significant differences occurred more rapidly in high temperature storing than that of low temperature condition.

Keywords: electrolyte leakage, germination, hydrogen peroxide, temperature

[1] ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม 73140 และ

[2] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10900

[3] ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

[1] Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

[2] Center of Excellence on Agricultural Biotechnology: (AG-BIO/MHESI), Bangkok 10900

[3] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

* Corresponding author, Email: thammasak.t@ku.th

คำนำ

พริกเป็นผักสำคัญของประเทศและมีพื้นที่ปลูกมากที่สุดถึง 167,443 ไร่ (Horticulture Research Institute, 2020) ในทศวรรษที่ผ่านมา เกษตรกรนิยมเปลี่ยนมาซื้อต้นกล้าพริกแล้วย้ายปลูกลงแปลงแทนการหยอดเมล็ดพันธุ์โดยตรง เพราะให้ความสะดวก รวดเร็วและมีความสม่ำเสมอของแปลงปลูกมากขึ้น ดังนั้นเมล็ดพันธุ์พริกที่จะนำมาผลิตเพื่อใช้ในการเพาะต้นกล้าต้องมีคุณภาพสูงกว่าในอดีต นอกจากเมล็ดพันธุ์ต้องมีเปอร์เซ็นต์ความงอกที่สูงแล้ว จำเป็นต้องงอกได้รวดเร็วและสม่ำเสมอด้วย ซึ่งเมล็ดพันธุ์พริกมักงอกช้า (มากกว่า 7 วัน) ดังจะเห็นได้ว่าในกฎของการทดสอบความงอกของ International Seed Testing Association (ISTA) กำหนดอายุนับความงอกครั้งสุดท้ายถึง 14 วัน มากกว่าพืชอีกหลายชนิด (ISTA, 2018) แต่ปัจจุบันการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์พริกภายหลังการเก็บเกี่ยวให้งอกได้รวดเร็วและสม่ำเสมอมากขึ้นสามารถทำได้โดยอาศัยเทคโนโลยีไพร์มมิ่งเมล็ดพันธุ์ (Seed priming) ซึ่งเป็นการควบคุมให้เมล็ดพันธุ์ดูดความชื้นในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อกระตุ้นให้เกิดกระบวนการทางชีวเคมีของกระบวนงอกของเมล็ดเกิดขึ้น และลดความชื้นในเมล็ดลงก่อนที่จะเกิดการงอกของรากเพื่อให้สามารถเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์นั้นชั่วคราว เมื่อนำเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำไพร์มมิ่งมาปลูกจะได้อัตราการงอกสูง สม่ำเสมอ และรวดเร็วขึ้นกว่าเดิม (Heydecker and Coolbear, 1977; Girolamo and Barbanti, 2012) วิธีการทำไพร์มมิ่งมีอยู่หลายเทคนิค สำหรับการทำไพร์มมิ่งเมล็ดพืชผักที่มีขนาดเล็ก เช่น เมล็ดพันธุ์พริก นิยมใช้เทคนิคฮาโลไพร์มมิ่ง (Halo-priming) ซึ่งใช้เป็นการไพร์มมิ่งเมล็ดในสารละลายเกลือชนิดต่าง ๆ ที่มีสมบัติเปลี่ยนแปลงแรงดันออสโมติกของน้ำ อาทิเช่น KNO_3 (Mal et al., 2019)

อย่างไรก็ตาม ปัญหาหนึ่งที่ทำให้การทำไพร์มมิ่งยังไม่ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางคือ ผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์นั้นที่อาจลดลง (Powell et al., 2000; Demir, 2003; Lin et al., 2005) โดยมีรายงานว่าผลกระทบของการทำไพร์มมิ่งต่ออายุเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์นั้น เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการลดความชื้นหลังการแช่เมล็ดพันธุ์ โดย Schwember and Bradford (2005) รายงานว่าการลดความชื้นแบบช้าช่วยให้เก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมที่ผ่านการทำไพร์มมิ่งได้นานกว่าการลดความชื้นแบบเร็ว ในทางตรงกันข้าม Lin et al. (2005) พบว่าการลดความชื้นแบบเร็วช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์มะระหลังไพร์มมิ่งได้ดีกว่าแบบช้า ดังนั้น การลดความชื้นหลังการทำไพร์มมิ่งที่ไม่เหมาะสมกับชนิดพืช อาจส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เกิดการเสื่อมคุณภาพได้เร็วขึ้น โดยการลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์เป็นการกำจัดน้ำปริมาณมากออกจากเมล็ดในเวลาอันสั้น จึงอาจมีผลต่อการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane degradation) กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับความคงตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane integrity) และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของเซลล์ (Welbuam et al., 1998) นอกจากนี้อุณหภูมิอากาศที่ใช้เก็บรักษาเมล็ดพันธุ์เป็นสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่ออายุเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์โดยทั่วไป (Copeland and McDonald, 2001) จึงอาจส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่งมาแล้วด้วย ซึ่งข้อมูลอิทธิพลของการลดความชื้นในกระบวนการไฟร์มิ่งเมล็ดพันธุ์พริกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพก่อนและหลังการเก็บรักษายังมีอยู่จำกัด โดยเฉพาะกับเมล็ดพันธุ์พริกในประเทศไทย ดังนั้น การศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการลดความชื้นให้กับเมล็ดพันธุ์พริกในกระบวนการทำไพร์มมิ่ง ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ในระหว่างการเก็บรักษาในอุณหภูมิเก็บรักษาที่แตกต่างกัน จึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงวิธีการทำไพร์มมิ่งให้กับเมล็ดพันธุ์พริกในประเทศไทยและวิธีการเก็บรักษาที่เหมาะสมของเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่งมาแล้ว

วิธีการศึกษา

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 4 ซ้ำ 3 กรรมวิธี กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม (Non-priming) กรรมวิธีที่ 2 และ 3 เป็นการไพร์มมิ่งแล้วตามด้วยการลดความชื้นแบบรวดเร็วและแบบช้า ตามลำดับ โดยใช้เมล็ดพริกชี้ฟ้าลูกผสมพันธุ์แม่ปิงจากบริษัทเพื่อนเกษตรกร จำกัด ร่อนผ่านตะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ให้มีขนาดสม่ำเสมอ จากนั้นฆ่าเชื้อโรคที่ผิวเมล็ดโดยการแช่เมล็ดในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 0.6% เป็นเวลา 10 นาที ก่อนล้างเมล็ดด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 5 นาที แล้วลดความชื้นภายในเมล็ดลงเหลือประมาณ 7% ในตู้ลดความชื้น (Desiccator) ก่อนบรรจุลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระหว่างรอการทำไพร์มมิ่ง

วิธีทดลอง

ไพร์มเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการฮาโลไพร์มมิ่ง โดยแช่เมล็ดพริกในสารละลายเกลือ KNO_3 เข้มข้น 2% (ศักย์ของสารละลายเท่ากับ -0.8 MPa) ใช้อัตราส่วนเมล็ด 10 กรัมต่อสารละลาย 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 3 วัน ก่อนล้างด้วยน้ำสะอาดนาน 5 นาที แล้วผึ่งเมล็ดในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แบ่งเมล็ดเป็น 2 กลุ่ม เพื่อนำไปผ่านการลดความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ด้วยความเร็ว 2 ระดับ ดังนี้ 1) แบบเร็ว (Fast drying; FD) โดยบ่มเมล็ดพันธุ์ในตู้ desiccator ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 15°C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 35% ด้วยการใช้สารละลายเกลือ $CaCl_2$ อิ่มตัว เป็นเวลา 9 วัน 2) แบบช้า (Slow drying; SD) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน เริ่มจากบ่มเมล็ดในตู้ desiccator ควบคุมอุณหภูมิที่ 15°C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75% ด้วยการใช้สารละลายเกลือ NaCl อิ่มตัว นาน 2 วัน จากนั้นนำเมล็ดไปไว้ในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิ 15°C และความชื้นสัมพัทธ์ 50% ด้วยการใช้สารละลายเกลือ $MgCl_2$ อิ่มตัว นาน 2 วัน และสุดท้ายบ่มเมล็ดพริกในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิ 15°C และความชื้นสัมพัทธ์ 35% ด้วยการใช้สารละลายเกลือ $CaCl_2$ อิ่มตัว นาน 3 วัน

หลังการลดความชื้น นำเมล็ดพันธุ์พริกควบคุม ที่ไม่ได้ผ่านการทำไพล์มมิ่ง และที่ผ่านการไพร์มมิ่งแล้วตามด้วยการลดความชื้นแบบ FD และแบบ SD บรรจุลงในซองอลูมินั่มฟอยด์ แยกไปเก็บรักษาไว้ใน 2 สภาพได้แก่ สภาพอุณหภูมิต่ำในตู้แช่ที่ 5°C และสภาพอุณหภูมิสูง ณ ห้องเก็บของภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม ซึ่งวัดอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลองได้ที่ 40± 1°C

การจัดเก็บข้อมูล

สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พริกที่เก็บรักษาทั้ง 2 สภาพฯ ละ 6 ครั้ง สภาพอุณหภูมิต่ำ ในเดือนที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 และสภาพอุณหภูมิสูง ที่ 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 หลังการเก็บรักษา มาวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ดังนี้

1. การทดสอบความชื้นเมล็ดพันธุ์ ด้วยวิธีการของ ISTA (2014) สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พริกจำนวน 2 กรัม ชั่งน้ำหนักเมล็ดพันธุ์ก่อนนำไปอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักเมล็ดพันธุ์อีกครั้งหลังอบ จากนั้นคำนวณหาความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยสมการ ข้างล่างนี้

$$\text{ความชื้นภายในเมล็ด (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(\text{น้ำหนักเมล็ดก่อนอบ} - \text{น้ำหนักเมล็ดหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักเมล็ดก่อนอบ}}$$

2. การงอกของเมล็ดพันธุ์ ทดสอบความงอกในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการทดสอบความงอกแบบมาตรฐาน (ISTA, 2014) วิธี Top of paper จำนวน 100 เมล็ด ต่อซ้ำ 4 ซ้ำ โดยวางกล่องเพาะที่อุณหภูมิ 25 °C และไม่มีแสงสว่าง ทำการบันทึกการงอกของต้นปกติทุกวันเป็นระยะเวลา 14 วัน คำนวณเปอร์เซ็นต์ความงอก (Germination) และระยะเวลาเฉลี่ยที่เมล็ดใช้ในการงอก (Mean germination time; MGT) โดยใช้โปรแกรม Seed germinator (Joosen et al., 2010)

3. ปริมาณการรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์ (Electrolyte leakage) ด้วยวิธีการของ Amooaghaie et al. (2010) โดยแช่เมล็ดพันธุ์พริก 30 เมล็ด ในน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาทำการวัดค่าการรั่วไหลของสารออกจากเมล็ดด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

4. กิจกรรมของเอนไซม์แคทตาเลส (Catalase, CAT) ด้วยวิธีของ Pukacka and Ratajczak (2005) บดเมล็ดพริก 0.5 กรัม ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 50 mM pH 8.0 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 15,000 g เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิลิตรผสมกับผสมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7) ความเข้มข้น 0.1 M สารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้น 24 mM วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 240 นาโนเมตร กิจกรรมของเอนไซม์ CAT หนึ่งหน่วยเท่ากับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 240 นาโนเมตร ที่ลดลงต่อเวลา 1 นาที ต่อมิลลิกรัมโปรตีน

5. ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ด้วยวิธีการของ Velikova et al. (2000) เติมสาร Trichloroacetic acid (TCA) ความเข้มข้น 1% ปริมาตร 5 ml ลงในเมล็ดพันธุ์พริกจำนวน 0.5 กรัม บดตัวอย่างให้ละเอียด นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ

15,000 g เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C ดูดสารละลายส่วนใสที่ได้จากขั้นตอนการสกัดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 50 mM pH 7.0 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เติมสารละลาย KI ความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 0.1 ml วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 390 nm เทียบค่าที่อ่านได้กับกราฟมาตรฐานของ H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแยกกันระหว่าง 2 สภาพอุณหภูมิเก็บรักษา โดยใช้โปรแกรม Statistical package for the social science for windows (SPSS) และแปลงค่าเปอร์เซ็นต์ความงอก ด้วยวิธีการ arcsine ก่อนการวิเคราะห์ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงของความชื้นในเมล็ดพันธุ์

ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกระหว่างการไพร์มิ่ง โดยแช่เมล็ดในสารละลายเกลือ KNO_3 และระหว่างการลดความชื้นแบบ FD และแบบ SD (Figure 1 A และ B) แสดงให้เห็นว่าความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกเข้าสู่ระยะ Phase II ของการดูดน้ำภายใน 24 ชั่วโมง หลังการแช่เมล็ด และระหว่างชั่วโมงที่ 24-72 เป็นช่วงที่เมล็ดมีกิจกรรมทางชีวเคมีในกระบวนการงอกที่เกิดขึ้นก่อนความชื้นลดลงจนยับยั้งการแทงรากของต้นอ่อน (Copeland and McDonald, 2001) ระยะเวลาการเกิดกิจกรรมทางชีวเคมีในเมล็ดพริกที่ถูกไพร์มมิ่งนี้ จึงขึ้นกับความเร็วของการลดความชื้นที่ใช้ ในที่นี้การลดความชื้นแบบ SD ที่ลดความชื้นอย่างช้า (ลดลงเหลือไม่เกิน 7% น้ำหนักแห้งภายใน 144 ชั่วโมง) จึงมีระยะเวลาการเกิดกิจกรรมทางชีวเคมีที่นานกว่าการลดความชื้นแบบ FD ซึ่งใช้เวลาเพียง 72 ชั่วโมง ก่อนที่ความชื้นในเมล็ดจะลดลงไม่เกิน 7% น้ำหนักแห้ง (Figure 1)

คุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการทำไพร์มมิ่ง

การวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดพันธุ์พริกหลังการทำไพร์มมิ่งก่อนเก็บรักษา พบว่า เมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่งแล้วตามด้วยการลดความชื้นในแบบเร็ว (FD) และแบบช้า (SD) มีเปอร์เซ็นต์ความงอกไม่แตกต่างกันทางสถิติจากเมล็ดพันธุ์พริกกรรมวิธีควบคุม โดยทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 98-99% แต่เมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่งมีความเร็วในการงอกมากกว่าเมล็ดพันธุ์พริกกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการทำไพร์มมิ่งและลดความชื้นแบบ SD งอกได้เร็วที่สุด โดยมีค่า MGT ต่ำสุดที่ 7.1 วัน ตามด้วยการทำไพร์มมิ่งและลดความชื้นแบบ FD ที่มีค่า 9.1 วัน ส่วนของเมล็ดพันธุ์พริกกรรมวิธีควบคุมมีค่าสูงสุดที่ 10.1 วัน ตามลำดับ (Table 1) ดังนั้น การทำไพร์มมิ่งเมล็ดพันธุ์พริกในการทดลองนี้ พบว่าสามารถเพิ่มความเร็วของการงอกแต่ไม่สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์พริกได้ เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพริกพันธุ์แม่ปิงล็อตที่นำใช้ในการทดลองนี้อยู่ในระดับที่สูง (98%) ใกล้กับความมีชีวิต (Viability) ของตัวเองแล้ว ส่วนความเร็วของการงอกที่เพิ่มขึ้นของเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการทำไพร์มมิ่งยังสัมพันธ์กับความเร็วของการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์พริก การลดความชื้นแบบช้า (SD) ให้ความเร็วในการงอกมากกว่าแบบเร็ว (FD) ในกระบวนการไพร์มมิ่ง เมื่อการดูดน้ำของเมล็ดเข้าสู่ระยะที่สอง (Phase II of water uptake) กระบวนการทางชีวเคมีภายในเมล็ดที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ดจะถูกกระตุ้นให้เกิดขึ้น เกิดการสร้างและจำลอง DNA และ RNA นำไปสู่การสร้างโปรตีน ไมโตคอนเดรีย และการซ่อมแซมเซลล์ (Chen and Arora, 2013) ยิ่งกระบวนการทางชีวเคมีเกิดขึ้นนานเท่าใด กระบวนการงอกของเมล็ดที่ถูกไพร์มมิ่งก็ยิ่งก้าวหน้ามากขึ้นเท่านั้น (Welbaum et al., 1998) จาก Figure 1 เมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการทำไพร์มมิ่งตามด้วยการลดความชื้นแบบ SD จึงมีความก้าวหน้าในกระบวนการงอกมากกว่าแบบ FD และแบบกรรมวิธีควบคุม ส่งผลให้เมื่อนำมาทดสอบความงอกในภายหลังจึงงอกได้รวดเร็วที่สุด รองลงมาคือแบบ FD ส่วนเมล็ดพันธุ์พริกกรรมวิธีควบคุมมีความเร็วในการงอกน้อยสุด เพราะไม่มีกระบวนการทางชีวเคมีของการงอกเกิดขึ้นล่วงหน้ามาก่อน ประโยชน์ของการทำไพร์มมิ่งในการเพิ่มความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ที่พบในการทดลองนี้ สอดคล้องกับรายงานการทำไพร์มมิ่งเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ (Afzal et al., 2011) และมะเขือยาว (Gomes et al., 2012)

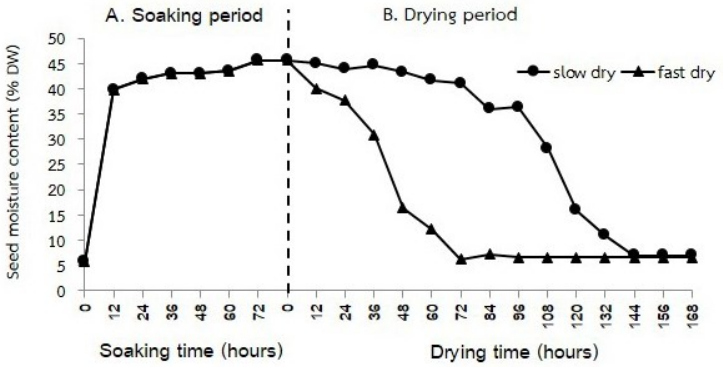

Figure 1 Changes of seed moisture contents during (A) soaking period and (B) drying period of hot-chili cv. Maeping primed in 2% KNO_3 solution with different drying rates.

Table 1 Germination percentage and mean germination time (MGT) of hot-chili seed cv. Maeping after priming in 2% KNO_3 solution followed by drying with different drying rates.

Treatments	Germination (%)	MGT (days)
Non-priming	98	10.1 a
Priming with fast drying	99	9.1 b
Priming with slow drying	98	7.1 c
Mean	98	8.7
F-test	ns	**
C.V. (%)	2.28	3.04

** Significant at 0.01 probability level.

Mean in the same column followed by the same latter are not significantly different by DMRT at P =0.05.

คุณภาพเมล็ดพันธุ์ในระหว่างการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์พริกระหว่างการเก็บรักษาพบว่าความชื้นในเมล็ดพันธุ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากความชื้นก่อนเก็บรักษาที่ 7% (ข้อมูลไม่ได้นำเสนอ) ในการศึกษาเปอร์เซ็นต์ความงอกระหว่างการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการทำไพร์มมิ่ง พบว่าการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความงอกขึ้นกับอุณหภูมิในการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำ (5°C) เมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่งแล้วลดความชื้นทั้งแบบ FD และ SD มีเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ไม่แตกต่างจากของเมล็ดพันธุ์พริกกรรมวิธีควบคุม ยกเว้นเดือนสุดท้ายของการเก็บรักษา (เดือนที่ 12) เมื่อพบว่าเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่งแล้วลดความชื้นแบบ SD มีเปอร์เซ็นต์ความงอกของลดลงและต่ำกว่าแบบ FD และกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 2a) ส่วนการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิสูง เมล็ดพันธุ์พริกทุกกรรมวิธีมีเปอร์เซ็นต์ความงอกที่ลดลงและพบความแตกต่างกันทางสถิติได้รวดเร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยพบว่าเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่งแล้วลดความชื้นแบบ SD มีเปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงและต่ำกว่าแบบ FD และกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่เดือนที่ 3 และสูญเสียความมีชีวิตอย่างสมบูรณ์ในเดือนที่ 6 ของการเก็บรักษา ในขณะที่แบบ FD ยังมีเปอร์เซ็นต์ความงอกไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมตลอดอายุการเก็บรักษา (Figure 2b)

ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane leakage) เป็นดัชนีบ่งชี้สภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ได้ เมล็ดพันธุ์ที่เริ่มเสื่อมจะมีการรั่วไหลของของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเยื่อหุ้มเซลล์มากกว่าที่ยังแข็งแรงอยู่ (Bewley et al., 2013) ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าเมล็ดพันธุ์พริกทั้งหมดมีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเยื่อหุ้มเซลล์เพิ่มขึ้นตามอายุการ

เก็บรักษา โดยเมล็ดพันธุ์พริกที่เก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิสูง มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ที่รวดเร็วและมากกว่าที่เก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรรมวิธีทำไพร์มมิ่งตามด้วยการลดความชื้นแบบต่าง ๆ เมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่งแล้วลดความชื้นแบบ SD มีปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเยื่อหุ้มเซลล์มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการเก็บรักษา รองลงมาได้แก่ แบบ FD ส่วนเมล็ดพันธุ์พริกกรรมวิธีควบคุมมีค่าการรั่วไหลของเซลล์น้อยที่สุด (Figure 2c และ 2d) ผลการศึกษาจึงชี้ว่าเมล็ดพันธุ์พริกมีการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์เพิ่มขึ้นตามอายุเก็บรักษา การเก็บรักษาที่สภาพอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ การทำไพร์มมิ่งทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เมล็ดพันธุ์เกิดการเสื่อมสภาพเร็วกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยการลดความชื้นแบบ SD ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์มากกว่าแบบ FD

CAT เป็นเอนไซม์หลักที่ทำหน้าที่ในการกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ให้เป็นน้ำ (H_2O) และออกซิเจน (O_2) (Bailly et al, 2008) การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ CAT ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระภายในเซลล์ของการทดลองนี้พบว่าในช่วงแรกของการเก็บรักษาทั้งสองสภาพอุณหภูมิ เมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการทำไพร์มมิ่งมีกิจกรรมของ CAT สูงกว่าเมล็ดพันธุ์พริกกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ก่อนลดลงในช่วงหลังจนมีค่าต่ำกว่าของเมล็ดพันธุ์ควบคุมในเดือนที่ 12 ของการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำ และในเดือนที่ 5 และ 6 สำหรับการเก็บรักษาที่ในสภาพอุณหภูมิสูง โดยเมล็ดพันธุ์พริกที่ถูกไพร์มมิ่งแล้วลดความชื้นแบบ SD มีกิจกรรม CAT ต่ำกว่าแบบ FD และเมล็ดพันธุ์พริกกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3a และ b) ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระหว่างการเก็บรักษา ที่พบว่าในช่วงแรก เมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่งแล้วลดความชื้นทั้งแบบ SD และ FD มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้อยกว่าของเมล็ดพันธุ์พริกกรรมวิธีควบคุม และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นตามอายุเก็บรักษาจนมีค่าสูงกว่าของเมล็ดพันธุ์พริกควบคุมในช่วงหลังของการเก็บรักษา ผลการศึกษาที่ได้จึงชี้ว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการไพร์มมิ่ง โดยเฉพาะเมื่อมีการลดความชื้นแบบ SD มีประสิทธิภาพลดลงเมื่ออายุเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จนเกิดการสะสมอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นและมากกว่าของเมล็ดพันธุ์พริกกรรมวิธีควบคุมในช่วงหลังของการเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิ โดยที่เก็บรักษาในอุณหภูมิสูงจะเกิดขึ้นในระดับที่รุนแรงกว่า (Figure 3c และ 3d)

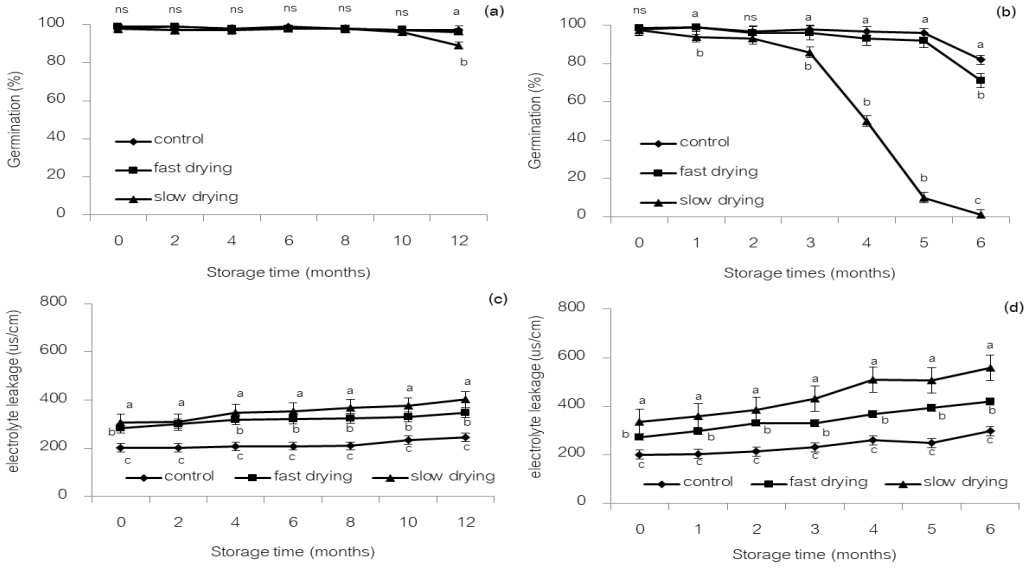

Figure 2 Changes of germination percentage and electrolyte leakage of unprimed (control) hot-chili seed and primed hot-chili seeds cv. Maeping with fast and slow drying rates during storing at 5°C (a and c) and storing at 40 °C (b and d); error bars indicate ± SD.

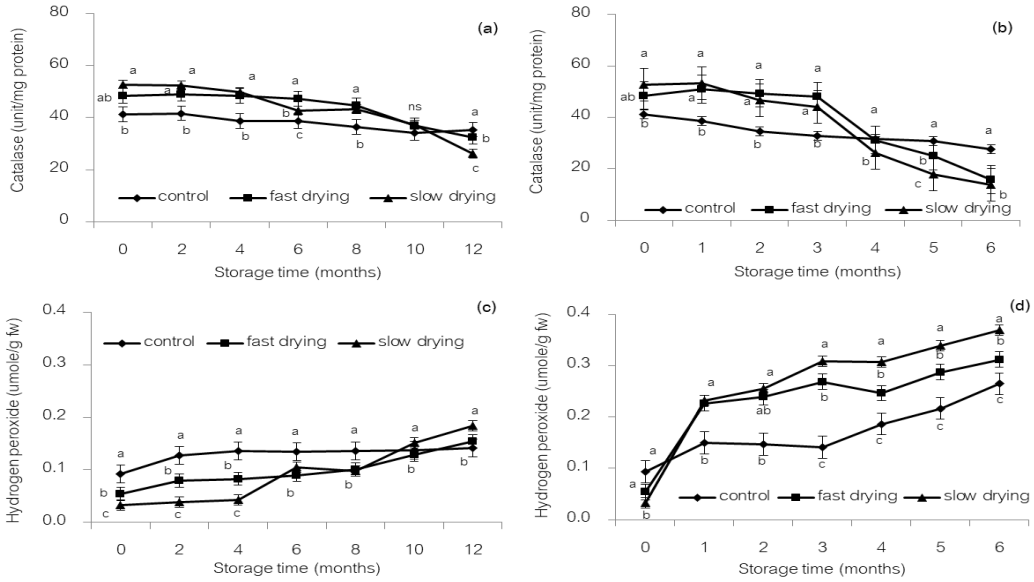

Figure 3 Changes in catalase activity and H_2O_2 content of unprimed (control) hot-chili seed and primed hot-chili seeds with fast and slow drying rates during storing at 5°C (a and c) and storing at 40 °C (b and d); error bars indicate ± SD.

ผลการทดลองทั้งหมดจึงชี้ว่าการทำฮาโล-ไพร์มมิ่งเมล็ดพันธุ์พริกแล้วตามด้วยการลดความชื้นด้วยความเร็วต่างกัน มีผลให้คุณภาพเมล็ดพันธุ์พริกระหว่างการเก็บรักษาลดลงต่ำกว่าเมล็ดพันธุ์พริกที่ไม่ผ่านการทำไพร์มมิ่ง กล่าวคือ เมล็ดพันธุ์กรรมวิธีควบคุมที่ไม่ผ่านการทำไพร์มมิ่ง มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงกว่าที่ผ่านการทำไพร์มมิ่งตลอดอายุการเก็บรักษาในทั้งสองอุณหภูมิเก็บรักษา ส่วนเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการทำไพร์มมิ่งมีเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์พริกลดลง มีการรั่วไหลของของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น กิจกรรมเอนไซม์แคทตาเลสลดลงและมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพิ่มขึ้น โดยการลดความชื้นแบบ SD หลังการทำไพร์มมิ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมากกว่าแบบ FD และการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิสูงกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้รวดเร็วและรุนแรงกว่าในสภาพอุณหภูมิต่ำ ซึ่งผลกระทบของการทำฮาโล-ไพร์มมิ่งต่อการลดลงของคุณภาพเมล็ดพันธุ์พริกในระหว่างการเก็บรักษานี้ น่าจะเกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพเยื่อหุ้มเซลล์จากการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชั่นโดยอนุมูลอิสระที่สะสมมากขึ้นเพราะการเสื่อมของระบบขจัดอนุมูลอิสระภายในเซลล์ของเมล็ดพันธุ์พริกภายหลังการไพร์มมิ่ง (Goel et al., 2003) โดยความรุนแรงของความเสียหายขึ้นกับความเร็วในการลดความชื้น ในการทดลองนี้พบว่า การลดความชื้นแบบ SD ทำให้เกิดเสื่อมของเยื่อหุ้มเซลล์มากกว่าแบบ FD โดย Buitink et al. (2003) รายงานว่าระหว่างการดูดน้ำในกระบวนการงอก เมล็ดพันธุ์จะเสียสมบัติด้าน Desiccation tolerance ชั่วคราว และสมบัตินี้จะกลับคืนมาได้เมื่อเมล็ดถูกทำให้แห้งลงอีกครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเมล็ดประเภท Orthodox อย่างไรก็ตาม Dekker et al. (2015) รายงานว่าเมล็ดพันธุ์สามารถเสียสมบัติด้าน Desiccation tolerance อย่างถาวรได้หากกระบวนการงอกนั้นก้าวหน้ามากเกินไป เพราะภายหลังที่เมล็ดดูดน้ำและมีกระบวนการทางชีวเคมีของการงอกเกิดขึ้น จะมีการนำโมเลกุลน้ำตาลในรูปต่าง ๆ ที่สะสมไว้ในเซลล์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานขับเคลื่อนกิจกรรมทางชีวเคมีดังกล่าว ดังนั้น ถ้ากระบวนการงอกก้าวหน้ามากไป น้ำตาลที่เก็บไว้ในเซลล์ซึ่งมีบทบาทต่อการคงตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ก็จะลดลงมากไปด้วย จนทำให้เกิดปัญหากับการคงตัวของเยื่อหุ้มเซลล์เมื่อเมล็ดพันธุ์ถูกลดความชื้นลง (Bryant et al., 2001) ผลการศึกษาความเร็วในการงอกหลังการทำไพร์มมิ่ง ในการทดลองนี้ ชี้ว่าเมล็ดพันธุ์พริกที่ถูกไพร์มและลดความชื้นแบบ SD มีความก้าวหน้าในกระบวนการงอกมากกว่าแบบ FD ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่าเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการทำไพร์มมิ่งแล้วลดความชื้นแบบ

SD นี้ได้เสียสมบัติด้าน Desiccation tolerance ไปมากกว่าแบบ FD ส่งผลให้เกิดความเสียหายกับเยื่อหุ้มเซลล์ได้มากกว่า ส่งผลให้เกิดการสูญเสียเปอร์เซ็นต์ความงอกมากกว่าและรวดเร็วกว่าในระหว่างการเก็บรักษา ผลกระทบของการลดความชื้นแบบ SD ในการทำไพร์มมิ่งเมล็ดพันธุ์พริกที่พบในการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับ Bruggink et al. (1999) ซึ่งทดลองกับเมล็ดเทียน (Impatient seed) แต่ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Gurusinghe and Bradford (2001) ซึ่งทดลองกับเมล็ดผักกาดหอม ความแตกต่างของผลการทดลองนี้อาจเกิดความแตกต่างของชนิดพืชและอัตราการลดความชื้นที่ใช้ในการศึกษา ดังนั้น การนำผลการทดลองนี้ไปปรับใช้กับพืชชนิดอื่นจึงต้องคำนึงถึงประเด็นดังกล่าวด้วย

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการทำฮาโล-ไพร์มมิ่ง แล้วตามด้วยวิธีลดความชื้นแบบรวดเร็ว (FD) และแบบช้า (SD) เปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการไพร์มมิ่ง เก็บรักษาใน 2 สภาพอุณหภูมิ คือ อุณหภูมิต่ำ 5°C เป็นเวลา 12 เดือน และอุณหภูมิสูง 40°C เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าก่อนเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์ความงอกไม่แตกต่างกัน (98-99%) แต่เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการไพร์มมิ่งงอกได้เร็วกว่า แต่ระหว่างการเก็บรักษา เมล็ดพันธุ์พริกที่ผ่านการทำไพร์มมิ่งตามด้วยการลดความชื้นแบบช้า มีเปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงมากกว่าการลดความชื้นแบบรวดเร็ว และที่ไม่ได้ผ่านการไพร์มมิ่งอย่างมีนัยสำคัญในเดือนที่ 12 ของเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (5°C) และในเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (40°C) ซึ่งน่าจะเกิดจากการลดความชื้นแบบช้าทำให้เมล็ดพันธุ์พริกเกิดความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ภายในเมล็ด และเกิดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในเยื่อหุ้มเซลล์ที่มากกว่า มีการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์แคทตาเลสที่เกี่ยวกับการขจัดอนุมูลอิสระ และมีการสะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากกว่าการลดความชื้นแบบเร็ว และมากกว่าของเมล็ดพันธุ์พริกที่ไม่ได้ผ่านการทำไพร์มมิ่ง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ยังเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิสูงได้รวดเร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น ในการทำฮาโล-ไพร์มมิ่งเมล็ดพันธุ์พริกที่ต้องมีการเก็บรักษาชั่วคราวก่อนการจำหน่าย ควรใช้วิธีการลดความชื้นแบบเร็ว (ลดลงต่ำกว่า 7% ภายใน 72 ชั่วโมง) และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (5°C) ก่อนนำไปจำหน่าย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

Afzal, I., Hussain, B., Basra, S. M. A. & Ullah, S. H. (2011). Halopriming triggers higher germination potential and early seedling growth of tomato. **Journal of Agriculture & Social Science**. 7, 105-108.

Amooaghaie, R., Nikzad, K. & Shareghi, B. (2010). The effect of priming on emergence and biochemical changes of tomato seeds under suboptimal temperatures. **Seed Science and Technology**. 38 (2), 508-512.

Bailly, C., El-Maarouf-Bouteau, H. & Corbineau, F. (2008). From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. **C.R. Biologies.** 311, 806-814.

Bewley J. D., Bradford, K., Hilhorst, H. & Nonogaki, H. (2013)**. Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. New York: Springer.

Bryant, G., Koste, K. L. & Wolfe, J. (2001). Membrane behaviour in seed and other systems at low water content: the various effects of solutes. **Seed Science Research.** 11, 17-25.

Buitink, J., Benoit, L. V., Satour, P. & Leprince, O. (2003). The re-establishment of desiccation tolerance in germinated radicles of Medicago truncatula gaertn seeds. **Seed Science Research.** 13, 273-286.

Bruggink G. T., Ooms, J. J. & Toorn, P. van der. (1999). Induction of longevity in primed seeds. **Seed Science Research**. 9, 49-53.

Chen, K. & Arora, R. (2013). Priming memory invokes seed stress-tolerance. **Environmental and Experimental Botany**. 94, 33-45.

Copeland, L. O. & McDonald, M. B. (2001). **Principle of Seed Science and Technology 4th edition.** Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

Dekkers, B. J. W., Costa, M. C. D., Maia, J., Bentsink, L., Ligterink, W. & Hikhorst, H. W. M. (2015). Acquisition and loss of desiccation tolerance in seeds: from experimental model to biological relevance. **Planta**. 241, 563-577.

Demir, I. (2003). Effect of controlled hydration treatment on quality of aubergine seeds following storage. **Phyton**. 43, 307-317.

Girolamo, G. D. & Barbanti, L. (2012). Treatment conditions and biochemical process influencing seed priming effectiveness. **Italian Journal of Agronomy**. 7(2), 178-188.

Goel, A., Goel, A. K. & Sheoran, I. S. (2003). Changes in oxidative stress enzymes during artificial ageing in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seeds. **Journal of Plant Physiology**. 160, 1093-1100.

Gomes, D. P., Silva, A. F., Dias, D. C. F. S., Alvarenga, E. M., Silva, L. J. & Panozzo, L. E. (2012). Priming and drying on the physiological quality of eggplant seeds. **Horticultural Brasileira.** 30, 484-488.

Gurusinghe, S. & Bradford, K. J. (2001). Galactosyl-sucrose oligosaccharides and potential longevity of primed seeds. **Seed Science Research**. 11, 121-133.

Heydecker, W. & Coolbear, P. (1977). Seed treatments for improve performance-survey and attempted prognosis. **Seed Science and Technology**. 5, 353-425.

Horticulture Research Institute. (2020) . **Hot-chili production situation.** Retrieved from: https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/10/hot-chili production situation. October 2020.pdf

International Seed Testing Association (ISTA). (2014). **Seed Vigour Testing: International Rules for Seed Testing**. Zurich: International Seed Testing Association.

International Seed Testing Association (ISTA). (2018). **ISTA Handbook on Seedling Evaluation.** 4th ed. Zurich: International Seed Testing Association.

Joosen, R. V. L., Kodde, J., Willems, L. A. J., Ligterink, W., Van der Plas, L. H. W. & Hilhorst, H. W. M. (2010). Germinator: a software package for high-throughput scoring and curve fitting of arabidopsis seed germination. **The Plant Journal**. 62(1), 148-159.

Lin, R. H., Chen, K. Y., Chen, C. L., Chen, J. J. & Sung, J. M. (2005). Slow post-hydration drying improves initial quality but reduces longevity of primed bitter gourd seed. **Scientia Horticulturae**. 106, 114-124.

Mal, D., Verma, J., Levan, A., Reddy, M. R., Avinash, A. V. & Velga, P. K. (2019). Seed priming in vegetable crops: a review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**. 8(6), 868-874.

Powell, A. A., Yule, L. J., Jung, H., Groot, S., Bino, R. J. & Pritchard, H. W. (2000). The influence of aerated hydration seed treatment on seed longevity as assessed by the viability equations. **Journal of Experimental Botany.** 51, 2031-2043.

Pukacka, S. & Ratajczak, E. (2005). Production and scavenging of reactive oxygen species in Fagus sylvatica seeds during storage at varied temperature and humidity. **Journal of Plant Physiology**. 162(8), 873-85.

Schwember, A. R. & Bradford, K. J. (2005). Drying rates following priming affect temperature sensitivity of germination and longevity of lettuce seeds. **HortScience.** 40(3), 778-781.

Velikova, V., Yordanov, I. & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**. 151(1), 59-66.

Welbaum, G., Shen, Z., Oluoch, M. O. & Jett, L. W. (1998). The evolution and effects of priming vegetable seeds. **Seed Technology**. 20(2), 209-237.

วันรับบทความ (Received date) : 21 ม.ค. 65
วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 29 มิ.ย. 66
วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 30 มิ.ย. 66
https://doi.org/10.55003/kmaj.2023.12.28.005