

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ระหว่างการพัฒนาของเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียว

Changes of seed quality during the development stage of waxy corn

ธวัชชัย ทองเฟื่อง^{1,2}, รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย³, พลัง สุริหาร^{1,2}, บุญมี สิริ¹, กมล เลิศรัตน์^{1,2}

และ ดนุพล เกษไชยสง^{1,2,*}

Tawatchai Thongfueng^{1,2}, Ratchada Tangwongchai³, Bhalang Suriharn^{1,2},

Boonmee Siri¹, Kamol Lertrat^{1,2} and Danupol Ketthaisong^{1,2*}

บทคัดย่อ: การเก็บเกี่ยวอย่างทันทั่วที่เป็นกลยุทธ์สำคัญ ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ให้ได้คุณภาพสูงสุด เพราะการเก็บเกี่ยวเร็ว หรือช้าเกินไป จะกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวที่เก็บเกี่ยวในแต่ละช่วงระยะพัฒนาการของเมล็ดต่างกัน โดยเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่อายุ 25 30 35 40 45 50 55 และ 60 วันหลังผสมเกสร (DAP) ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้นของเมล็ด และน้ำหนักแห้ง คุณสมบัติทางสรีรวิทยา ได้แก่ ความงอก ความแข็งแรงโดยวิธีการเร่งอายุ ความเร็วในการงอก อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า ค่าการนำไฟฟ้า และคุณสมบัติทางชีวเคมี ได้แก่ ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส (AMT) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (POD) และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ดำเนินการตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ผลการศึกษาพบว่า คุณสมบัติทางกายภาพและทางสรีรวิทยาของเมล็ดเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดี โดยสามารถทำการเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่อายุ 30 DAP ส่วนระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาอยู่ที่ 40 DAP ในส่วนของคุณสมบัติทางชีวเคมีในแต่ละระยะพัฒนาการนั้นพบว่า มีปริมาณสาร H_2O_2 สูงในช่วงอายุ 25 DAP หลังจากนั้นมีความลดลงต่ำสุดที่อายุ 35 DAP และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้งหลังจากระยะ 50 DAP ส่วนปริมาณสาร MDA มีแนวโน้มสูงขึ้น สวนทางกับ กิจกรรมของเอนไซม์ AMT และ POD ที่ลดลง ตามระยะเวลาที่การปล่อยเมล็ดไว้ในแปลง ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าระยะในแต่ละช่วงพัฒนาการของเมล็ด เป็นข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการวางแผนเพื่อกำหนดเวลาเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ ที่สามารถช่วยหลีกเลี่ยงความเสียหายจากภัยธรรมชาติที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการผลิตเมล็ดพันธุ์ได้

คำสำคัญ: การผลิตเมล็ดพันธุ์, พัฒนาการของเมล็ด, การสุกแก่ทางสรีรวิทยา, ความงอก, ความเครียดออกซิเดชัน

ABSTRACT: Timely harvest is an important strategy to achieve the highest quality seed production. Because harvested early or too late to affect the yield and seed quality. Therefore, the objective of this study was to studied on changes of seed quality during development stages of waxy corn seed. The waxy corn seed was harvested at 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60 days after pollination (DAP). The physical properties included seed moisture content and dry weight. The physiological properties

Received June 27, 2018

Accepted September 17, 2018

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

² ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Plant Breeding Research Center for Sustainable Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

³ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Department of Food Technology, Faculty of Technology, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

* Corresponding author: danuket@kku.ac.th

including seed vigor as determined by accelerated aging germination index seedling growth rate and electrical conductivity. The biochemical properties included hydrogen peroxide content (H_2O_2) catalase activity (CAT), peroxidase activity (POD) and malonaldehyde content (MDA) were investigated. This experiment was arranged in completely randomized design (CRD). Physical and physiological properties of seeds were harvesting index for to good quality of seed may start 30 DAP and the physiological maturity was 40 DAP. The biochemical properties were positive correlated the deterioration of waxy corn seed during harvested period, results showed that waxy corn seed was harvested at 25 DAP had the highest of H_2O_2 content, followed slight decreased until 35 DAP, and then trended to increase at 50 DAP. The MDA content was also to increased, while, the activities of the CAT and POD were decreased depend on duration of seed in the field. The information can be used to plan for seed harvesting, to avoid any damage of natural disaster during seed production.

Keywords: Seed production, Seed development, Physiological maturity, Germination, Oxidative stress

บทนำ

ข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy corn) เป็นข้าวโพดรับประทานฝักสดที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยในปี 2559 ประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดฝักสดมากกว่า 1,200 ตัน หรือคิดเป็นมูลค่า 234 ล้านบาท (สมาคมการค้าเมล็ดพันธุ์ไทย, 2560) ด้วยรสชาติและเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่มเป็นเอกลักษณ์ จึงทำให้ความต้องการของตลาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในประเทศไทยนิยมปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวหลังฤดูการทํานา เนื่องจากเป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นจึงเหมาะแก่การปลูกเพื่อเสริมรายได้ให้แก่เกษตรกรได้เป็นอย่างดี (Lertrat and Thongnarin, 2008)

การผลิตเมล็ดพันธุ์นอกจากต้องการผลผลิตในปริมาณมากแล้ว เมล็ดพันธุ์นั้นยังต้องมีคุณภาพสูง กล่าวคือเมล็ดพันธุ์สามารถงอกได้อย่างรวดเร็ว และมีความสม่ำเสมอทั้งในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม การใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพสูงทำให้ต้นทุนการเจริญเติบโตต่ำ ทำให้จำนวนประชากรต่อพื้นที่มีความเหมาะสม เป็นการใช้พื้นที่และเมล็ดพันธุ์อย่างคุ้มค่า ซึ่งช่วยลดต้นทุนค่าเมล็ดพันธุ์ จึงนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของผลตอบแทนที่ได้จากการเพาะปลูก (บุญมี, 2552) ดังนั้น การผลิตเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพสูงจึงเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญสำหรับผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ โดยการเก็บเกี่ยวอย่างทันเวลาที่เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ได้มาซึ่งเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากการเก็บเกี่ยวเร็วหรือช้าเกินไปจะส่งกระทบโดยตรงต่อปริมาณผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ดังนั้นระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่ควรที่ได้รับการพิจารณา โดยตัวชี้วัดที่นิยมนำมาประกอบการพิจารณา เพื่อกำหนด

ระยะเวลาเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ความชื้นเมล็ด น้ำหนักแห้งสูงสุด ความงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เป็นต้น (Macrobert et al., 2014) ลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นก็เป็นสิ่งที่กำหนดระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเช่นเดียวกัน ดังเช่นที่มีรายงานในข้าวโพดหวาน (พรพรรณ และคณะ, 2553; Cao et al., 2010) จึงอาจสรุปได้ว่าคุณภาพเมล็ดพันธุ์จะสูงสุดเมื่อเมล็ดมีการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุด นิยมเรียกระยะนี้ว่า ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) (บุญมี และคณะ, 2550; Guan, et al., 2013) นอกจากนี้การประเมินคุณสมบัติทางชีวเคมีก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่นิยมนำมาช่วยเพิ่มความแม่นยำในการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ การตรวจสอบปริมาณอนุมูลอิสระ H_2O_2 กิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ CAT และ POD และปฏิกิริยา lipid peroxidation และการตรวจวัดด้วยปริมาณสาร MDA ภายในเมล็ดพันธุ์ ที่จะตอบสนองจากความเครียดจากสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ความแห้งแล้ง และอุณหภูมิในพื้นที่แปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ ที่ชักนำให้เกิดอัตราการหายใจในระดับเซลล์สูงกว่าปกติ ส่งผลให้บริเวณเซลล์เนื้อเยื่อที่มีชีวิต เกิดการสะสมอนุมูลอิสระ H_2O_2 สูงขึ้นกว่าปกติ และกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระบกพร่องหรือลดลง จึงทำให้อนุมูลอิสระที่สูงกว่าปกติเป็นพิษต่อเซลล์ โดยเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ที่สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เซลล์สูญเสียความมีชีวิต เป็นเหตุให้ความมีชีวิต ความงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ลดลง (Bailey et al., 2008) เช่น การศึกษาในช่วงพัฒนาการของเมล็ดพันธุ์ทานตะวัน (Bailey et al., 2004) โดยเป็นที่นิยมทำการศึกษาในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ เช่น ถั่วลิสง (Veselova et al., 2015) เป็นต้น

ดังนั้น ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ สรีรวิทยา และชีวเคมี จากแต่ละระยะพัฒนาการของเมล็ด จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพิจารณาช่วงการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ที่จะคงคุณภาพไว้สูงสุด แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ลูกผสม ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและลักษณะทางชีวเคมีเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวในแต่ละระยะเวลาเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน ข้อมูลที่ได้นี้จะสามารถใช้เป็นองค์ความรู้พื้นฐานสำคัญในการจัดการกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม ในขั้นตอนการกำหนดวันเก็บเกี่ยว เพื่อจะช่วยให้เพิ่มศักยภาพการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมให้ได้คุณภาพที่ดี

วิธีการศึกษา

การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว

การศึกษานี้ใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวที่เป็นพันธุ์การค้าของ บริษัท เจียไต๋ จำกัด โดยปลูกผลิตเมล็ดพันธุ์ ณ แปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ ที่จังหวัดเชียงใหม่ ในฤดูหนาว ปี 2558/59 ระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึง กุมภาพันธ์ โดยทำการควบคุมการผสมพันธุ์ ทำการเก็บเกี่ยวฝักข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมพร้อมเปลือก จากต้นสายพันธุ์แม่ที่ระยะพัฒนาการของเมล็ดแตกต่างกัน 8 ระยะคือ 25 30 35 40 45 50 55 และ 60 วันหลังผสมเกสร (days after pollination; DAP) และอบลดความชื้นให้เหลือความชื้นสุดท้าย ต่ำกว่า 12 % ก่อนนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางสรีรวิทยา และทางชีวเคมี

1. การประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์

1.1 ความชื้นของเมล็ด ตามวิธีของ ISTA (1999) โดยใช้เมล็ด 5 กรัมต่อซ้ำ ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างฝักข้าวโพดในแต่ละระยะเก็บเกี่ยว แล้วอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เปิดฝากระป๋องอลูมิเนียมในระหว่างอบ เมื่อครบตามกำหนดเวลาปิดฝากระป๋องอลูมิเนียมนำไปใส่ในโหลสุญญากาศ ความชื้น ประมาณ 30-45 นาที ก่อนที่จะนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักแห้ง โดยคำนวณหาความชื้นมาตรฐานเปียก ดังนี้

ความชื้นของเมล็ด (%) = $\frac{(\text{น้ำหนักเมล็ดก่อนอบ} - \text{น้ำหนักเมล็ดหลังอบ})}{\text{น้ำหนักเมล็ดก่อนอบ}} \times 100$

1.2 น้ำหนักแห้ง ตามวิธีของ (Szymanek et al., 2015) ทำการสุ่มตัวอย่างในแต่ละระยะพัฒนาการของเมล็ดมา 4 ซ้ำ ๆ ละ 100 เมล็ด นำเมล็ดไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักเมล็ดหลังอบบันทึกเป็นน้ำหนักแห้งของเมล็ด

2. การประเมินคุณสมบัติทางสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์

2.1 การตรวจสอบความงอกด้วยวิธีมาตรฐานตามวิธีการของ ISTA (1999) เพาะเมล็ดด้วยวิธี Between paper (BP) จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด เพาะในตู้เพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การให้แสง 8 ชั่วโมงต่อวัน จากนั้นประเมินความงอกของเมล็ด ภายหลังจากเพาะ 7 วัน โดยคำนวณความงอก ดังนี้

$$\text{ความงอก (\%)} = \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ} \times 100}{\text{จำนวนเมล็ดที่ทดสอบ}}$$

2.2 การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการเร่งอายุ ดัดแปลงตามวิธีการของ Delouche and Baskin (1973) ทำการสุ่มตัวอย่างจากแต่ละระยะมา 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด เร่งอายุที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 ชั่วโมง แล้วนำเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุมาทดสอบความงอกตามขั้นตอนการตรวจสอบความงอกด้วยวิธีมาตรฐาน

2.3 ดัชนีการงอกของเมล็ด

การวัดดัชนีการงอก มีขั้นตอนวิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบความงอกแบบมาตรฐาน โดยประเมินจากการงอกของเมล็ดหลังทำการเพาะ เมื่อสังเกตเห็นรากโผล่ออกจากเมล็ด ประมาณ 2 มิลลิเมตร ในทุกวันหลังเพาะ ซึ่งคำนวณ ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ได้ดังนี้

$$\text{ดัชนีการงอก} = \text{ผลรวมของ} \left\{ \begin{array}{l} \text{จำนวนต้นที่งอก} \\ \text{จำนวนวันหลังเพาะ} \end{array} \right\}$$

2.4 อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า

วิธีการดำเนินการเช่นเดียวกับการเพาะทดสอบความงอกด้วยวิธี between paper (BP) ตามวิธีการของ

ISTA (1999) ทำการสุ่มเมล็ดข้าวโพดจากแต่ละระยะมาจำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด โดยจัดเรียงเมล็ดให้เป็นแถว ๆ ละ 25 เมล็ด จำนวน 2 แถว โดยให้แถวมีระยะห่างระหว่างแถว 2.5 นิ้ว เป็นเวลา 7 วัน จึงทำการประเมินต้นกล้า ตามขั้นตอนการประเมินต้นกล้า โดยแยกเฉพาะต้นกล้าปกติ มาตัดส่วนที่เป็นเมล็ดออก นำเฉพาะส่วนที่เป็นลำต้นและราก ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก รายงานหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อต้นกล้า คำนวณอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า ได้จากสูตร

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า} = \frac{\left[\text{น้ำหนักแห้งต้นกล้าปกติ} \right]}{\left[\text{จำนวนต้นกล้าปกติ} \right]}$$

2.5 ค่าการนำไฟฟ้า

โดยดัดแปลงตามวิธีการของ Marcos-filho (2015) สุ่มเมล็ดพันธุ์ในแต่ละระยะมา 4 ซ้ำ ๆ ละ 25 เมล็ด แช่น้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร แล้วนำไปไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง Conductivity meter รายงานหน่วย เป็น ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตรต่อกรัม เมล็ด ($\mu\text{S}^{-1}\text{cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ seed) คำนวณได้จาก

ค่าการนำไฟฟ้า = (ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย - ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกลั่น)

2. การตรวจสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีที่สำคัญต่อการเสื่อมคุณภาพเมล็ดพันธุ์

2.1 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

ดัดแปลงจากวิธีของ (Velikova et al., 2000) โดยสกัด จากเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการบด 0.2 กรัม เติม 0.1% Trichloroacetic acid (TCA) 1.5 มิลลิลิตร ทำการปั่นเหวี่ยงที่ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ทำการแยกสารละลายส่วนใสมาจำนวน 0.5 มิลลิลิตร เติม 10 mM potassium phosphate buffer (pH 7.0) 0.5 มิลลิลิตร และ 1 M Potassium iodide 1 มิลลิลิตร แล้วทำการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 390 nm หลังจากนั้นคำนวณหาปริมาณ H_2O_2 โดยเปรียบเทียบกับค่าดูดกลืนแสงมาตรฐานในแต่ละความเข้มข้น ของสาร H_2O_2

2.2 กิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ

ดัดแปลงจากวิธีการของ (Velikova et al., 2000) โดยตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดที่ผ่านการบด 200 มิลลิกรัม เติม Grinding buffer 1.5 มิลลิลิตร ทำการ

ปั่นเหวี่ยงที่ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วแยกสารละลายส่วนใส หรือสารสกัดเอนไซม์ที่ได้ นำไปตรวจสอบปริมาณโปรตีนตามวิธีของ Bradford (1976) และนำไปใช้ในขั้นตอนการตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในขั้นตอนต่อไป

การตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์คะตะเลส (EC 1.11.1.6) การตรวจวัดการลดลงของสาร H_2O_2 โดยเตรียมสารละลายที่ใช้ทำปฏิกิริยาทั้งหมด 2 มิลลิลิตร ประกอบด้วย 50 mM potassium phosphate buffer, (pH 7.0) 1.8 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.5 $\text{M H}_2\text{O}_2$ 0.1 มิลลิลิตร และสารสกัดเอนไซม์ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 240 nm แล้วคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์คะตะเลส โดยค่า extinction coefficient ($40 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$) ของ H_2O_2

การตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (EC 1.11.1.7) เตรียมสารทำปฏิกิริยา ซึ่งประกอบด้วย 10 mM potassium phosphate buffer (pH 7) 1.9 มิลลิลิตร 100 mM guaiacol 0.24 มิลลิลิตร และสารสกัดเอนไซม์ 0.04 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นเริ่มปฏิกิริยาโดยเติม 100 mM H_2O_2 0.820 มิลลิลิตร แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 nm ทันที โดยบันทึกค่าทุก 20 วินาที นาน 5 นาที นำค่าที่ได้ไปคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ในหน่วย nmole GDHP produced mg^{-1} protein/ min^{-1} โดยใช้ค่า extinction coefficient = $26.6 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$

2.3 ปริมาณสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA)

การตรวจสอบปริมาณสาร MDA โดยการจำลองการเกิดปฏิกิริยา ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ดัดแปลงจากวิธีของ Velikova et al. (2000) โดยสกัดเมล็ดข้าวโพดบด 0.2 กรัม เติม 0.1% Trichloroacetic acid (TCA) 1.5 มิลลิลิตร แล้วปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นแยกสารละลายส่วนใสมาจำนวน 0.5 มิลลิลิตร เติม 20 % TCA ที่มีส่วนผสมของ 0.5 % Thiobarbituric acid (TBA) 4 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 30 นาที หยุดปฏิกิริยาด้วยการแช่เย็นนาน 5 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 และ 600 nm แล้วนำค่าที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของ MDA โดยใช้ค่า extinction coefficient เท่ากับ $155 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance) ของลักษณะที่ศึกษาโดยใช้โปรแกรม Statistix8 ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์

การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวในแต่ละช่วงระยะพัฒนาการ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยความชื้นภายในเมล็ดจาก 63.6 % ที่ 25 DAP ลดลงเหลือ 31.2 % ที่ 60 DAP (Figure 1) ส่วนการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้ง พบว่า มีการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นจาก 6.61 กรัม เป็น 9.82 กรัม ในช่วงระยะพัฒนาการที่ 25 จนถึง 40 DAP หลังจากนั้นที่ระยะ 45 DAP น้ำหนักแห้งไม่มีการเพิ่มสูงขึ้นและคงที่จนถึงอายุ 60 DAP (Figure 1) แสดงให้เห็นว่า การพัฒนาของเมล็ดหลังได้รับการผสมเกสรจำเป็นต้องรักษาความชื้นภายในเมล็ด เพื่อให้เกิดกิจกรรมทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ที่มีผลต่อการพัฒนาของต้นอ่อน กิจกรรมอาหารสะสม และการพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ด กิจกรรมทางสรีรวิทยาที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นและน้ำหนักแห้งของเมล็ด ได้แก่ กิจกรรม

การสะสมอาหารไว้ในเมล็ด โดยในช่วงแรกของระยะพัฒนาการที่ 6 ถึง 12 DAP พบว่าในระยะพักสลายในเมล็ดมีปริมาณน้ำตาลสูง จากนั้นน้ำตาลจะเปลี่ยนไปเป็นแป้งสะสมในเนื้อเยื่อสะสมอาหาร ทำให้น้ำหนักแห้งเมล็ดเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มสูงสุดในระยะสุกแก่ของเมล็ด จากนั้นน้ำหนักแห้งของเมล็ดจะคงที่ (Leroux et al., 2014) ในขณะที่น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นนั้น ความชื้นภายในเมล็ดกลับลดลง การลดลงของความชื้นภายในเมล็ดจะเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยสภาพแวดล้อมในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน เช่นเดียวกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์ SK0001 ที่พบว่ามีความชื้นในเมล็ด 74.5% เมื่อเก็บเกี่ยวที่ 23 DAP และลดลงเหลือเพียง 39.9% เมื่อถึงอายุ 53 DAP (พรพรรณ และคณะ, 2553) ส่วนในการศึกษาของ Cao et al. (2010) พบว่า เมล็ดข้าวโพดหวานพิเศษ ยีน *shrunk-2* (*sh₂*) ได้มีการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดที่ระยะ 30 DAP ส่วนในข้าวโพดหวานลูกผสม 3 พันธุ์ ได้แก่ Chaotian 2018 Chaotian No.3 และ Shuyu No.1 มีการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดแตกต่างกันที่ระยะ 34, 38 และ 38 DAP ตามลำดับ (Guan et al., 2013) ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าการศึกษาที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวอยู่ที่ 40 DAP เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่มีน้ำหนักแห้งสูงสุด และระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ที่พิจารณาจากความชื้นของเมล็ดอยู่ในระดับต่ำและคุณภาพเมล็ดพันธุ์สูง นั้นอยู่ที่ ระยะ 40 45 และ 50 DAP

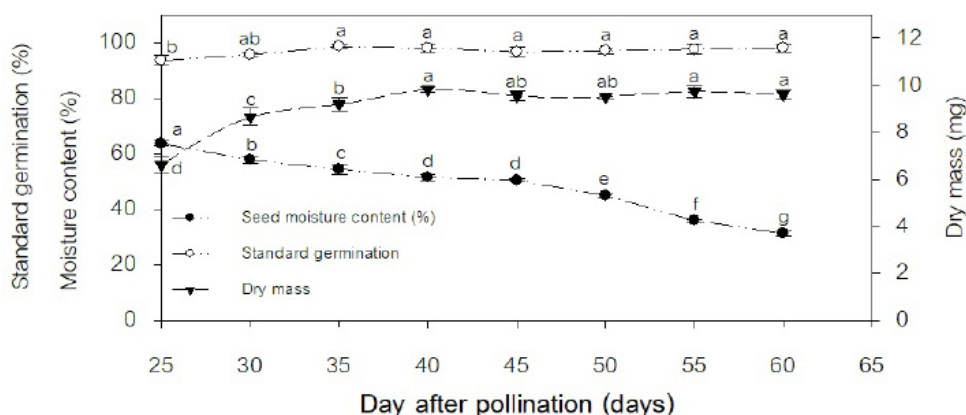


Figure 1 Relationship between standard germination seed dry mass and seed moisture content in waxy corn during seed development (25 30 35 40 45 50 55 and 60 DAP). Different letters indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ by LSD.

การตรวจสอบความงอกด้วยวิธีมาตรฐานในแต่ละระยะพัฒนาการ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยการเก็บเกี่ยวเมล็ดที่ระยะ 25 DAP มีความงอกต่ำที่สุด 93.5% และแตกต่างจากทุกช่วงระยะพัฒนาการของเมล็ด ซึ่งมีความงอกสูงกว่า 95% (Figure 1) การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ด โดยวิธีการเร่งอายุ ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำให้เมล็ดได้รับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม แล้วตรวจประเมินจำนวนต้นกล้าปกติ โดยเมล็ดที่มีความแข็งแรงสูงจะสามารถงอกได้ดีกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ พบว่า เมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวที่เก็บเกี่ยวจากช่วงระยะพัฒนาการต่างกัน เมื่อผ่านการเร่งอายุแล้วมีความงอกไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความงอกหลังผ่านการเร่งอายุอยู่ระหว่าง 85.0 ถึง 89.5% (Table 1) ซึ่งให้เห็นว่า ในระยะหลังการผสมเกสรที่ 25 วันเป็นต้นไป เมล็ดของข้าวโพดข้าวเหนียวมีการพัฒนาดันอ่อน และการสะสมอาหารในเมล็ดค่อนข้างสมบูรณ์ โดยเฉพาะการสะสมแป้งบริเวณเนื้อเยื่อสะสมอาหาร (endosperm) การสะสมแป้งในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวควบคุมด้วยยีนด้อย waxy (wx) และปริมาณแป้งสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนในระยะน้ำนมหรือในระยะฝักสด (milky stage) ของข้าวโพดข้าวเหนียว โดยเฉลี่ยอยู่ที่อายุ 20 DAP เห็นได้จากรายงานของ Ketthaisong et al. (2013) ที่พบว่าปริมาณแป้งในข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์ KKKU-UB KKKU-JD และ Violet white ที่ระยะ 20 หลังผสมเกสร มีปริมาณแป้งที่ 77.8 89.1 และ 82.2% ตามลำดับ อาจทำให้การเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว ในระยะพัฒนาการที่ 25 DAP เมล็ดจึงสามารถงอกได้ และตามการรายงานของ สกฤตกันต์ (2552) พบว่า เมล็ดข้าวโพดสายพันธุ์แท้ที่เก็บเกี่ยวในระยะ 23 DAP มีความงอกของข้าวโพดข้าวเหนียวสายพันธุ์แท้ 101wx และ 216wx อยู่ที่ 94 และ 90% ตามลำดับ ส่วนข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ 101su อยู่ที่ 64% และข้าวโพดหวานพิเศษสายพันธุ์แท้ 101bt และ 216sh₂ อยู่ที่ 50 และ 37% ตามลำดับ ส่วนการศึกษาในข้าวโพดหวานพิเศษ ยีน sh₂ ที่เป็นเมล็ดพันธุ์ลูกผสม โดยเก็บเกี่ยวที่ระยะพัฒนาการ 14 DAP พันธุ์ Chaotian2018 และ Shuyu No.1 มีความงอกอยู่ที่ 34.7 และ 51.3% ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นมากกว่า 85% ทั้งสองสายพันธุ์ที่ระยะพัฒนาการ 18 DAP (Cao et al., 2008)

การประเมินดัชนีการงอกของเมล็ด พบว่าการเก็บเกี่ยวจากช่วงระยะเวลาต่างกัน ทำให้ความเร็วในการงอกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยความเร็วในการงอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 9.35 ต้นต่อวัน ที่ระยะพัฒนาการ 25 DAP เป็น 12.38 ต้นต่อวัน ที่ระยะ 35 DAP จากนั้นค่อนข้างคงที่จนถึงที่ระยะ 60 DAP (Table 1) ส่วนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยระยะพัฒนาการที่ 25 DAP มีอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าต่ำสุดที่ 49.51 มิลลิกรัมต่อต้น ต่างจากระยะพัฒนาการที่ 40 DAP ที่เพิ่มขึ้นเป็น 62.82 มิลลิกรัมต่อต้น และในระยะพัฒนาการที่ 45 DAP อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ลดลงและค่อนข้างคงที่จนถึงระยะสุดท้ายของการศึกษาที่ 60 DAP จากผลการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดทั้งสองวิธีที่กล่าวมานั้น สังเกตได้ว่าพบว่าในระยะพัฒนาการของเมล็ดที่ 25 DAP เมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวมีความแข็งแรงต่ำกว่าทุกระยะพัฒนาการอย่างชัดเจน (Table 1) ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ พบว่าค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละระยะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ในระยะพัฒนาการที่ 25 DAP ค่าอยู่ที่ $0.0191 \mu S^{-1} cm^{-1} g^{-1}$ seed โดยมีความนำไฟฟ้าสูงกว่าทุกระยะพัฒนาการของเมล็ด แต่มีค่าต่ำสุดในช่วง 40 และ 45 DAP มีค่าอยู่ที่ 0.0073 และ $0.0075 \mu S^{-1} cm^{-1} g^{-1}$ seed ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากระยะที่ 45 DAP เริ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Table 1) สอดคล้องกับรายงานในข้าวโพดหวานพันธุ์ SK0001 ที่พบว่าระยะเก็บเกี่ยวที่ 23 DAP มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด และลดลงตามการพัฒนาของเมล็ดที่องค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเมล็ดมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (พรพรรณ และคณะ, 2553) จากผลการทดลองสังเกตได้ว่า การเก็บเกี่ยวเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวตั้งแต่ช่วงระยะพัฒนาการของเมล็ดที่ 30 DAP จะทำให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรง และการเก็บเกี่ยวในระยะพัฒนาการของเมล็ดที่ 40 DAP นั้นเป็นระยะที่เมล็ดมีความแข็งแรงสูงสุด เมื่อพิจารณาจากความเร็วในการงอกและอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าสูงสุด ส่วนการพิจารณาที่ค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพบว่าเป็นระยะที่เมล็ดมีความเสียหายน้อยที่สุดด้วย

Table 1 Changes of seed vigor such as accelerated aging, seedling growth rate, germination index and electrical conductivity in waxy corn during seed development.

Day after pollination (days)	Accelerated aging (%)	Germination Index	Seedling growth rate (mg/plant)	Electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)
25	85.0 $\pm$ 2.6	9.35 $\pm$ 0.2 d	49.51 $\pm$ 0.7 e	0.0191 $\pm$ 0.001 a
30	87.5 $\pm$ 1.0	11.94 $\pm$ 0.1 c	52.18 $\pm$ 1.3 d	0.0143 $\pm$ 0.001 b
35	86.5 $\pm$ 3.4	12.38 $\pm$ 0.3 a	50.89 $\pm$ 1.6 de	0.0109 $\pm$ 0.002 c
40	89.5 $\pm$ 3.8	12.25 $\pm$ 0.2 ab	62.82 $\pm$ 1.5 a	0.0073 $\pm$ 0.001 e
45	86.5 $\pm$ 1.0	12.06 $\pm$ 0.2 bc	54.61 $\pm$ 1.4 c	0.0075 $\pm$ 0.001 e
50	87.5 $\pm$ 1.0	12.14 $\pm$ 0.1 abc	54.64 $\pm$ 0.6 c	0.0083 $\pm$ 0.002 de
55	86.0 $\pm$ 1.8	12.19 $\pm$ 0.2 abc	55.87 $\pm$ 1.3 c	0.0091 $\pm$ 0.001 cde
60	86.5 $\pm$ 3.0	12.25 $\pm$ 0.2 ab	58.50 $\pm$ 1.2 b	0.0104 $\pm$ 0.000 cd
Min	85.0	9.4	49.5	0.0073
Max	89.5	12.4	62.8	0.0191
Mean	86.9	11.8	54.9	0.0109
F-test	ns	**	**	**
C.V.%	3.0	1.7	2.3	8.7

ns, *, ** = not significant, significantly different at $p \leq 0.05$ and 0.01 , respectively. Mean $\pm$ standard deviation.

Means in the same column with different are significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD.

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่สำคัญต่อการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

สภาพปกติของเมล็ดพันธุ์ที่มีชีวิตจะพบว่ามีกระบวนการหายใจระดับเซลล์เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นการก่อให้เกิดอนุมูลอิสระได้ตลอดเวลา จากการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวจากแต่ละช่วงพัฒนาการต่างกัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสารอนุมูลอิสระ H_2O_2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยในระหว่างพัฒนาการที่ 25 DAP มีปริมาณสาร H_2O_2 สูงสุด มีค่าอยู่ที่ $11.01 \mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$ และลดลงต่ำสุดที่ 35 DAP มีค่าอยู่ที่ $5.68 \mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งที่ระยะพัฒนาการ 55 และ 60 DAP มีค่าอยู่ที่ 8.44 และ $10.12 \mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$ ตามลำดับ (Figure 3B) เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวที่เก็บเกี่ยวในระยะพัฒนาการที่ 25 DAP พบว่ามีปริมาณ H_2O_2 สูงสุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากในช่วงระยะเวลาดังกล่าวยังมีกิจกรรมการหายใจระดับเซลล์เกิดขึ้นในอัตราสูงและเกิดขึ้นตลอดเวลา เนื่องจากส่วนประกอบที่ทำหน้าที่หายใจระดับเซลล์โดยใช้ออกซิเจนที่สำคัญ ได้แก่ chloroplast และ mitochondria ยังอยู่ในสภาวะสมบูรณ์พร้อมทำหน้าที่สร้างสารพลังงานสูง (adenosine triphosphate: ATP) นำไปใช้ในการ

สังเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเมล็ดให้สมบูรณ์เต็มที่ จึงมีการปลดปล่อยสารอนุมูลอิสระสูงขึ้น (Gill and Tuteja, 2010) แต่ในระยะเก็บเกี่ยวที่ 30 และ 40 DAP พบว่ามีแนวโน้มของปริมาณ H_2O_2 ลดลง เนื่องจากเป็นระยะที่เมล็ดเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ซึ่งเป็นระยะที่สิ้นสุดการพัฒนาก่อประกอบต่าง ๆ ภายในเมล็ด จึงทำให้เมล็ดจำกัดอัตราการหายใจระดับเซลล์ ที่เป็นกลไกการรักษาความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ให้ยาวนานขึ้น (Bewley and Black, 1978) สอดคล้องกับการรายงานการศึกษาในเมล็ดทานตะวัน (Bailey et al., 2004) แต่หลังจากระยะพัฒนาการที่ 50 DAP การเปลี่ยนแปลงปริมาณ H_2O_2 ภายในเมล็ดสูงขึ้น อาจเป็นเพราะปัจจัยสภาพแวดล้อมในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ เช่น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งถ้าปล่อยเมล็ดไว้ในแปลงเป็นระยะเวลานานเกินไป จะเป็นการเสี่ยงที่จะได้เมล็ดที่มีคุณภาพลดลง ซึ่งเปรียบเสมือนการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญมากในการควบคุมอนุมูลอิสระภายในเซลล์ ไม่ให้สูงมากจนก่อให้เกิดความพิษต่อเซลล์ และจากการตรวจสอบกิจกรรมของเอนไซม์ CAT และ POD ในแต่ละช่วงพัฒนาการของเมล็ด พบว่าระยะพัฒนาการส่งผล

ให้กิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดย กิจกรรมของเอนไซม์ CAT มีแนวโน้มลดลงตลอด ช่วงพัฒนาการของเมล็ด โดยที่ 25 และ 30 DAP มี กิจกรรมของเอนไซม์สูงสุดอยู่ที่ 9.15 และ 8.94 $\text{nmol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ ตามลำดับ และลดลงต่ำสุดที่ 60 DAP มีค่าอยู่ที่ 7.30 $\text{nmol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ ส่วน กิจกรรมของเอนไซม์ POD พบว่า ในช่วงพัฒนาการที่ 25 30 35 และ 40 DAP มีกิจกรรมของเอนไซม์สูง มีค่าอยู่ที่ 194.6 206.7 162.1

และ 191.9 $\text{nmol GDHP mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ ตามลำดับ และลดลงต่ำสุดที่ 60 DAP มีค่าอยู่ที่ 85.5 $\text{nmol GDHP mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ (Figure 3A) โดยการเปลี่ยนแปลงของ กิจกรรมของเอนไซม์ CAT และ POD ที่มีแนวโน้มลดลง ส่วนทางกับระยะเวลาการที่ปล่อยเมล็ดไว้ในแปลงผลิต เมล็ดพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว ได้รับความเครียดจากสภาพแวดล้อม จึงส่งผลต่อกิจกรรม ของเอนไซม์ CAT ลดลง เนื่องจากในสภาวะเครียดส่งผล ทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์โปรตีน จึงมีผลทำให้ การสังเคราะห์เอนไซม์ลดลงด้วยเช่นเดียวกัน (Shaban,

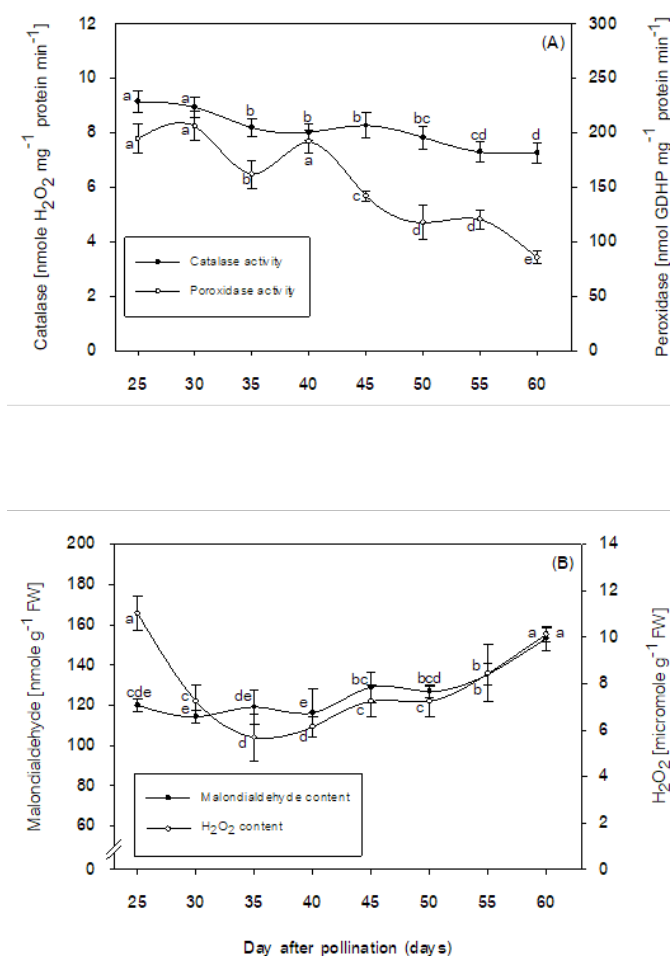


Figure 3 Relationship between catalase activity peroxidase activity (A) malonaldehyde content and hydrogen peroxide content (B) in waxy corn during seed development, on 25 30 35 40 45 50 55 and 60 DAP. Different letters indicate statistically significant differences at $p \leq 0.05$ by LSD.

2013)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ในแต่ละช่วงระยะพัฒนาการ พบว่าในระยะพัฒนาการที่ 25, 30, 35 และ 40 DAP มีปริมาณสาร MDA อยู่ในลำดับต่ำ 120, 114, 119 และ 116 nmol g⁻¹ FW ตามลำดับ (Figure 3 B) และในระยะพัฒนาการที่ 45, 50, 55 และ 60 DAP พบว่าปริมาณสาร MDA มีแนวโน้มสูงขึ้น 0.129, 0.127, 0.136 และ 0.153 nmol g⁻¹FW ตามลำดับ อาจเป็นผลจากการที่กิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระลดลง และจากการที่ปริมาณ H₂O₂ และ MDA ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นถือว่าเป็นสัญญาณการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์เนื่องจากสารอนุมูลอิสระกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ที่เกิดจากปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันที่สร้างความเสียหายต่อเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane) ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านสารละลายภายในเซลล์ (Gill and Tuteja, 2010) ถึงแม้ว่าคุณสมบัติทางชีวเคมีเป็นสิ่งที่ส่งผลต่อการเสื่อมคุณภาพเมล็ดพันธุ์ แต่เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับคุณสมบัติทางสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวระหว่างช่วงพัฒนาการที่ 25 ถึง 60 DAP พบว่า ไม่ส่งผลกระทบต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์แต่อย่างใด

สรุป

การเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ระยะพัฒนาการที่ 30 DAP ซึ่งเป็นระยะพัฒนาการที่ทำให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดี ส่วนระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวอยู่ที่ 40 DAP และการเสื่อมคุณภาพเมล็ดพันธุ์นั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่อยู่ในแปลง ดังนั้น อายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมที่ 40 DAP และไม่ควรมากเกิน 50 DAP และมีความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์อยู่ในระดับต่ำ สะดวกต่อการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ส่วนผลการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่อการเสื่อมคุณภาพเมล็ดพันธุ์พบว่า หากเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ล่าช้าเกินไป ทำให้มีแนวโน้มที่จะได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพลดลง สังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระ H₂O₂ และสาร MDA จากปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชัน สวนทางกับกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ CAT และ POD ที่ลดลงตามระยะเวลาที่

ปล่อยเมล็ดพันธุ์ทิ้งไว้ในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) สัญญาเลขที่ MSD5810015 บริษัท เจียไต๋ จำกัด และศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- บุญมี ศิริ, วีระวัช สุวรรณนวล และเรณู ผาหัดง. 2550. อายุสุกแก่ทางสรีรวิทยาและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ทานตะวันลูกผสมพันธุ์ ALRA012. เก่นเกษตร 35 (ฉบับพิเศษ): 72-76.
- บุญมี ศิริ. 2552. วิทยาการเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- พรพรรณ ศรีทอง, กาญจนา ตะธา, จุฑามาศ ร่มแก้ว, กนกวรรณ เทียงธรรม, วันชัย จันทร์ประเสริฐ, และ ชุศักดิ์ จอมพุก. 2553. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีในระหว่างการพัฒนาของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน. รายงานการประชุมทางวิชาการเมล็ดพันธุ์พืชแห่งชาติครั้งที่ 7. ณ โรงแรมทีคอปด์แลนด์. พิษณุโลก.
- สกุลกานต์ สิมลา, กมล เลิศรัตน์ และ พลัง สุริหาร. 2552. การตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพการบริโภคในข้าวโพดข้าวเหนียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- สมาคมการค้าเมล็ดพันธุ์ไทย. 2560. สถิตินำเข้า-ส่งออกเมล็ดพันธุ์ควบคุม. แหล่งข้อมูล: <http://www.thasta.com/web/index.php/2016-05-29-01-47-24/2016-05-29-01-48-39>. ค้นเมื่อ 7 สิงหาคม 2560.
- Baily, C., J. Leymarie, A. Lehner, S. Rousseau, D. Come, and F. Corbineau. 2004. Catalase activity and expression in developing sunflower seeds as related to drying. J. Exp

- Bot. 55 : 475 – 483.
- Bailly, C., H. El-maarouf-bouteau, and F. Corbineau. 2008. From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. *C.R. Biologies*. 331 : 806 – 814.
- Bewley, J. D., and M. Black. 1978. Physiology and biochemistry of seed in relation to germination Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. pp: 305.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem*. 72 : 248 – 254.
- Cao, D.D., J. Hu, X. Huang, X. Wang, Y. Guan, and Z. Wang. 2008. Relationships between changes of kernel nutritive components and seed vigor during developmental stages of F1 seeds of *sh₂* sweet corn. *J. Zhejiang Univ Sci B*. 9 : 964 – 968.
- Cao, D. D., J. Hu, S. Zhu, W. Hu, and A. Knapp. 2010. Relationship between changes in endogenous polyamines and seed quality during development of *sh₂* sweet corn (*Zea mays* L.) seed. *Scientia Horticulturae*. 123 : 301 – 307.
- Delouche, J.C., and C.C. Baskin. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Sci. & Techno*. 1: 27- 452.
- Gill, S. S., and N. Tuteja. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48 : 909–930.
- Guan, Y.J., J. Hu, Z. Wang, S. Zhu, J. Wang, and A. Knapp. 2013. Time series regression analysis between changes in kernel size and seed vigor during developmental stage of *sh₂* sweet corn (*Zea mays* L.) seeds. *Scientia Horticulturae*. 154: 25 – 30.
- ISTA. 1999. International seed testing associate. international rules for seed testing. *Seed Science and Technology*. 27. Supplement. Zurich, Switzerland. Kozlowski T.T. (ed.) Seed biology. Academic Press, New York.
- Ketthaisong, D., B. Suriham, R. Tangwongchai, and K. Lertrat. 2013. Changes in physicochemical properties of waxy corn starches at different stages of harvesting. *Carbohydrate Polymers*. 98 : 241 – 248.
- Lertrat, K., and N. Thongnarin. 2008. Novel approach to eating quality improvement in local waxy corn: improvement of sweet taste in local waxy corn variety with mixed kernels from super sweet corn. *Acta Horticulturae*. 769 : 145 – 150.
- Leroux, B. M., A. J. Goodyke, K. I. Schumacher, C. P. Abbott, A. M. Clore, R. Yadegari, and J. M. Dannenhoffer. 2014. Maize early endosperm growth and development: from fertilization through cell type differentiation. *American Journal of Botany*, 101 : 1259 – 1274.
- Macrobert, J. F., P. Setimela, J. Gethi, and M. Regasa. 2014. Maize hybrid seed production manual. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Marcos-filho, J. 2015. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Sci. Agric*. 72 : 363– 374.
- Shaban, M. 2013. Review on physiological aspects of seed deterioration. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 6 : 627 - 631.
- Szymanek, M., W. Tana, and F. Hammed. 2015. Kernel carbohydrates concentration in sugary-1 sugary enhanced and shrunken sweet corn kernels. 7 : 260 – 264.
- Velikova, V., I. Yordanov, and A. Edreva. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain treated bean plants. *Plant Science*. 151 : 59 – 66.
- Veselova, T. V., V. A. Veselovsky, and N. V. Obroucheva. 2015. Deterioration mechanisms in air-dry pea seeds during early aging. *Plant Physiology and Biochemistry*. 87 : 133 – 139.