

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีในระหว่างการพัฒนาของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน

Changes in Quality and Chemical Components during Seed Development of Sweet Corn

พรพรรณ ศรีทอง¹ กาญจนา ตะธา² จุฑามาศ ร่มแก้ว¹ กนกวรรณ เทียงธรรม¹ วันชัย จันทร์ประเสริฐ³ และชูศักดิ์ จอมพุก¹

Pronpan Srithong¹, Kanchana Tatha², Jutamas Romkaew¹, Kanokwan Tiengtham¹, Wachai Chanprasert³ and Choosak Jompuk¹

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีในระหว่างการพัฒนาของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน โดยเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานพันธุ์ SK0001 ที่อายุ 23, 28, 33, 38, 43, 48 และ 53 วันหลังออกไหม ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักแห้งของเมล็ด ความงอก ความแข็งแรงโดยวิธีการเร่งอายุ และความงอกในไร่เพิ่มขึ้น ขณะที่เมล็ดกำลังพัฒนา โดยมีระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาและระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมที่ 38 และ 48 วันหลังออกไหม ตามลำดับ ที่ระยะเก็บเกี่ยวเมล็ดมีน้ำหนักแห้ง 13.02 กรัม/100 เมล็ด ในขณะที่มีความชื้นของเมล็ด 47.27% ความงอก 99.25% ความงอกหลังการเร่งอายุ 98.25% และความงอกในไร่ 90.00% ส่วนปริมาณ total soluble sugar, reducing sugar, total phenol และ malondialdehyde ลดลง จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อคาดคะเนคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ โดยใช้สมการ multiple regression พบว่า ปริมาณ total soluble sugar และ total phenol มีความสัมพันธ์กับความงอก ความงอกหลังการเร่งอายุ และความงอกในไร่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่า R^2 0.7735, 0.8473 และ 0.5930 ตามลำดับ

คำสำคัญ : คุณภาพเมล็ดพันธุ์, องค์ประกอบทางเคมี, การพัฒนาของเมล็ด, ข้าวโพดหวาน

ABSTRACT

The objective of this experiment was to study changes of quality and chemical components during seed development of sweet corn. The sweet corn seed cv. SK0001 was harvested at 23, 28, 33, 38, 43, 48 and 53 days after silking (DAS). The results showed that germination, vigor (accelerated aging test, AA) and field emergence increased during seed development and reached physiological maturity and optimum harvesting at 38 and 48 DAS, respectively. At harvesting, seed dry weight was 13.02 g/100 seeds, moisture content 47.27%, germination 99.25%, germination after AA 98.25% and field emergence 90.00%. While, total soluble sugar, reducing sugar, total phenol and malondialdehyde gradually decreased as seed development. The relationships between seed quality and components were analyzed by multiple regression. It was found that total soluble sugar and total phenol were significantly correlations with germination, AA test and field emergence ($R^2 = 0.7735, 0.8473$ and 0.5930 , respectively).

Key Words: seed quality, chemical component, seed development, sweet corn

¹ ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

² บริษัทผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวาน จำกัด เลขที่ 99 หมู่ 1 ถนนท่าน้ำตื้น-เขาปูน ตำบลแก่งเสี้ยน อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี 71000

Sweet Corns Products Co, Ltd, 99 Moo 1, Thanamtuen-Khaupoon Road, Kaengsian, Muang, Kanchanaburi 71000

³ ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

1. คำนำ

ขณะเมล็ดมีการพัฒนาและสุกแก่ขึ้น เมล็ดจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ทางสรีรวิทยา ได้แก่ ความชื้นของเมล็ด (seed moisture content) น้ำหนักแห้งของเมล็ด (seed dry matter) ความงอก (seed germination) หรือความมีชีวิตของเมล็ด (seed viability) ขนาดของเมล็ด (seed size) ความแข็งแรงของเมล็ด (seed vigor) รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีและชีวเคมีของเมล็ด (จวงจันท์, 2529; Daynard, 1972) เมื่อเมล็ดเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ที่ระยะนี้เมล็ดมีน้ำหนักแห้งสูงสุดเพราะหยุดการเคลื่อนย้ายอาหารจากต้นแม่มายังเมล็ด (Harrington, 1972; Demir and Ellis, 1992) ระยะที่เมล็ดมีการเจริญและเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งสูงสุด ถือเป็นระยะที่เมล็ดสุกแก่ทางสรีรวิทยา ถ้าเก็บเกี่ยวพืชในระยะนี้จะได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีและมีความแข็งแรงสูง (จวงจันท์, 2529; Aldrich *et al.*, 1975, Ajayi and Fakorede, 2000) ทำให้พืชมีความงอกในไร่ ความทนต่อสภาพเครียด การเจริญเติบโตและความสามารถในการให้ผลผลิตสูง (Gupta *et al.*, 2005)

งานวิจัยทางด้านการพัฒนาของเมล็ดพันธุ์ เพื่อประเมินอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมนั้นได้มีการศึกษากันมาก Wilson and Trawatha (1991) พบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานที่ควบคุมด้วยยีน *shrunk-2* พันธุ์ Florida staysweet มีน้ำหนักแห้งสูงที่ระยะเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 43 ถึง 47 วันหลังออกใหม่ และหากจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวล่าช้า ไม่ควรเก็บเกี่ยวเกินอายุที่ 48 และ 66 วันหลังออกใหม่ Lee (2000) ศึกษาผลของอายุเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานที่ควบคุมด้วยยีน *shrunk-2*, *brittle*, *sugary* และ *sugary enhancer* พบว่า จากการเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานที่ควบคุมด้วยยีนต่างชนิดกันมีความงอกสูงสุด ที่อายุ 45 วันหลังออกใหม่ และข้าวโพดหวานที่ควบคุมด้วยยีน *shrunk-2* มีความงอกสูงกว่าข้าวโพดหวานที่ควบคุมด้วยยีน *sugary* แต่เมื่อประเมินอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมด้วยสมการรีเกรชัน พบว่า ระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมคือ 40.9 วันหลังออกใหม่ ซึ่งเป็นระยะที่มีความงอกสูงสุด และสอดคล้องกับการมีน้ำหนักแห้งสูงที่สุด คือ 40.7 วันหลังออกใหม่ ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า น้ำหนักแห้งของเมล็ดเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน แสดงให้เห็นว่า อายุเก็บเกี่ยวของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานมีผลต่อความสามารถในการงอกนั้นเนื่องจากเมล็ดที่มีอายุเก็บเกี่ยวต่างกัน จะมีน้ำหนักแห้งของเมล็ดที่แตกต่างกัน โดยเมล็ดที่มีน้ำหนักแห้งสูงสุดสามารถงอกได้ดี เพราะมีอาหารที่จำเป็นในการงอกสะสมอยู่มาก

สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานนั้นพบว่า ขณะเมล็ดมีการพัฒนาในช่วงแรกๆ หลังผสมเกสร พบว่า ปริมาณ reducing sugar ในเมล็ดจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 15 วันหลังออกใหม่ หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณ total sugar และ ปริมาณ sucrose ของเมล็ดจะมีปริมาณน้อยในระยะเริ่มต้นและค่อยๆ สะสมเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และสูงสุดที่ 15 วันหลังออกใหม่ หลังจากนั้นจะลดลงตามอายุเมล็ดที่เพิ่มขึ้น เมล็ดข้าวโพดหวานที่มีอายุน้อยจะมีปริมาณน้ำตาลสูงเนื่องจากมี starch และ dextrin น้อย แต่เมื่ออายุเพิ่มขึ้นปริมาณ polysaccharides จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลจะลดลง (Lampe, 1931) Ferguson *et al.* (1979) พบว่า ปริมาณ sucrose, fructose และ glucose ในเมล็ดข้าวโพดหวานจะลดลงในระหว่างการพัฒนาของเมล็ดจนกระทั่งถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ปริมาณน้ำตาลในเมล็ดข้าวโพดจะเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกับความชื้นในเมล็ด ถ้าความชื้นในเมล็ดมีมากก็จะมีปริมาณน้ำตาลมากด้วย และถ้าความชื้นในเมล็ดลดลง ปริมาณน้ำตาลก็จะลดลงด้วย (Andrew *et al.*, 1944; Early, 1952) ส่วนการเพิ่มขึ้นของแป้งเกิดพร้อมกับการลดลงของน้ำตาล เมื่อการสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ดหยุดแล้ว แต่การเพิ่มขึ้นของแป้งยังคงมีต่อไปเรื่อยๆ (Tollenaar and Daynard, 1978) จากการศึกษาของ Cao *et al.* (2008) พบว่า ปริมาณ total sugar และ reducing sugar ของเมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์ Supersweet 2018 และ Shuxuan ที่ควบคุมด้วยยีน *shrunk-2* ลดลง ในขณะที่ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ในระยะแรกขณะเมล็ดกำลังพัฒนา และมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ระหว่าง 26 ถึง 42 วันหลังผสมเกสร

สำหรับประเทศไทย ข้าวโพดหวานเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มีความต้องการใช้ข้าวโพดหวานสำหรับบริโภคทั้งภายในประเทศและส่งออก ในรูปของฝักสดและอุตสาหกรรมแปรรูป แบบบรรจุกระป๋องทั้งเมล็ด และข้าวโพดครีม แบบบรรจุทั้งฝักในถุงพลาสติกสุญญากาศ และแบบแช่แข็งทั้งเมล็ดและทั้งฝัก ปัจจุบันประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์ต่างๆ ของข้าวโพดหวานเป็นอันดับ 4 ของโลก (วันชัย และวิไลวรรณ, 2547) โดยส่งออกข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องเป็นปริมาณ 95,806 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,709.80 ล้านบาท ส่งออกข้าวโพดแช่แข็ง ปริมาณ 5,094 ตัน มูลค่า 113.60 ล้านบาท และผลิตภัณฑ์อื่นๆ มีมูลค่ารวมประมาณ 3,500 ล้านบาท (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2548) ปัจจุบันข้าวโพดหวานที่ผลิตและจำหน่ายเกือบทั้งหมดเป็นข้าวโพดหวานพันธุ์ลูกผสมเดี่ยว (single cross) ที่ควบคุมด้วยยีน *shrunk-2 (sh2)* (ทวิศักดิ์, 2540; ทวิศักดิ์, 2550) ซึ่งมีส่วนแบ่งประมาณ 70% ของตลาดเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน (สกล และคณะ, 2550) ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมนั้น สภาพแวดล้อมขณะปลูกก็เป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ถ้าหากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม และจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวเร็วหรือล่าช้า ก็จะมีผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ดังนั้น จึงได้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีในระหว่างการพัฒนาของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมที่ควบคุมด้วยยีน *shrunk-2* พันธุ์ SK0001 ณ แปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสม บริษัทผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวาน จำกัด อ.อุ้มทอง จ.สุพรรณบุรี ระหว่างเดือนธันวาคม 2550-มีนาคม 2551 ขณะเตรียมดินใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 8-24-24 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนปลูกคลุมเมล็ดด้วยสารเคมี Apron35 (methyl-N-2-methoxyacetyl-M-35%) อัตรา 7 กรัมต่อเมล็ด 1 กิโลกรัม ป้องกันโรคน้ำค้ำง ปลูกโดยใช้แรงงานคนจำนวน 2 เมล็ดต่อหลุมโดยไม่มีกรรอนแยก ให้น้ำทันทีหลังปลูก หลังจากปลูกไปแล้ว 2 วันก่อนเมล็ดงอก ขณะที่ดินยังคงมีความชื้นอยู่ฉีดพ่นอะลาคลอร์ เพื่อควบคุมวัชพืชในอัตรา 600-800 ซีซีต่อไร่ หลังปลูกประมาณ 15 วัน ป้องกันกำจัดแมลงด้วยสาร Agrodriin อัตรา 50 มิลลิลิตรต่อไร่ โดยฉีดพ่นทั้งหมดประมาณ 4 ครั้งทุกๆ 15 วัน (สังเกตการระบาดของโรคและแมลง) ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อข้าวโพดอายุ 25-30 และ 40-45 วันหลังปลูก การให้น้ำเริ่มจากปลูกจนถึงอายุประมาณ 1 เดือน โดยให้น้ำแบบตามร่อง 7 วันต่อครั้ง หลังจากนั้นจนถึงวันผสมเกสรให้น้ำ 3 วันต่อครั้ง และหลังจากผสมเกสรถึงก่อนระยะเก็บเกี่ยวให้น้ำ 7 วันต่อครั้ง เมื่อข้าวโพดมีอายุ 50-55 วัน ต้นตัวเมียจะเริ่มทยอยแทงช่อดอกตัวผู้ (tassel) ออกมา ดึงช่อดอกตัวผู้ (detassel) ออกก่อนที่ดอกตัวผู้จะบาน ซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 5 วัน ในการดึงช่อดอกตัวผู้ในแถวต้นตัวเมีย แล้วปล่อยให้มีการผสมเกสรข้ามพันธุ์ตามธรรมชาติโดยต้นตัวเมียได้รับละอองเกสรจากแถวต้นตัวผู้ การเก็บเกี่ยวสังเกตจากเส้นไหมยาว 1-3 เซนติเมตร จำนวน 50% ของแต่ละแปลงย่อยให้นับเป็นวันที่ 1 เมื่อครบกำหนดในแต่ละอายุเก็บเกี่ยว นำเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานมาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ตามวิธีการของจวงจันท์ (2529ก) และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด

2.1 การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์

เก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานที่อายุ 23, 28, 33, 38, 43, 48 และ 53 วันหลังออกใหม่ นำเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานจากแต่ละอายุการเก็บเกี่ยวมาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ดังนี้ 1) น้ำหนักแห้งของเมล็ด (seed dry weight) หน่วยเป็นกรัมต่อ 100 เมล็ด 2) ความชื้นของเมล็ด (seed moisture content) นำเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน ตัวอย่างละ 5 กรัม จำนวน 4 ซ้ำ อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยวิธี hot air oven เมื่อครบกำหนดแล้วนำมาชั่งน้ำหนักเมล็ดหลังอบ คำนวณความชื้นของเมล็ดพันธุ์ตามมาตรฐานเปียก (wet weight basis) 3) ความงอกมาตรฐาน (standard germination) เพาะเมล็ดในกระดาษเพาะแบบ between paper (BP) จำนวน 50 เมล็ดต่อซ้ำ 4 ซ้ำ ประเมินความงอกที่ 7 วันหลังเพาะ 4) energy of germination เพาะเมล็ดในกระดาษเพาะแบบ between paper (BP) จำนวน 50 เมล็ดต่อ

ซ้ำ 4 ซ้ำ ประเมินความงอกที่ 4 วันหลังเพาะ 4) ความแข็งแรงโดยวิธีการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (accelerated aging test) นำเมล็ดพันธุ์ตัวอย่างละ 50 เมล็ดต่อซ้ำ จำนวน 4 ซ้ำ ใส่ตะแกรงลวดสแตนเลสรูปทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ขาดั่งสูง 3 เซนติเมตร นำตะแกรงลวดวางลงในขวดโหลที่มีน้ำ 100 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดให้สนิท นำไปใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 41°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุมาทดสอบความงอก 5) ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) นำเมล็ดพันธุ์ ตัวอย่างละ 25 เมล็ด จำนวน 4 ซ้ำ ซึ่งน้ำหนักเมล็ดและบับที่กผล นำเมล็ดแต่ละซ้ำแช่น้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร แล้วนำไปไว้ในตู้ที่มีอุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายด้วยเครื่อง Conductivity meter รายงานค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้น้ำหนัก 25 เมล็ด มาหารค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ หน่วยที่ได้จะเป็นไมโครซีเมนต่อกรัมเมล็ด ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g. seed}$) 6) ความงอกในไร่ (field emergence) โดยนำเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานซ้ำละ 50 เมล็ด จำนวน 4 ซ้ำ ปลูกในแปลง นับจำนวนต้นกล้าข้าวโพดที่ 21 วันหลังปลูก โดยนับจำนวนต้นกล้าข้าวโพดที่งอกโผล่พ้นผิวดิน และเห็นใบจริงตั้งแต่ 1 ใบขึ้นไป ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติแบบ randomized complete block (RCB) ทำ 4 ซ้ำ

2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานจากแต่ละอายุการเก็บเกี่ยวและสภาพการเก็บรักษาแตกต่างกัน มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ 1) ปริมาณ total soluble sugar ตามวิธีของ Nelson's (Hodge and Hofreiter, 1962) 2) ปริมาณ Reducing sugar (RS) ตามวิธีของ Nelson's (Hodge and Hofreiter, 1962) 3) ปริมาณ Total phenol โดยนำตัวอย่างไปวัดค่า absorbance ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ตามวิธีของ Singleton and Rossi (1965) และ 4) ปริมาณ malondialdehyde (MDA) วัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) โดยนำสารละลายใส่ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร คำนวณปริมาณ TBARS โดยใช้สูตร $\text{TBARS equivalents (nmol.ml}^{-1}) = [(A_{532} - A_{600}) / 155000] 10^6$

2.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพเมล็ดพันธุ์และองค์ประกอบทางเคมี และตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และวิเคราะห์ multiple regression ระหว่างคุณภาพเมล็ดพันธุ์และองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้โปรแกรม R

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพเมล็ดพันธุ์ขณะเมล็ดกำลังพัฒนา

1) น้ำหนักแห้งของเมล็ด

จากการทดลองพบว่า น้ำหนักแห้งของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นจาก 5.54 กรัม/100 เมล็ด เป็น 13.03 กรัม/100 เมล็ด เมื่ออายุเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นจาก 23 เป็น 53 วันหลังออกไหม และน้ำหนักแห้งของเมล็ดสูงสุด คือ 13.23 กรัม/100 เมล็ด ที่อายุ 48 วันหลังออกไหม (Figure 1) ซึ่งระยะที่เมล็ดมีการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุด ถือว่าเป็นระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (จวงจันท์, 2529; Ajayi and Fakorede, 2000) สำหรับการทดลองนี้ข้าวโพดหวานมีระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาที่ 48 วันหลังออกไหม สอดคล้องกับงานทดลองของ Lee *et al.* (2004) พบว่า ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของข้าวโพดหวานลูกผสมที่ได้จากพันธุ์แท้ Early Sunglow เป็นพันธุ์แม่ และ Golden Cross Bantam เป็นพันธุ์พ่อ คือ 42 วันหลังออกไหม และข้าวโพดหวานพิเศษลูกผสม จากพันธุ์ Xtrasweet 82 เป็นพันธุ์แม่ และ Fortune เป็นพันธุ์พ่อ คือ 49 วันหลังออกไหม ซึ่งพิจารณาจากอัตราการงอก น้ำหนักแห้งของยอด ค่าการนำไฟฟ้า และกิจกรรมของเอนไซม์ α -amylase ในขณะที่ Araujo (2006) ศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานพันธุ์ Doce Cristal ที่ระยะเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน พบว่า ในการประเมินระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวโพดหวานพันธุ์ Doce Cristal สามารถพิจารณาจากการเกิด black

layer และสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่อายุ 47-75 วันหลังออกใหม่ โดยยังคงมีคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ความงอกและความแข็งแรงโดยการเร่งอายุสูง

2) ความชื้นของเมล็ด

ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานลดลงจาก 74.05% เหลือเพียง 39.92% เมื่ออายุเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นจาก 23 เป็น 53 วันหลังออกใหม่ เมื่อพิจารณาจากสมการรีเกรซชัน พบว่า ที่จุดสุกแก่ทางสรีรวิทยา เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานมีความชื้น 48.34% (Figure 1) ในขณะที่ Wilson and Trawatha (1991) พบว่า ข้าวโพดหวานพันธุ์ Florida staysweet มีความชื้นขณะน้ำหนักแห้งสูงสุด คือ 60-70% ซึ่งความชื้นของเมล็ดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกขณะเก็บเกี่ยว

3) ความงอก

ระหว่างการพัฒนาของเมล็ด ความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้น โดยพบว่า ความงอกจะต่ำที่สุดที่อายุ 23 วันหลังออกใหม่ คือ 27.25% และสูงสุดที่อายุ 53 วันหลังออกใหม่ คือ 99.75% จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานสามารถงอกได้สูงกว่า 95% ตั้งแต่ที่อายุ 33 วันหลังออกใหม่ ก่อนที่จะเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ในขณะที่ความงอกที่อายุน้อยกว่า 33 วันหลังออกใหม่ มีความงอกต่ำกว่า 50% (Figure 1) สอดคล้องกับการทดลองของ สอดคล้องกับการทดลองของ Cao *et al.* (2008) พบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน Supersweet 2018 และ Shuxuan 1 มีความงอก 34.7 และ 51.3% ตามลำดับที่อายุ 14 วันหลังผสมเกสร และความงอกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากอายุ 14 เป็น 18 วันหลังผสมเกสร และมีความงอกสูงสุดที่ 26 วันหลังผสมเกสร

4) ความแข็งแรงโดยวิธีการเร่งอายุ

เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานที่อายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน เมื่อนำมาเร่งอายุ พบว่า เมล็ดที่เก็บเกี่ยวก่อนอายุ 33 วันหลังออกใหม่ มีความงอกหลังการเร่งอายุต่ำกว่าเมล็ดที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 38 - 53 วันหลังออกใหม่ เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 48 วันหลังออกใหม่ มีความงอกหลังการเร่งอายุสูงสุด คือ 98.25% ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมล็ดที่เก็บเกี่ยวก่อนระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา จะมีความงอกสูง ในขณะที่ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์จะสูงที่สุดที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (จวงจันท์, 2529ข; TeKrony and Egli, 1997; McDonald, 1999) สอดคล้องกับ Santos *et al.* (2005) พบว่า การเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลูกผสม ที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวโพดพันธุ์ CD 1723, CD 5501 และ OC 705 คือ 47.8, 57.1 และ 55.1 วันหลังออกใหม่ ตามลำดับ มีความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์สูงกว่าการเก็บเกี่ยวก่อนหรือหลังระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ส่วน คานิต (2550) พบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเทียนพันธุ์สำลีที่มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน ตั้งแต่ 15 - 65 วันหลังออกใหม่ มีความงอกและความแข็งแรงสูงสุด ที่อายุเก็บเกี่ยว 45 วันหลังออกใหม่ สำหรับ Cao *et al.* (2008) พบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมที่ควบคุมด้วยยีน *sh2* มีความงอก ดัชนีการงอก และความแข็งแรง ที่ระยะเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 14 ถึง 42 วันหลังออกใหม่ และมีความงอกและความแข็งแรงสูงสุด ที่ 38 วันหลังออกใหม่

5) ค่าการนำไฟฟ้า

เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานเมื่ออายุเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าลดลงจาก 169.83 เหลือ 23.27 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}\cdot\text{seed}$ โดยการเก็บเกี่ยวที่ 23 วันหลังออกใหม่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดคือ 169.83 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}\cdot\text{seed}$ ซึ่งการวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดปริมาณสารที่รั่วไหลออกจากเมล็ด ค่าที่วัดได้แสดงถึงการเสื่อมสภาพจากการกักเก็บสารต่างๆ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แรกของการเสื่อมคุณภาพเมล็ด (จวงจันท์, 2529ข) เมื่อเมมเบรนเสื่อมคุณภาพอย่างรุนแรงเมล็ดจะมีค่าการนำไฟฟ้าสูง เนื่องจากมีสารรั่วไหลออกมาจากเมล็ดเป็นจำนวนมาก และเป็นสาเหตุให้เมล็ดสูญเสียความมีชีวิต (Pearce and Samad, 1980) แสดงให้เห็นว่า เมล็ดข้าวโพดหวานที่สุกแก่แล้วจะมีโครงสร้างของเมมเบรนที่แข็งแรงกว่าเมล็ดที่ยังอ่อนอยู่ ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดมีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่า เมล็ดพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 23 และ 28 วันหลังออกใหม่มีความ

แข็งแรงต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บเกี่ยวที่อายุ 38, 43, 48 และ 53 วันหลังออกใหม่ สอดคล้องกับความงอกและความงอกหลังการเร่งอายุที่เพิ่มขึ้น ขณะเมล็ดกำลังพัฒนา

6) ความงอกในไร่

ผลการทดสอบความงอกในไร่ของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานที่ 21 วันหลังปลูก พบว่า เมล็ดพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยว 33 - 53 วันหลังออกใหม่ เมื่อนำมาปลูกในสภาพไร่ มีความงอกในไร่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความงอกในไร่สูงกว่า 90% ในขณะที่ความงอกในไร่ของข้าวโพดหวานที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 23 และ 28 วันหลังออกใหม่มีค่าต่ำกว่า 60% สอดคล้องกับพรทิพย์ (2526) พบว่า ข้าวโพดหวานพันธุ์ไทยซูเปอร์สวีทคอมพอสิต 1 ดีเอ็มอาร์ (TSSC 1 DMR) ไม่ควรเก็บเกี่ยวเมล็ดก่อน 36 วันหลังออกใหม่ เนื่องจากมีความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดต่ำ

3.2 การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีขณะเมล็ดกำลังพัฒนา

ปริมาณ total soluble sugar ของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานลดลง เมื่ออายุเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น โดยเมล็ดพันธุ์ที่อายุ 23 วันหลังออกใหม่มี ปริมาณ TS ของเมล็ดสูงที่สุด คือ 184.32 mg/ml ในขณะที่ปริมาณ total soluble sugar ของเมล็ดต่ำสุดเมื่อเก็บเกี่ยวที่ 53 วันหลังออกใหม่ (Figure 2) ส่วนปริมาณ reducing sugar ลดลงเมื่อการสุกแก่ของเมล็ดเพิ่มขึ้น โดยเมล็ดพันธุ์ที่อายุเก็บเกี่ยว 23 วันหลังออกใหม่ มีปริมาณ reducing sugar สูงสุด คือ 50.36 mg/ml และลดลงเหลือเพียง 25.97 mg/ml ในเมล็ดพันธุ์ที่อายุ 53 วันหลังออกใหม่ (Figure 2) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Cao *et al.* (2008) พบว่า total soluble sugar และ reducing sugar ในเมล็ดข้าวโพดหวานถูกผสมที่ควบคุมด้วยยีน *sh2* ลดลง เมื่อเมล็ดมีการสุกแก่เพิ่มขึ้นและที่อายุ 16 ถึง 42 วันหลังผสมเกสร มีการเปลี่ยนแปลงของ total soluble sugar และ reducing sugar เพียงเล็กน้อย และมีปริมาณแบ่งเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตั้งแต่ 14-24 วันหลังผสมเกสร

ส่วนปริมาณ total phenol ของเมล็ดพันธุ์ที่อายุเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ การเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ที่อายุ 43 วันหลังออกใหม่มีปริมาณ Total phenol ของเมล็ดต่ำที่สุด คือ 102.70 ppm ไม่แตกต่างทางสถิติกับการเก็บเกี่ยวเมล็ดที่ 48 และ 53 วันหลังออกใหม่ แต่แตกต่างทางสถิติกับการเก็บเกี่ยวที่ 23, 28, 33 และ 38 วันหลังออกใหม่ ที่มีปริมาณ Total phenol ของเมล็ด 145.03, 137.66, 118.59 และ 106.09 ppm ตามลำดับ (Figure 2) จะเห็นได้ว่าในเมล็ดที่มีคุณภาพต่ำ จะมีปริมาณฟีนอลสูงซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Simic *et al.* (2004) พบว่า ในเมล็ดข้าวโพดเสื่อมคุณภาพโดยการเร่งอายุมีอุณหภูมิ 44°C ความชื้นสัมพัทธ์ 100% ปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กับความงอกหลังการเร่งอายุ ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟีนอลิกสามารถใช้ประเมินการเสื่อมสภาพของเมล็ดข้าวโพดได้

ส่วนปริมาณ malondialdehyde (MDA) ของเมล็ดพันธุ์ที่อายุเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ การเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ที่อายุ 53 วันหลังออกใหม่มีปริมาณ MDA ของเมล็ดต่ำที่สุด คือ 0.77 $\mu\text{mol/g f.w.}$ ไม่แตกต่างทางสถิติกับการเก็บเกี่ยวเมล็ดที่ 48 วันหลังออกใหม่ แต่แตกต่างทางสถิติกับการเก็บเกี่ยวที่ 23, 28, 33, 38 และ 43 วันหลังออกใหม่ ที่มีปริมาณ MDA ของเมล็ด 1.90, 1.97, 1.38, 0.95 และ 0.90 $\mu\text{mol/g f.w.}$ ตามลำดับ (Figure 2) สำหรับปริมาณ MDA สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการเกิด lipid peroxidation ในเมล็ดพืชได้ และเป็นสาเหตุที่ทำให้เมล็ดสูญเสียความมีชีวิตระหว่างการเก็บรักษา (Sung, 1996; Goel and Sheoram, 2003) และเป็นสารเริ่มต้นในการทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของเมล็ด ซึ่ง MDA เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการสลายตัวของกรดไขมันที่ได้ถูกย่อยออกมาจากโมเลกุลของ phospholipids โดยการทำงานของ phospholipase (จริงแท้, 2550; Sung and Jeng, 1994) การเพิ่มขึ้นของ lipid peroxidation มีความเกี่ยวข้องกับการลดลงของความมีชีวิตและความแข็งแรงของเมล็ดทานตะวัน (Bailey *et al.*, 1998) และ ฝ้าย (Goel *et al.*, 2003) ในขณะที่เมล็ดมีการเสื่อมคุณภาพเพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้ multiple regression ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ เพื่อหาสมการที่เหมาะสมในการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์ พบว่า ปริมาณ total soluble sugar มีความสัมพันธ์กับ

ความงอก และค่าการนำไฟฟ้า ในขณะที่ปริมาณ reducing sugar และ malondialdehyde มีความสัมพันธ์กับความงอก และความงอกหลังการเร่งอายุ ในขณะที่ปริมาณ total phenol มีความสัมพันธ์กับความงอก ความงอกหลังการเร่งอายุ ค่าการนำไฟฟ้า และความงอกในไร่ (Table 1) จากสมการทำนายทั้ง 4 สมการ จะเห็นได้ว่า มีเพียงปริมาณ total soluble sugar (X_1) และ total phenol (X_3) ที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพเมล็ดพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.05$) ดังนั้นจึงนำลักษณะดังกล่าวมาวิเคราะห์สมการที่เหมาะสม โดยพบว่า สมการที่เหมาะสมในการทำนายความงอก คือ $137.7 - 0.107X_1 - 0.500X_3$ โดยมีความแม่นยำในการทำนาย 77.35% ($R^2 = 0.7735$) ความงอกหลังการเร่งอายุ คือ $195.0 - 0.434X_1 - 1.188X_3$ มีความแม่นยำในการทำนาย 84.73% ($R^2 = 0.8473$) ค่าการนำไฟฟ้า คือ $-96.45 + 0.413X_1 + 1.575X_3$ มีความแม่นยำในการทำนาย 79.43% ($R^2 = 0.7943$) และความงอกในไร่ คือ $151.6 - 0.034X_1 - 0.875X_3$ มีความแม่นยำในการทำนาย 59.30% ($R^2 = 0.5930$)

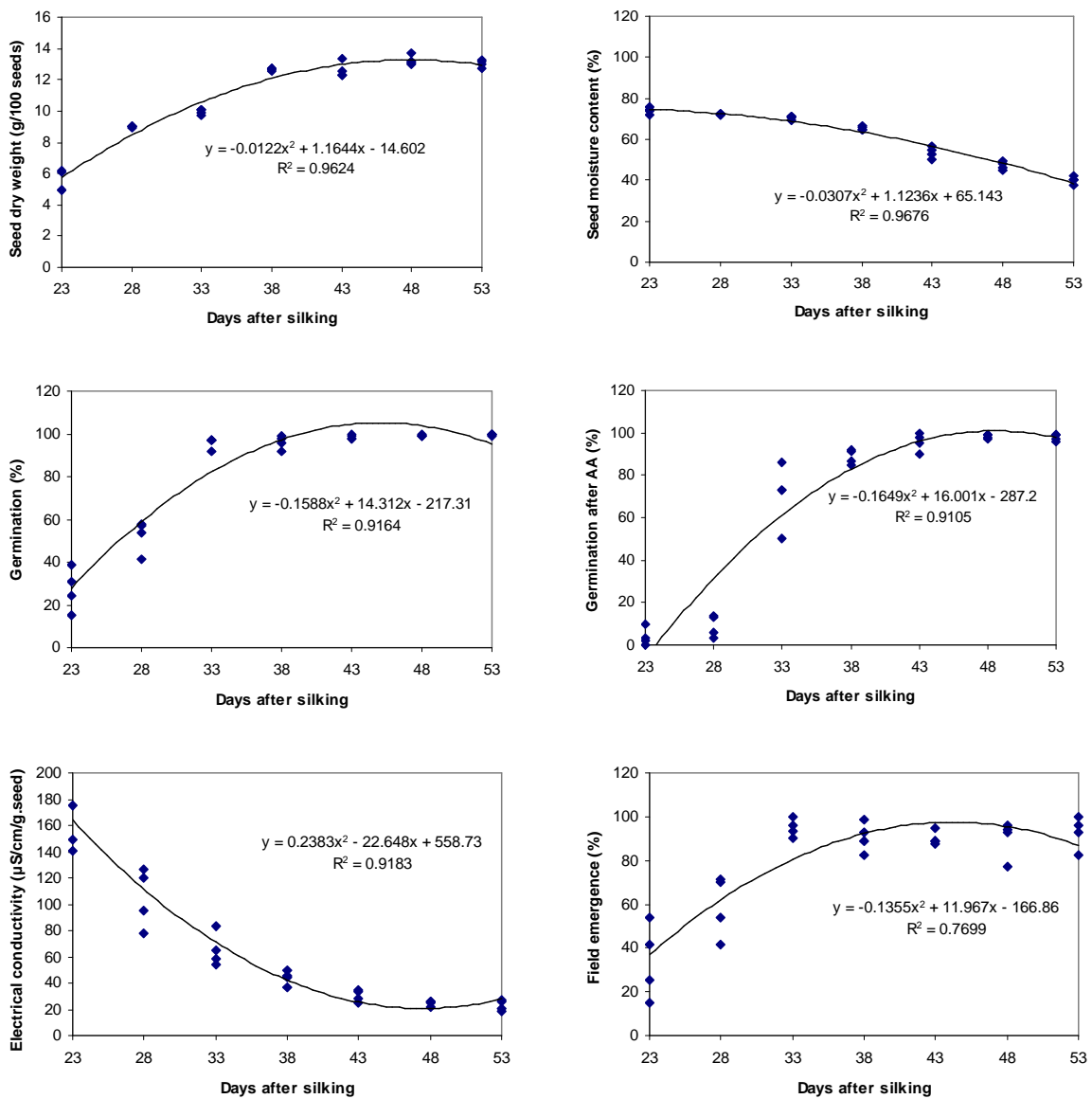


Figure 1 Changes of seed dry weight, moisture content, germination, germination after AA, electrical conductivity and field emergence of sweet corn seed during seed development.

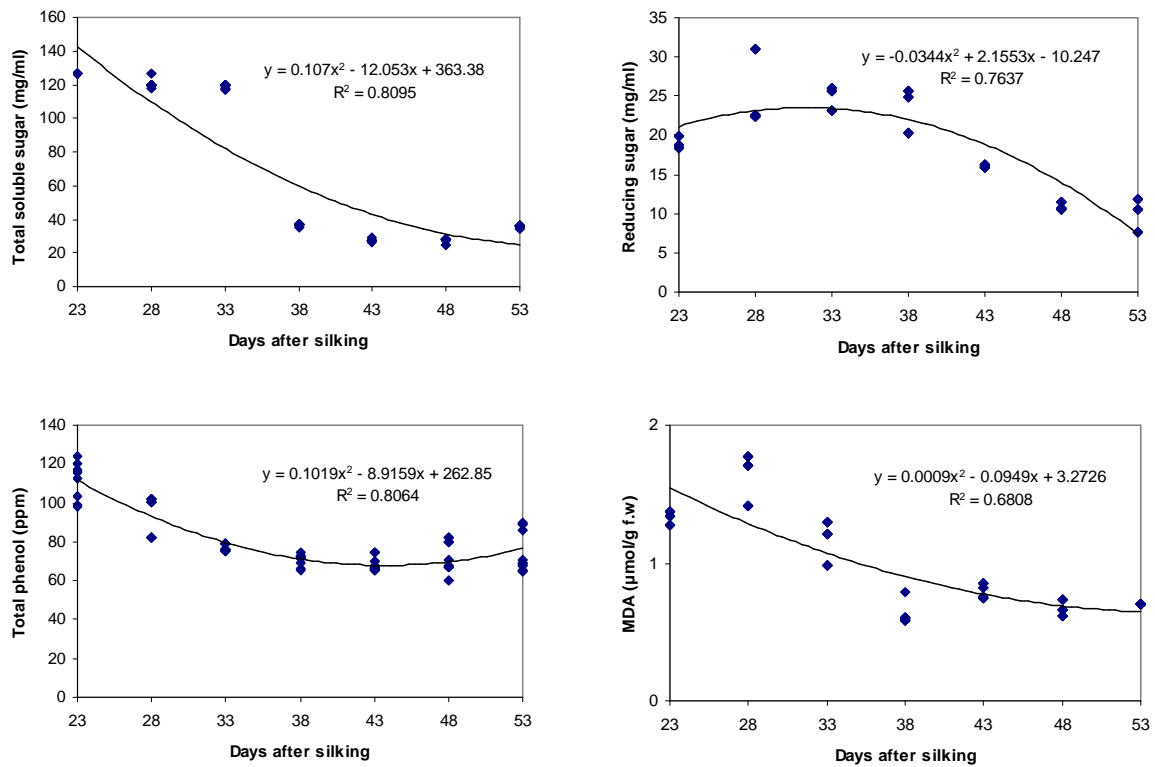


Figure 2 Changes of total soluble sugar, reducing sugar, total phenol, malondialdehyde (MDA) of sweet corn seed during seed development.

Table 1 Regression equations between seed quality and seed chemical components during development of sweet corn cv. ATS8

Parameters	Regression equations	R^2
Germination	$152.1 + 0.079 X_1 - 0.403 X_2 - 0.496 X_3 - 20.60 X_4$ $b_0 = 2e-16, b_1 = 0.0435, b_2 = 0.0102, b_3 = 7.51e-10, b_4 = 3.51e-06$	0.8542
Germination after AA	$229.3 + 0.004 X_1 - 0.982 X_2 - 1.190 X_3 - 47.53 X_4$ $b_0 = 2e-16, b_1 = 0.962, b_2 = 0.007, b_3 = 3.75e-10, b_4 = 4.55e-06$	0.9016
Electrical conductivity	$-114.2 + 0.457 X_1 + 0.965 X_2 + 1.872 X_3 - 27.81 X_4$ $b_0 = 1.03e-06, b_1 = 0.003, b_2 = 0.105, b_3 = 1.54e-09, b_4 = 0.078$	0.8058
Field emergence	$143.6 - 0.104 X_1 + 0.283 X_2 - 0.838 X_3 + 4.629 X_4$ $b_0 = 1.38e-15, b_1 = 0.276, b_2 = 0.450, b_3 = 4.324e-06, b_4 = 0.639$	0.5850

$X_1, X_2, X_3,$ and X_4 = total soluble sugar, reducing sugar, total phenol and MDA, respectively; b_0, b_1, b_2, b_3 and b_4 = P values for intercept, $X_1, X_2, X_3,$ and $X_4,$ respectively.

Table 2 Regression equations between seed quality, total sugar and total phenol during development of sweet corn cv. ATS8

Parameters	Regression equations	R ²
Germination	137.7-0.107X ₁ -0.500X ₃ b ₀ =2e-16, b ₁ =0.0001, b ₃ =3.72e-09	0.7735
Germination after AA	195.0-0.434X ₁ -1.188X ₃ b ₀ =2e-16, b ₁ =2.34e-09, b ₃ =2.39e-09	0.8473
Electrical conductivity	-96.45+0.413X ₁ +1.575X ₃ b ₀ =4.38e-08, b ₁ =7.96e-06, b ₃ =5.41e-09	0.7943
Field emergence	151.6-0.034X ₁ -0.875X ₃ b ₀ =2e-16, b ₁ =0.500, b ₃ =5.47e-08	0.593

X₁ and X₃ = total soluble sugar and total phenol, respectively; b₀, b₁ and b₃ = P values for intercept, X₁ and X₃, respectively.

4. สรุปผลการทดลอง

เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมเดี่ยวพันธุ์ SK0001 มีระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาที่ 38 วันหลังออกไหม และมีอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมคือ 48 วันหลังออกไหม เมื่อพิจารณาจากผลผลิตและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ขณะเมล็ดกำลังพัฒนา ความงอก ความแข็งแรงโดยวิธีการเร่งอายุ และความงอกในไร่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณ total soluble sugar, reducing sugar, total phenol และ malondialdehyde ลดลง และจากการวิเคราะห์ multiple regression พบว่า เมล็ดข้าวโพดหวานที่มีความงอกและความแข็งแรงสูง จะมีปริมาณ total soluble sugar และ total phenol ต่ำ

5. คำนิยม

ขอขอบพระคุณ ดร.ทวีศักดิ์ ภู่อำพร้า บริษัท ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวาน จำกัด ที่ให้ทุนการศึกษาและการสนับสนุน ขอขอบคุณ คุณวีระพันธุ์ ดวงจันทร์โชติ และเจ้าหน้าที่ของบริษัท ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวาน จำกัด ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัยจนสำเร็จด้วยดี ขอขอบคุณ ดร.ธีรพงศ์ แสงวงนาคกุล คุณยุพิน อ่อนศิริ และคุณคะเนิงสุข ผลดก ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่ช่วยแนะนำวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด

6. เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2550. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางขายของพืช**. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529ก. **การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์**. กลุ่มหนังสือเกษตร. กรุงเทพฯ.

..... . 2529ข. **เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์**. กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

ทวีศักดิ์ ภู่อำพร้า. 2540. **ข้าวโพดหวาน การปรับปรุงพันธุ์และการปลูกเพื่อการค้า**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.188น.

- 2550. อนาคตข้าวโพดไทยใน 5 ปี. บรรยายพิเศษ ใน การประชุมวิชาการข้าวโพดข้าวฟ่าง
แห่งชาติ ครั้งที่ 33 วันที่ 22-24 สิงหาคม 2550 ณ โรงแรม ทีเคพาเลซ, กรุงเทพมหานคร.
- พรทิพย์ คุปตานนท์. 2526. อิทธิพลของอายุเก็บเกี่ยวต่างกันต่อความแข็งแรงของเมล็ดและผลผลิตของข้าวโพด
หวาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วันชัย ถนอมทรัพย์ และวิไลวรรณ พรหมคำ. 2547. ความสำคัญ สถานการณ์การผลิต แหล่งปลูกและการตลาด, น. 5-12
ใน เอกสารวิชาการเรื่องข้าวโพดฝักสด, กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ศานิต สวัสดิ์กาญจน์. 2549. คุณภาพและความสามารถในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเทียน. ว. วิทย. กษ. 24:
288-300.
- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2548. สถิติการปลูกข้าวโพดหวานและข้าวโพดฝักอ่อน ปีเพาะปลูก 2547/2548.
สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สกล ฉายศรี, พชรดา ฉายศรี, จารุ สิทธิโชค และโชคชัย เอกทัศน์าวรรณ. 2550. ศักยภาพของสายพันธุ์ข้าวโพดหวาน KSC2-S₄
ที่ใช้ผลิตลูกผสม. วิทยาศาสตร์การเกษตร 5: 36-39.
- Ajayi, S.A. and M.A.B. Fakorede. 2000. Physiological maturity effects on seed quality, seedling vigor and
mature plant characteristics of maize in a tropical environment. *Seed Sci & Technol.* 28: 301-319.
- Aldrich, S.R., W.O. Scott and E.R. Leng. 1975. *Modern corn production*. A&L Publications, Champaign, Illinois.
378 p.
- Andrew, R.H., R.A. Brink and N.P. Neal. 1944. Some effect of the waxy and sugary genes on endosperm
development in maize. *J. Agr. Res.* 69: 355-371.
- Araujo, E.F., R.F. Araujo, V. Sofiatti and R.F.D. Silva. 2006. Physiological quality of the sweet corn seeds
harvested at different times. *Bragantia* 65: 687-692.
- Bailly, C., A. Benamar, F. Corbineau and D. Come. 1998. Changes in malondialdehyde content and in
superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower seeds as related to
deterioration during accelerated aging. *Physiol Plant* 97: 104-110.
- Cao, D., J. Hu, X. Huang, X.Wang, Y. Guan and Z. Wang. 2008. Relationships between changes of kernel
nutritive components and seed vigor during development stages of F₁ seeds of sh₂ sweet corn. *J.
Zhejiang Univ Sci.* 9: 964-968.
- Daynard, T.B. 1972. Relationship among black layer formulation, grain moisture percentage, and heat unit
accumulation in corn. *J. Agron.* 64: 716-719.
- Demir, I. and R.H. Ellis. 1992. Changes in seed quality during seed development and maturation in tomato.
Seed Sci. Res. 2: 81-87.
- Early, E.B. 1952. Percentage of carbohydrates in kernels of station reid yellow dent corn at several stage of
development. *Plant Physiol.* 27: 184-190.
- Ferguson, J.E., D.B. Dickinson and A.M. Rhodes. 1979. Analysis of endosperm sugars in a sweet corn inbred
(Illinois 677a) which contains the sugary enhancer (se) gene and comparison of se with other corn
genotypes. *Plant Physiol.* 63: 416-420.

- Goel, A., A.K. Goel and I.S. Sheoran. 2003. Changes in oxidative stress enzymes during artificial ageing in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seeds. **J. Plant Physiol.** 160: 1093-1100.
- Goel, A. and I.S. Sheoran. 2003. Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes in cotton seeds under natural ageing. **Biol Plant** 46: 429-434.
- Gupta, M.I., D.L. George, I.G.M.A. Parwata. 2005. Effect of harvest time and drying on supersweet corn seed quality. **Seed Sci. & Technol.** 33: 167-176.
- Hodge, J.E. and B.T. Hofreiter. 1962. Determination of reducing sugar and carbohydrate, pp. 380-394. In R.L. Whistler and M.L. Wolfrom (eds.). **Methods in carbohydrate chemistry.** Academic press, New York.
- Lampe, L. 1931. A microchemical and morphological study of developing endosperm of maize. **Bot. Gaz.** 91: 337-376.
- Lee, M.H. 2000. Germination percentages of different types of sweet corn in relation to harvesting dates. **Korean. J. Crop Sci.** 45: 55-58.
- Lee, S.S., S.H. Yun and J.M. Seo. 2004. Optimum harvest time for high quality seed production of sweet and super sweet corn hybrids. **Korean. J. Crop Sci.** 49.
- McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Sci & Technol.** 27: 177-237.
- Pearce, R.S. and I.M.A. Samad. 1980. Change in fatty acid content of polar lipids during ageing of seeds of peanut (*Arachis hypogaea* L.). **J. Exp. Bot.** 31: 1283-1290.
- Santos, C.T., V.A. Dalpasquale, C.A. Scapim, A.L. Braccini and F.C. Krzyzanowski. 2005. Milk line as an indicator of the harvesting time of three hybrid seeds of corn (*Zea mays* L.). **Braz. Arch. Biol. Technol.** 48: 161-170.
- Singleton, V.L. and J.A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagent. **Amer. J. Enol. & Vitic.** 16: 144-157.
- Sung, J.M. 1996. Lipid peroxidation and peroxide-scavenging in soybean seeds during aging. **Physiol. Plantarum** 97: 85-89.
- _____ and T.L. Jeng. 1994. Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes associated with accelerated aging of peanut seed. **Physiol. Plantarum** 9: 51-55.
- TeKrony, D.M. and D.B. Egli. 1997. Accumulation of seed vigor during development and maturation. **Current Plant Sci. Bio. Agric.** 30: 369-384.
- Tollenaar, M. and T.B. Daynard. 1978. Dry weight, soluble sugar content and starch content of maize kernels during the early postsilking period. **Can. J. Plant Sci.** 58: 199-206.
- Wilson, D.O. and S.E. Trawatha. 1991. Physiological maturity and vigor in production of Florida staysweet shrunken-2 sweet corn seed. **Crop Sci.** 31: 1640-1647.