ความงอก น้ำตาลทั้งหมด และแป้งของเมล็ดในข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มีการรวมกันของยีน *shrunken*-2, *brittle* และ *waxy*

Germination, total sugar and starch of seed in sweet corn inbred which contains the *shrunken*-2, *brittle* and *waxy* gene combinations

พจนีย์ ไพโรจน์ธีรากุล[1], ดรุณี โชติษฐยางกูร[1], ดนุพล เกษไธสง[2,4], สกุลกานต์ สิมลา[3], กมล เลิศรัตน์[2,4] และ พลัง สุริหาร[1,4*]

Potchanee Pairochteerakul[1], Darunee Jothityangkoon[1], Danupol Ketthaisong[2,4], Sakunkan Simla[3], Kamol Lertrat[2,4] and Bhalang Suriharn[1,4*]

บทคัดย่อ: การพัฒนาข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มียีนร่วมเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการยกระดับคุณภาพการบริโภคของข้าวโพดข้าวเหนียว อย่างไรก็ตาม ความงอก และความแข็งแรง เป็นปัญหาที่สำคัญในการผลิตเมล็ดพันธุ์ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความงอก ความแข็งแรง ปริมาณแป้งและน้ำตาลทั้งหมดในเอนโดสเปิร์มของข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มียีนร่วม 2 และ 3 คู่ ดำเนินการทดลองโดยเปรียบเทียบข้าวโพดหวาน 6 สายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 1 คู่ 2 คู่ และ 3 คู่ เปรียบเทียบกับพันธุ์ทดสอบจำนวน 4 พันธุ์ จากผลการทดลองพบว่า ข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 2 คู่ B53 (*btbt sh2sh2 WxWx*) มีปริมาณแป้งสูงที่สุด รองลงมา คือ C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) ซึ่งมีปริมาณแป้งไม่แตกต่างกับ D22 (*BtBt sh2sh2 wxwx*) และ B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*) ที่ระยะฝักแห้ง และสายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 2 คู่ C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) และ 3 คู่ B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*) มีปริมาณน้ำตาลสูงที่สุดที่ระยะฝักสด นอกจากนี้ ข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 1 คู่ TSC/Su75 และ TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) 2 คู่ C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) และ 3 คู่ B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*) มีความงอก และความแข็งแรงค่อนข้างสูง แต่สายพันธุ์ที่มีการรวมยีน *sh2* หรือ *bt* กับ *wx* มีความแข็งแรงต่ำมากหลังจากถูกเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ นอกจากนี้ ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแป้งและน้ำตาลทั้งหมดในเมล็ด ข้อมูลดังกล่าวนี้ น่าจะสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคัดเลือกสายพันธุ์แท้และการวางแผนการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมเพื่อเพิ่มคุณภาพการบริโภคได้

คำสำคัญ : *Zea may* L, การปรับปรุงพันธุ์พืช, คุณภาพการบริโภค, ความแข็งแรงของเมล็ด, คุณภาพของเมล็ดพันธุ์

---

[1] สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

[2] สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

[3] ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จ.มหาสารคาม 44150
Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Mahasarakham, 44150

[4] ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
Plant Breeding Research Center for Sustainable Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

* Corresponding author: bsuriharn@gmail.com

ABSTRACT: The synergistic super sweet corn inbred line development is one strategy to enhance the eating quality of waxy corn hybrid. However, the major problem of this inbred lines is seed germination and vigor in seed production. Therefore, the objective of this study was to evaluated seed germination, seed vigor, total sugar and starch of super sweet corn in the endosperm of double and triple recessive gene combinations. Six genotypes of single, double and triple recessive gene combinations and four check varieties were compared. The results of this study found that double recessive gene combination B53 (*btbt sh2sh2 WxWx*) had the highest total starch followed by C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) which was not different with D22 (*BtBt sh2sh2 wxwx*) and B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*) at maturity stages. Moreover, the highest of total sugar level was found in double recessive C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) and triple recessive B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*) at the fresh stage. Furthermore, the single recessive TSC/Su75 and TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*), double recessive C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) and triple recessive B10 (*btb sh2sh2 wxwx*) had good germination and high vigor. After the accelerated aging test, poor germination and vigor were observed if *bt* or *sh2* gene combines with *wx* gene. In addition, there was no correlated between total starch, total sugar with germination percentage and speed of germination. The information obtained in this study is important for selection of inbred parents of sweet corn hybrids and planning of seed production.
Keywords: *Zea may* L, plant breeding, eating quality, seed vigor, seed quality

บทนำ

ข้าวโพดหวาน (*Zea mays* var. *saccharata*) เป็นพืชอาหารที่สำคัญของโลก มีการเพาะปลูกกันอย่างแพร่หลาย เพื่อบริโภคและผลิตในเชิงการค้าระดับย่อย จนถึงระดับอุตสาหกรรม มีการปรับปรุงพันธุ์เพื่อยกระดับผลผลิตและคุณภาพการบริโภคมาอย่างต่อเนื่องและยาวนาน โดยใช้วิธีปรับปรุงพันธุ์มาตรฐาน (Lertrat and Pulam, 2007) สำหรับข้าวโพดหวานนั้น มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน โดยมียีนด้อยที่ควบคุมเอนโดสเปิร์มที่แตกต่างกัน ข้าวโพดหวานที่มีการใช้เป็นการค้ามาก จะเป็นชนิดที่ถูกควบคุมด้วยยีน sugary (*su*) sugary enhancer (*se*) brittle (*bt*) และ shrunken-2 (*sh2*) สำหรับ *bt* และ *sh2* มีปริมาณน้ำตาลซูโครสในเมล็ดที่สูงกว่า *su* และ *se* (Creech, 1965) อันเนื่องมาจากการผ่าเหล่าของยีน การผ่าเหล่าของยีนด้อยที่ควบคุมลักษณะของเมล็ด ทำให้คุณภาพการบริโภคในลักษณะของความหวานเพิ่มสูงขึ้น แต่ก็มักจะประสบกับปัญหาความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่ลดต่ำลง (Styer et al., 1980; Styer and Cantliffe, 1983) เนื่องมาจากแป้ง หรืออาหารสะสมในเมล็ดที่จำเป็นต่อการงอกมีน้อย (Wann, 1980) อีกทั้งยังอ่อนแอต่อโรคทางดิน และเชื้อรา (Styer and Cantliffe, 1984; Parera and Cantliffe, 1994) สร้างความเสียหายในเชิงการผลิต นักปรับปรุงพันธุ์จึงได้มีการสร้างพันธุ์ข้าวโพดหวานยีนร่วม (synergistic cultivar) เพื่อปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์และคุณภาพการบริโภคให้ดีขึ้น ซึ่งนอกจากจะสามารถเพิ่มคุณภาพให้กับข้าวโพดหวานแล้ว หลักการของยีนร่วมยังสามารถเพิ่มคุณภาพการบริโภคของข้าวโพดข้าวเหนียวได้เช่นกัน (Lertrat and Thongnarin, 2008) โดยเฉพาะในแถบทวีปเอเชีย รวมทั้งประเทศไทย มีการสร้างข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มียีนร่วมระหว่าง *bt* หรือ *sh2* กับ *wx* เพื่อใช้เป็นสายพันธุ์พ่อแม่ในการสร้างลูกผสมข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน โดยใช้หลักทางพันธุศาสตร์ เพื่อเพิ่มคุณภาพและขยายตลาดการบริโภคข้าวโพดข้าวเหนียวให้เพิ่มสูงขึ้น พบว่าข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มียีนร่วม 2 คู่ สามารถเพิ่มความหวานในฝักข้าวโพดข้าวเหนียวได้ (Simla et al., 2016) เกิดจากการกระจายตัวในประชากรชั่วที่ 2 โดยมีสัดส่วนของเมล็ดข้าวเหนียวต่อเมล็ดหวานในหนึ่งฝักเป็น 3:1 ซึ่งเป็นพันธุ์การค้าที่ขายในประเทศไทย แต่อย่างไรก็ตาม การสร้างสายพันธุ์พ่อแม่ที่มียีนร่วม 2 คู่ และ 3 คู่ มักประสบกับปัญหาในเรื่องของคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ความงอก และ

ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (Tracy, 1977) จากการศึกษาที่ผ่านมามีเพียงการศึกษาเดียวที่มีการศึกษาสายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 1 หรือ 2 คู่ของยีนข้าวโพดหวาน ที่ระยะฝักสดเท่านั้น (Simla et al., 2016) ยังไม่มีการศึกษาการรวมกันของยีนด้อยที่ควบคุม 3 คู่ ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความงอก ความแข็งแรง ปริมาณน้ำตาลรวมและแป้งในเอนโดสเปิร์มของข้าวโพดหวานสายพันธุ์ที่มียีนร่วม 2 และ 3 คู่ ทั้งระยะฝักสดและเมล็ดพันธุ์

วิธีการศึกษา

การสร้างประชากรพื้นฐานและการสร้างสายพันธุ์แท้

ดำเนินการสร้างประชากรและปรับปรุงพันธุ์โดยใช้ 2 สายพันธุ์ คือ 101L (*btbt ShSh2 wxwx*) เป็นข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 2 คู่ ที่พัฒนาในประเทศไทย มีความหวานสูง แต่มีความงอกต่ำ ใช้เป็นสายพันธุ์แม่ และสายพันธุ์พ่อใช้ Temperate Super Sweet Corn (TSC; *BtBt sh2sh2 WxWx*) ที่เป็นข้าวโพดหวานลูกผสมที่มียีนด้อยควบคุม 1 คู่ เป็นข้าวโพดหวานจากต่างประเทศ มีความหวานสูง และมีความงอกดี หลังจากผสมพันธุ์ได้ประชากรลูกผสมชั่วที่ 1 จากนั้น นำไปปลูกและผสมตัวเองได้ประชากรชั่วที่ 2 (F_2) นำไปปลูกต่อและคัดเลือกโดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลชนิด SSR คัดเลือกในระยะต้นกล้าร่วมด้วย ต้นที่มีการรวมของยีนแบบ 2 และ 3 คู่ จะถูกผสมตัวเอง นำไปสร้างสายพันธุ์แท้ด้วยวิธีทะเบียนประวัติ จนได้ประชากรที่ผ่านการผสมตัวเอง 5 รอบ (S_5) อีกประชากรหนึ่ง สร้างประชากรพื้นฐานจากสายพันธุ์แม่ TSC และใช้ข้าวโพดหวานลูกผสมพันธุ์การค้าของไทย 2 พันธุ์ (Su75 และ H3) เป็นสายพันธุ์พ่อ มีความหวานสูง และมีความงอกดี ประชากรที่ใช้เป็นพ่อแม่นี้ มียีนด้อยแบบ *sh2* เหมือนกัน (*BtBt sh2sh2 WxWx*) จากนั้น นำไปสร้างสายพันธุ์แท้ด้วยวิธีทะเบียนประวัติ เช่นเดียวกัน จนได้ประชากร S_5

การปลูกในสภาพไร่

ปลูกทดสอบข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ จำนวน 6 สายพันธุ์ (S_5) ที่มียีนด้อยควบคุมแตกต่างกัน คือ B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*) D22 (*BtBt sh2sh2 wxwx*) C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) B53 (*btbt sh2sh2 WxWx*) TSC/Su75 และ TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) เปรียบเทียบร่วมกับพันธุ์ทดสอบทั้งหมด 4 พันธุ์ ประกอบด้วยข้าวโพดหวาน 3 พันธุ์ (Su75, TSC และ 101L) และข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน 1 พันธุ์ (KGW#1) มีการควบคุมการผสมเกสรในแต่ละแปลงย่อยของแต่ละหน่วยทดลอง ดำเนินงานทดลองในฤดูฝน ปี พ.ศ. 2560 ณ หมวดพืชผัก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) มี 3 ซ้ำ ๆ ละ 2 แถว แถวยาว 5 เมตร ใช้ระยะปลูก เท่ากับ 80x25 เซนติเมตร

เก็บเกี่ยวฝักที่ระยะรับประทานฝักสด หรือประมาณ 20 วันหลังผสมเกสร โดยการสุ่มเก็บ 5 ฝักในแต่ละหน่วยทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ จากนั้นเตรียมตัวอย่างโดยการเฉือนเมล็ดจำนวน 200 กรัม แช่ด้วยไนโตรเจนเหลวแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้แช่ -20 องศาเซลเซียส สำหรับวิเคราะห์แป้งและน้ำตาลในระยะฝักสด หลังจากนั้นเก็บเกี่ยวที่ระยะฝักแห้ง (30 วันหลังผสมเกสร) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกันกับการเก็บเกี่ยวในระยะฝักสด ทุกหน่วยทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกสำหรับนำไปทดสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ และส่วนที่สองสำหรับนำไปวิเคราะห์แป้งและน้ำตาลในระยะฝักแห้ง

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ปริมาณแป้งและน้ำตาลในเมล็ดของแต่ละจีโนไทป์ ได้ดัดแปลงและประยุกต์ใช้จากวิธี Phenol-sulfuric ของ Ketthaisong et al. (2013) Dubois (1956) และ Simla et al. (2016) โดยวิเคราะห์ทั้งหมด 2 ระยะ คือ ระยะฝักสด (fresh stage) และ ระยะฝักแห้ง (maturity stage)

การทดสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในห้องปฏิบัติการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการทดสอบโดยใช้วิธีมาตรฐาน (Germination standard test between papers: BP) และส่วนที่ 2 จะเป็นการทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดโดยใช้วิธีเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (Accelerated aging test: AA) ข้อมูลความงอก จำนวนต้นกล้าปกติ ความยาวต้นกล้า และน้ำหนักแห้งของต้นกล้าปกติ ได้ทำการประเมินเมื่อต้นกล้ามีอายุ 7 วัน (ISTA, 1999) ในส่วนความเร็วในการงอก (speed of seed germination; SG) เก็บข้อมูลครั้งแรกที่อายุ 4 วัน (First-count) และครั้งสุดท้ายที่อายุ 7 วัน (final-count)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะที่ศึกษาและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น $P \leq 0.05$ และหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation coefficients) ของความงอกและองค์ประกอบของการงอก กับปริมาณแป้งและน้ำตาลในเอนโดสเปิร์มทั้งระยะฝักสดและแห้ง (Gomaz and Gomaz, 1984)

ผลการศึกษา

การเปรียบเทียบเมล็ดข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มียีนร่วม 1 คู่ 2 คู่ และ 3 คู่ โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ด และทดสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ได้ผลการศึกษา ดังนี้

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณแป้งของเมล็ดที่ระยะฝักสด พบว่า สายพันธุ์ C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) มีปริมาณแป้งที่มากที่สุด เท่ากับ 42.5 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด (Table 1) แต่ต่ำกว่าและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ทดสอบ KGW#1 (*Btbt Sh2Sh2 wxwx*) ซึ่งมีปริมาณแป้ง เท่ากับ 57.5 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด สำหรับพันธุ์ทดสอบ KGW#1 มีแป้งสูงสุดนั้น สามารถอธิบายได้จากพันธุ์นี้ เป็นพันธุ์ข้าวเหนียวหวาน มีสัดส่วนการกระจายตัวของเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวต่อข้าวโพดหวานในหนึ่งฝักเท่ากับ 3 ต่อ 1 ส่วน จึงทำให้มีปริมาณแป้งสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดหวานสายพันธุ์อื่น ๆ

ที่ระยะฝักแห้ง พันธุ์แท้ที่มียีนควบคุม 2 คู่ B53 (*btbt sh2sh2 WxWx*) มีปริมาณแป้งสูงที่สุด เท่ากับ 43.4 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง (Table 1) แต่ต่ำกว่าและแตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ทดสอบ KGW#1 (*Btbt Sh2Sh2 wxwx*) มีปริมาณแป้งเท่ากับ 57.1 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง

จากผลการศึกษานี้ เห็นได้ว่าปริมาณแป้งที่ระยะฝักแห้ง (30 วันหลังผสม) มีปริมาณแป้งลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระยะฝักสด (20 วันหลังผสม) ซึ่งสอดคล้องกับ Li et al. (2007) ที่ทำการศึกษาในข้าวโพดไร่ นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Cao et al. (2008) พบว่าปริมาณแป้งของข้าวโพดหวาน Shuxuan1 ค่อย ๆ ลดลง ตั้งแต่ 18 ถึง 30 วันหลังผสม เนื่องมาจาก ข้าวโพดหวานที่มียีน *sh2* และ *bt* มีการสังเคราะห์แป้งเกิดขึ้นน้อยมาก หรือไม่พบเลยในช่วงของการพัฒนาเมล็ด (Laughnan, 1953) อย่างไรก็ตาม สายพันธุ์แท้ B53 และพันธ์ทดสอบ TSC มีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากพันธุ์อื่น ๆ ซึ่งน่าจะอธิบายได้จากความแตกต่างทางพันธุกรรม

ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในระยะฝักสด สายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 2 คู่ คือ C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) B10 (*btb sh2sh2 wxwx*) B53 (*btbt sh2sh2 WxWx*) และสายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 1 คู่ TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) มีปริมาณน้ำตาลสูงสุด เท่ากับ 220.8, 216.3, 207.1 และ 206.7 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (Table 1) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ทดสอบ TSC (*BtBt sh2sh2 WxWx*) เท่ากับ 217.2 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด เห็นได้ว่า สายพันธุ์ C4 B10 และ B53 ที่พัฒนาขึ้นมานั้น มีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าและแตกต่างทางสถิติกับสายพันธุ์ทดสอบที่ใช้เป็นสายพันธุ์แม่ 101L (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) เท่ากับ 155.2 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด และมีความหวานเทียบเท่ากับพันธุ์ทดสอบที่ใช้เป็นสายพันธุ์พ่อ TSC นอกจากนี้ สายพันธุ์ C4 D22 และ B53 มีน้ำตาลทั้งหมดในเอนโดสเปิร์มสูงกว่าการศึกษาของ Simla et al. (2016) โดยพบว่า ข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ 101L

(*btbt Sh2Sh2 wxwx*) และ 216*sh2* (*BtBt sh2sh2 wxwx*) มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเอนโดสเปิร์ม เท่ากับ 112.9 และ 115.0 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่าการพัฒนาข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มียีนร่วมจากการใช้เชื้อพันธุกรรมที่ดี สามารถเพิ่มคุณภาพการบริโภคในลักษณะของความหวานให้ดีขึ้นได้ ที่ระยะฝักแห้ง พบว่ามีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะฝักสด โดยสายพันธุ์ D22 (*BtBt sh2sh2 wxwx*) เป็นข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มีน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 114.3 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ทดสอบ TSC (*BtBt sh2sh2 WxWx*) (108.9 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง) รองลงมาได้แก่ สายพันธุ์ C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) และ TSC/Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) มีน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 102.0 และ 98.0 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลในเมล็ดที่ระยะฝักสดและฝักแห้ง พบว่า ที่ระยะฝักสดจะมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าระยะฝักแห้ง แต่การลดลงของน้ำตาลนั้น จะแตกต่างกันขึ้นกับพันธุกรรมที่ควบคุมองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าวโพด ซึ่งการศึกษานี้สอดคล้องกับหลายการศึกษาในข้าวโพดหวานและข้าวโพดทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการสะสม แป้ง และน้ำตาลในเอนโดสเปิร์ม (Laughnan, 1953; Creech, 1965; Ingle et al., 1965; Wong et al., 1994; Cao et al., 2008; Simla et al., 2010; Xu et al., 2010)

การทดสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์

เมล็ดถูกนำไปทดสอบความงอกโดยวิธีมาตรฐาน (BP test) พบว่า สายพันธุ์ที่มีความงอกสูงที่สุด เป็นสายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 1 คู่ คือ TSC/H3 และ TSC/Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) เท่ากับ 90.7 และ 87.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ **(Table 2)** ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ทดสอบ KGW#1 (*Btbt Sh2Sh2 wxwx*) และ Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) (86.3 และ 84.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 2 คู่ C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) มีความงอกค่อนข้างดี เท่ากับ 71.3 เปอร์เซ็นต์ งอกดีกว่าและแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ 101L พันธุ์ทดสอบที่มียีนด้อย 2 คู่เช่นกัน (38.7 เปอร์เซ็นต์) ส่วนสายพันธุ์ที่มีความงอกต่ำที่สุด คือ สายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 2 คู่ D22 (*BtBt sh2sh2 wxwx*) มีความงอก 48.0 เปอร์เซ็นต์ หลายการศึกษาก่อนหน้านี้ รายงานว่าข้าวโพดหวานที่ถูกควบคุมด้วยยีน *sh2* มีปริมาณน้ำตาลในเอนโดสเปิร์มสูง การสังเคราะห์แป้งเกิดขึ้นน้อยมาก (Laughnan, 1953) เป็นผลให้ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดต่ำ เนื่องมาจากมีปริมาณอาหารสะสมในเอนโดสเปิร์มน้อย (Wann, 1980) แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าสายพันธุ์แท้ที่ควบคุมด้วยยีน *sh2* เพียงคู่เดียวมีความงอกสูงที่สุด เนื่องจากลักษณะทางพันธุกรรมเป็นอีกปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง (Parera et al., 1995) และน่าจะอธิบายได้จากการพัฒนาข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้จากพันธุ์การค้าใหม่ที่มีการพัฒนาด้านคุณภาพเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตาม สายพันธุ์ข้าวโพดหวานที่มียีน 2 และ 3 คู่ มีความงอกค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดหวานยีนคู่เดียว ซึ่งน่าจะอธิบายได้จากปรากฏการณ์ข่มข้ามคู่ หรือ epistasis (กมล, 2536) แม้จะพัฒนาจากเชื้อพันธุกรรมใหม่ ๆ ที่มีความงอกดี ก็ไม่สามารถยกระดับความงอกได้มากนัก แต่สายพันธุ์แท้ที่พัฒนานั้น สามารถเพิ่มความงอกได้สูงกว่าสายพันธุ์แม่ 101L

ความเร็วในการงอก ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับความงอก สายพันธุ์ที่มีความงอกสูง มีความเร็วในการงอกสูงเช่นกัน คือ สายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 1 คู่ TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) และ TSC/Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) มีความเร็วในการงอกสูงสุด เท่ากับ 11.5 และ 10.9 ต้น/วัน ตามลำดับ **(Table 2)** แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ทดสอบ Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) (10.5 ต้น/วัน)

ความยาวต้นกล้าปกติจากการทดสอบ BP test แสดงใน **Table 2** พบว่าสายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 1 คู่ TSC/Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) มีความยาวยอดและรากมากที่สุด คือ 12.4 และ 15.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งความยาวยอดไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ทดสอบ Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) (12.6 เซนติเมตร) สำหรับน้ำหนักแห้งของต้นกล้าปกติ พบว่าพันธุ์ทดสอบ KGW#1 (*Btbt Sh2Sh2 wxwx*) เป็นพันธุ์ที่ต้นกล้าปกติมีน้ำหนักแห้งสูงที่สุด

เท่ากับ 0.048 กรัม/ต้นกล้าปกติ ซึ่งสูงกว่าสายพันธุ์แท้ที่มียีนควบคุม 1 คู่ 2 คู่ และ 3 คู่ ซึ่งสามารถอธิบายได้จาก KGW#1 มีเมล็ดเป็นข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสม ลักษณะเมล็ดจะเต่งและมีปริมาณแป้งหรืออาหารสะสมในเมล็ดมากกว่าข้าวโพดหวานซึ่งมีปริมาณแป้งต่ำมาก โดยมีการสะสมน้ำตาลแทนที่ มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Wann, 1980; Boyer and Hannah, 2001)

Table 1 Total starch and total sugar in endosperm mutant of sweet corn genotypes at fresh and maturity stages

Genotypes	Fresh stage (mg/g)		Maturity stage (mg/g)	
	Starch	Sugar	Starch	Sugar
B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*)	34.6^{g}	216.3^{a}	32.4^{cd}	88.9^{c}
D22 (*BtBt sh2sh2 wxwx*)	35.6^{fg}	165.4^{bc}	35.7^{c}	114.3^{a}
C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*)	42.5^{b}	220.8^{a}	36.0^{c}	102.0^{b}
B53 (*btbt sh2sh2 WxWx*)	38.7^{cd}	206.7^{a}	43.4^{b}	88.6^{c}
TSC/Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	35.6^{fg}	170.7^{b}	26.1^{e}	98.0^{bc}
TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	39.8^{c}	207.1^{a}	26.5^{e}	63.6^{d}
Check varieties				
Sweet corn				
101L (*btbt Sh2Sh2 wxwx*)	38.0^{cde}	155.2^{c}	29.1^{de}	65.1^{d}
TSC (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	37.0^{def}	217.2^{a}	52.1^{a}	108.9^{ab}
Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	36.2^{efg}	153.1^{c}	33.3^{cd}	61.9^{d}
Sweet waxy corn				
KGW#1 (*Btbt Sh2Sh2 wxwx*)	57.5^{a}	107.1^{d}	57.1^{a}	47.6^{e}
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	3.9	5.7	8.3	8.0

** Significantly different at $P \leq 0.01$

Means in the same column with the same letter (s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ by LSD

Table 2 Germination percentage, speed of seed germination, seedling length and seedling dry weight of sweet corn genotypes under standard between papers test (BP Test)

Genotypes	Germination (%)	Speed of germination (plant/day)	Seedling length (cm)		Seedling dry weight (g)
			Stem	Root	
B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*)	62.0^{d}	7.0^{de}	7.8^{de}	8.4^{cd}	0.020^{g}
D22 (*BtBt sh2sh2 wxwx*)	48.0^{e}	6.2^{e}	6.7^{ef}	9.1^{cd}	0.026^{de}
C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*)	71.3^{bc}	8.4^{c}	8.6^{cd}	13.6^{ab}	0.025^{ef}
B53 (*btbt sh2sh2 WxWx*)	64.7^{cd}	7.3^{d}	7.1^{def}	9.5^{cd}	0.019^{g}
TSC/Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	87.3^{a}	10.9^{a}	12.4^{a}	15.5^{a}	0.029^{cd}
TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	90.7^{a}	11.5^{a}	10.6^{b}	11.2^{bc}	0.022^{fg}
Check varieties					
Sweet corn					
101L (*btbt Sh2Sh2 wxwx*)	38.7^{f}	4.5^{f}	6.0^{f}	7.6^{d}	0.021^{g}
TSC (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	73.3^{b}	8.6^{bc}	9.5^{bc}	11.2^{bc}	0.030^{bc}
Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	84.0^{a}	10.5^{a}	12.6^{a}	11.1^{bc}	0.034^{b}
Sweet waxy corn					
KGW#1 (*Btbt Sh2Sh2 wxwx*)	86.3^{a}	9.4^{b}	9.8^{bc}	10.6^{bcd}	0.048^{a}
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	7.0	6.9	10.4	16.5	8.1

** Significantly different at $P \leq 0.01$

Means in the same column with the same letter (s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ by LSD

การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

ผลจากการทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยวิธีเร่งอายุ (AA test) ใน Table 3 พบว่า สายพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงที่สุด คือ TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) และ TSC/Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) เท่ากับ 90.7 และ 82.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ทดสอบ Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) (81.3 เปอร์เซ็นต์) จะเห็นได้ว่าสายพันธุ์แท้ที่ควบคุมด้วยยีน *sh2* เพียงคู่เดียวมีความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์สูง เนื่องจากลักษณะทางพันธุกรรมเป็นอีกปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง (Parera et al., 1995) และน่าจะอธิบายได้จากการพัฒนาข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้จากพันธุ์การค้าใหม่ ๆ ที่มีการพัฒนาด้านความงอก และเมล็ดที่มียีน *sh2* ควบคุมเอนโดสเปิร์มจะสามารถดูดน้ำได้เร็ว และเกิดกระบวนการหายใจในอัตราสูงช่วง 4 วันแรกหลังจากเมล็ดดูดซับน้ำ ทำให้สามารถสร้างพลังงานในรูปของ ATP ได้มากกว่ายีนอื่น ๆ ในช่วงนี้ (Styer et al., 1980) และพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำที่สุด คือ B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*) เท่ากับ 40.0 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ทดสอบ 101L (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) เท่ากับ 41.0 เปอร์เซ็นต์ ผลของความเร็วในการงอกเป็นไปในทิศทางที่ใกล้เคียงกับความงอก สายพันธุ์ TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) และ TSC/Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) มีความเร็วในการงอกสูงที่สุด เท่ากับ 11.4 และ 10.5 ต้น/วัน ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ที่มีความเร็วในการงอกต่ำที่สุด เป็นพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำที่สุด คือ B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*) เท่ากับ 3.9 ต้น/วัน และไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ทดสอบ TSC (*BtBt sh2sh2 WxWx*) (4.5 ต้น/วัน) เปอร์เซ็นต์

ความยาวของต้นกล้าหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ พบว่า สายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 1 คู่ TSC/Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) และ TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) มีความยาวยอด (10.6 ซม.) และราก (15.5 และ 13.1 ซม. ตามลำดับ) มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มของสายพันธุ์แท้ แต่ยังคงต่ำกว่าพันธุ์ทดสอบ Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) ที่มีความยาวยอด เท่ากับ 12.5 ซม. ส่วนสายพันธุ์แท้ B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*) มีความยาวยอดและรากสั้นที่สุด เท่ากับ 6.5 และ 6.3 ซม. ตามลำดับ ซึ่งความยาวรากไม่แตกต่างกับ D22 (*BtBt sh2sh2 wxwx*) (6.3 ซม.)

น้ำหนักแห้งของข้าวโพดหวานสายพันธุ์แท้โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.023 กรัม/ต้นกล้าปกติ ยกเว้น TSC/Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) ที่มีน้ำหนักแห้งของต้นกล้าปกติสูงที่สุดในกลุ่มของสายพันธุ์แท้ เท่ากับ 0.029 กรัมต่อต้นกล้าปกติ (Table 3) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ทดสอบ TSC (*BtBt sh2sh2 WxWx*) แต่ต่ำกว่าพันธุ์ทดสอบ KGW#1 (*Btbt Sh2Sh2 wxwx*) เป็นข้าวโพดข้าวเหนียวหวานลูกผสม ซึ่งมีน้ำหนักแห้งสูงที่สุด เท่ากับ 0.05 กรัม/ต้นกล้าปกติ

Table 3 Germination percentage, speed of seed germination, seedling length and seedling dry weight of sweet corn genotypes under aging accelerated test (AA-Test)

Genotypes	Germination (%)	Speed of germination (plant/day)	Seedling length (cm)		Seedling dry weight (g)
			Stem	Root	
B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*)	40.0^{f}	3.9^{e}	6.5^{f}	6.3^{e}	0.023^{de}
D22 (*BtBt sh2sh2 wxwx*)	49.3^{de}	5.4^{cd}	6.3^{f}	7.1^{de}	0.022^{e}
C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*)	50.7^{d}	5.4^{cd}	7.8^{cd}	8.7^{cd}	0.022^{e}
B53 (*btbt sh2sh2 WxWx*)	54.7^{cd}	6.4^{c}	7.0^{ef}	9.0^{cd}	0.018^{e}
TSC/Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	82.0^{ab}	10.5^{ab}	10.6^{b}	15.5^{a}	0.029^{cd}
TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	90.7^{a}	11.4^{a}	10.6^{b}	13.1^{b}	0.022^{e}
Check varieties					
101L (*btbt Sh2Sh2 wxwx*)	41.0^{ef}	5.7^{cd}	8.4^{cd}	8.2^{cde}	0.023^{de}
TSC (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	40.0^{f}	4.5^{de}	8.7^{cd}	7.9^{de}	0.031^{bc}
Su75 (*BtBt sh2sh2 WxWx*)	81.3^{b}	9.9^{b}	12.5^{a}	9.9^{c}	0.036^{b}
KGW#1 (*BtBt Sh2Sh2 wxwx*)	61.3^{c}	6.6^{c}	9.3^{c}	10.1^{c}	0.052^{a}
F-test	**	**	**	**	**
C.V. (%)	9.0	11.2	7.8	12.2	12.9

** Significantly different at $P \leq 0.01$

Means in the same column with the same letter (s) are not significantly different at $P \leq 0.05$ by LSD

สหสัมพันธ์ของความงอก ความแข็งแรง และองค์ประกอบทางเคมี

ความงอกใน BP test มีความสัมพันธ์ทางสถิติในทิศทางบวกที่ระดับค่อนข้างสูงกับลักษณะความเร็วในการงอก (r = 0.97**) ความยาวยอด (r = 0.89**) และความยาวราก (r = 0.69*) **(Table 4)** นอกจากนี้ ความเร็วในการงอกมีความสัมพันธ์ทางสถิติในทิศทางบวกที่ระดับสูงกับความยาวยอดและราก (r = 0.92** และ 0.72* ตามลำดับ) ความแข็งแรงใน AA test มีความสัมพันธ์ทางสถิติในทิศทางบวกที่ระดับสูงกับลักษะความเร็วในการงอก (r = 0.98**) ความยาวยอด (r = 0.80**) และความยาวราก (r = 0.85**) ส่วนความเร็วในการงอกหลังการเร่งอายุมีความสัมพันธ์ทางสถิติในทิศทางบวกที่ระดับสูงกับลักษณะความยาวยอด และความยาวราก (r = 0.82** และ 0.88** ตามลำดับ) **(Table 4)**

ในขณะที่ความงอกความแข็งแรง และความเร็วในการงอก ทั้งจากการทดสอบโดยวิธีมาตรฐาน (BP test) และวิธีการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (AA test) ไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะน้ำหนักแห้งของต้นกล้าปกติ ปริมาณน้ำตาลและแป้งทั้งหมด ที่ระยะฝักสดและฝักแห้ง (**Table 4**) ซึ่งไม่แตกต่างจากการศึกษาของ Juvik et al. (1993) ในข้าวโพดหวาน *sh2* ปริมาณแป้งทั้งหมดมีความสัมพันธ์ทางสถิติในทิศทางบวกที่ระดับสูงกับความงอก (r = 0.80) ฉะนั้นการศึกษานี้ ชี้ให้เห็นว่าปริมาณแป้งและน้ำตาลทั้งหมดไม่สามารถนำไปทำนายความงอกความแข็งแรงของเมล็ดได้เสมอไป เนื่องจากเมล็ดมีกระบวนการทางสรีรวิทยาที่ซับซ้อน และมีหลายปัจจัยเข้ามามีอิทธิพลต่อการงอก ไม่ว่าจะเป็นลักษณะทางพันธุกรรม การเข้าทำลายโดยเชื้อโรคทางดินได้ง่าย ปัจจัยสภาพแวดล้อม และอายุของเมล็ด (Parera et al., 1995) น้ำหนักเมล็ด และลักษณะของเปลือกหุ้มเมล็ด (Adetimirin et al., 2006) ล้วนแต่มีผลต่อความงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

Table 4 Correlation coefficients among germination parameters, carbohydrate characters and germination percentage and speed of germination in BP test and AA test

(n=10)

Parameters	BP test		AA test	
	G	SG	G	SG
SG	0.97**		0.98**	
SL	0.89**	0.92**	0.80**	0.82**
RL	0.69*	0.72*	0.85**	0.88**
SDW	0.50	0.40	0.20	0.13
TST at fresh stage	0.34	0.18	0.06	-0.02
TSU at fresh stage	-0.06	-0.02	-0.22	-0.22
TST at maturity stage	0.12	-0.05	-0.38	-0.46
TSU at maturity stage	-0.31	-0.24	-0.41	-0.41

*, ** Significantly different at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

(G=germination, SG=speed of germination, SL= Stem length, RL=root length, SDW=seedling dry weight, TST=total starch, TSU=total sugar)

สรุป

สายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 2 คู่ C4 (*btbt Sh2Sh2 wxwx*) มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ระยะฝักสดสูงที่สุด รองลงมาคือ B10 (*btbt sh2sh2 wxwx*) และ B53 (*btbt sh2sh2 WxWx*) ซึ่งไม่แตกต่างกับสายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 1 คู่ คือ TSC/H3 (*BtBt sh2sh2 WxWx*) สายพันธุ์แท้ที่มียีนด้อยควบคุม 2 และ 3 คู่ มีความงอกและความแข็งแรงค่อนข้างดีเมื่อทดสอบในสภาพที่เหมาะสมหรือ BP test แต่หลังจากเมล็ดถูกนำไปเร่งอายุในสภาพที่อุณหภูมิและความชื้นไม่เหมาะสม พบว่า สายพันธุ์ที่มียีน *sh2* ควบคุมเพียงคู่เดียวมีความแข็งแรงสูงที่สุด แต่เมื่อมีการรวมยีน *sh2* หรือ *bt* กับ *wx* พบว่ามีความแข็งแรง

ต่ำมาก นอกจากนี้ ยังพบว่าความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแป้งและน้ำตาลทั้งหมดในเมล็ด ข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์ต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดยีนร่วมในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณโครงการเมธีวิจัยอาวุโสเพื่อพืชอาหารสุขภาพ ภายใต้ ศ.ดร. สนั่น จอกลอย (Project no. RTA 5880003) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) (Project code: IRG5780003) และศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กมล เลิศรัตน์. 2536. การปรับปรุงพันธุ์พืชผสมข้าม. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

Adetimirin, V.O., S.K. Kim, and M. Szczech. 2006. Factors associated with emergence of *shrunken-2* maize in Korea. J Agric Sci. 144: 63-68.

Boyer, C.D., and L.C. Hannah. 2001. Kernel Mutants of Corn. In: Hallauer, A.R. (ed.) Specialty Corns. 2nd edition. CRC press: New York, Washington, D.C.

Cao, D.D., J. Hu, X. X. Huang, X.J. Wang, Y.J. Guan, and Z.F. Wang. 2008. Relationship between changes of kernel nutritive components and seed vigor during development stages of F1 seeds of *sh2* sweet corn. J Zhejing Univ. Sci B. 9: 964-968.

Creech, R.G. 1965. Genetic control of carbohydrate synthesis in maize endosperm. Genetics. 52: 1175–1186.

Dubios M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers, and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Anal chem. 28: 350-356.

Gomez, K. B. and A. A. Gomez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2nd edition. John Wiley and Sons, Inc. London, UK.

Ingle, J., D. Beitz, and R.H. Hageman. 1965. Changes in composition during development and maturiation of maize seeds. Plant Physiol. 835-839.

ISTA. 1999. International rules for seed testing. Seed Science and Technology. 27. Supplement. Zurich, Switzerland. Kozlowski T.T. (ed.) Seed biology. Academic Press, New York.

Juvik, J.A., M.C. Jangulo, J.M. Headrick, J.K. Pataky, and W.F. Tracy. 1993. Kernel changes in *shrunken2* maize population associated with selection for increased field emergence. J Amer Soc Hort Sci. 118: 135-140.

Ketthaisong, D., B. Suriharn, R. Tangwongchai, and K. Lertrat. 2013. Changes in physicochemical properties of waxy corn starches at different stages of harvesting. Carbohydr Polym. 98: 241 – 248.

Laughnah, J.R. 1953. The effect of the *sh2* factor on carbohydrate reserves in the mature endosperm of maize. Genetics. 38: 485-499

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 Hortic. 769: 145–150.

Lertrat, K. and T. Pulam. 2007. Breeding for increased sweetness in sweet corn-a review. IJPB. 1: 27-30.

Li, L., M. Blanco, and J. Jane. 2007. Physicochemical properties of endosperm and pericarp starches during maize development. Carbohydr Polym. 67: 630-639.

Parera, C. A. and D.J. Cantliffe. 1994. Presowing seed treatments to enhance supersweet corn seed and seedling quality. Hort Sci. 29: 277-278.

Parera, C. A., D.J. Cantliffe, P.J. Rtoffella, and B.T. Scully. 1995. Field emergence of *shrunken-2* corn predicted by single- and multiple-vigor laboratory. J Amer Soc Hort Sci. 120: 128-132.

Simla, S., K. Lertrat, and B. Suriharn. 2010. Carbohydrate characters of six vegetable waxy corn varieties as affected by harvest time and storage duration. Asian J Plant Sci. 9: 463-470.

Simla, S., K. Lertrat, and B. Suriharn. 2016. Combinations of multiple genes controlling endosperm characters in relation to maximum eating quality of vegetable waxy corn. SABRAO J Breed Genet. 48: 210-218.

Styer R.C., D.J. Cantliffe, and L.C. Hannah. 1980. Differential seed and seedling vigor in *shrunken-2* compared to three other genotypes of corn at various stages of development. J Amer Soc Hort Sci. 105: 329-332.

Styer, R.C. and D.J. Cantliffe. 1983. Relationship between environment during seed development and seed vigor of two endosperm mutants of corn. J Amer Soc Hort Sci. 108: 717–720.

Styer, R.C. and D.J. Cantliffe. 1984. Dependence of seed vigor during germination on carbohydrate source in endosperm mutants of maize. J Amer Soc Hort Sci. 76: 196-200.

Tracy, W.F. 1977. History, Genetics, and Breeding of Super sweet (*shrunken*2) Sweet corn, In: Janick J (Ed) Plant Breeding Reviews (Vol 14), John Wiley and Son, Inc, pp 189-236.

Wann E.V. 1980. Seed vigor and respiration of maize kernels with different endosperm genotypes. J Amer Soc Hort Sci. 105: 31-34.

Wong A.D., J.A. Juvik, D.C. Breeden, and J.M. Swiader. 1994. *Shrunken2* sweet corn yield and the chemical components of quality. J Amer Soc Hort Sci. 119(4): 747-755.

Xu, J.G., Q.P. Hu, X.D. Wang, J.Y. Luo, Y. Liu, and C.R. Tain. 2010. Changes in the main nutrients, phytochemicals and antioxidant activity in yellow corn grain during maturation. J Agric Food Chem. 58: 5751-5756.