# บทที่ 2

# ตรวจเอกสาร

## ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวโพดหวาน

ข้าวโพดหวาน (sweet corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Zea mays* L. จัดอยู่ในวงศ์ Gramineae และวงศ์ย่อย Saccharata มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ดังนี้

**ราก** ข้าวโพดหวานมีระบบรากแบบรากฝอย (fibrous root system) ซึ่งเจริญมาจาก 2 ส่วน คือ รากที่เจริญมาจากคัพพะ เรียกว่า primary root หรือ first seedling root เป็นรากที่มีการพัฒนามาจากแรดิเคิล (radicle) และมีรากแขนงแตกออกมา เรียกว่า secondary root หรือ lateral root นอกจากนี้ยังมีรากที่เกิดขึ้นที่ scutellar node เรียกว่า seminal root รากทั้งหมดนี้มีการเจริญเติบโตในระยะเวลาสั้นๆ ขณะข้าวโพดเป็นต้นกล้า และจะตายไปเมื่อต้นข้าวโพดโตขึ้น รากส่วนที่สองคือรากที่เจริญมาจากลำต้น เรียกว่า adventitious root มีจุดกำเนิดจากข้อส่วนล่างของลำต้น ข้อแรกที่เกิดรากชนิดนี้คือ coleoptilar node รากเหล่านี้จะเจริญเติบโตอยู่ตลอดชีวิตของข้าวโพด สามารถเจริญแผ่กระจายรอบลำต้น มีรัศมีประมาณ 1 เมตร และหยั่งลึกลงไปในดินได้ 2.1-2.4 เมตร

**ลำต้น** ลำต้นประกอบด้วยข้อ (node) และปล้อง (internode) ในส่วนของข้อประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ วงเจริญ (growth ring) ปุ่มกำเนิดราก (root primordia) ตา (bud) และรอยกาบใบ (leaf scar) ตาในส่วนล่างๆ ของลำต้นสามารถเจริญเป็นหน่อ (tiller) ได้ ลำต้นของข้าวโพดเรียกว่า culm หรือ stalk มีความสูงตั้งแต่ 30 เซนติเมตรจนถึง 7.5 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5-5.0 เซนติเมตร รูปร่างของลำต้นตรงและค่อนข้างกลม แต่จะเรียวเล็กขึ้นไปที่ยอด ปล้องที่อยู่ส่วนล่างๆ ของลำต้นบริเวณเหนือตามักพบร่อง (bud groove) ที่มุมใบที่อยู่ใต้ดินสามารถเจริญเป็นหน่อ แต่โดยทั่วไปข้าวโพดจะไม่แตกหน่อ และตาของข้อที่ 7 หรือ 8 บนลำต้นนับจากใบธงลงมาจะเจริญเป็นฝัก (ear shoot)

**ใบ** ประกอบด้วย กาบใบ (leaf sheath) และแผ่นใบ (leaf blade) โดยกาบใบจะหุ้มลำต้นไว้ กาบใบที่อยู่ส่วนล่างของลำต้น มีความยาวประมาณครึ่งหนึ่งของปล้อง ในขณะที่กาบใบที่อยู่ส่วนบนของลำต้นจะหุ้มกาบใบที่อ่อนอยู่ไว้ กาบใบมีลักษณะค่อนข้างหนาและแข็งแรง ดังนั้นความแข็งแรงของลำต้นจึงขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกาบใบ แผ่นใบมีเส้นกลางใบเรียกว่า midrib และมีเส้นใบขนานไปกับเส้นกลางใบ มีลักษณะเป็นแผ่นเรียว ยาวประมาณ 80 เซนติเมตร กว้าง 9-10 เซนติเมตร ผิวใบด้านบนมีขนกระจายอยู่ทั่วไป และมีปากใบขนาดใหญ่ ส่วนผิวใบด้านล่างไม่มีขน มีปากใบเล็ก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่มีจำนวนมากกว่าผิวใบด้านบน ที่บริเวณส่วนต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบจะพบลิ้นใบหรือเยื่อกันน้ำ (ligule) หูใบหรือเขี้ยวใบ (auricle) และรอยต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบ (leaf collar) ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากด้านหลัง เยื่อกันน้ำอยู่ระหว่างกาบใบและแผ่นใบ มีลักษณะเป็นแผ่น โอบรอบลำต้น ส่วนหูใบมีลักษณะคล้ายอักษรตัววี เกิดที่ฐานของใบทั้งสองข้างเหนือเยื่อกันน้ำเล็กน้อย นอกจากนี้ระหว่างฝักกับลำต้นจะพบอวัยวะที่มีลักษณะคล้ายใบที่ไม่มีเส้นกลางใบ มีลักษณะเป็นสัน 2 สัน เรียกว่า prophyllum (เรวัต, 2541)

**ช่อดอกและดอก** ข้าวโพดมีช่อดอกตัวผู้เรียกว่า tassal และช่อดอกตัวเมียเรียกว่า ear อยู่บนต้นเดียวกันแต่แยกกันอยู่คนละตำแหน่ง (monoecious) โดยช่อดอกตัวผู้อยู่ที่ส่วนยอดของลำต้นเป็นแบบ panicle มีแกนกลางช่อดอกเรียกว่า rachis ที่ rachis มีกิ่งแขนงชั้นแรกเกิดอยู่ และบนกิ่งแขนงนี้เป็นที่เกิดของกิ่งแขนงชั้นที่สอง กลุ่มดอกย่อย (spikelet) เกิดเป็นคู่คือชนิดที่มีก้าน (pedicelled spikelet) และไม่มีก้าน (sessile spikelet) แต่ละกลุ่มดอกประกอบด้วย 2 ดอกย่อย ดอกย่อยที่อยู่ด้านบนมีการเจริญเติบโตดีกว่าดอกย่อยที่อยู่ด้านล่าง แต่ละดอกย่อยประกอบด้วยกลีบดอกที่เรียกว่า lemma และ palea มีเกสรตัวผู้ 3 อัน เยื่อรองรังไข่ (lodicule) 2 อัน และเกสรตัวเมียที่ไม่ทำหน้าที่ (rudimentary pistil) อีก 1 อัน โดยทั่วไปดอกตัวผู้จะโปรยละอองเกสรอยู่นาน 5-8 วัน ส่วนช่อดอกตัวเมียหรือฝัก เกิดจากตาที่มุมใบข้อที่ 6 นับจากใบธงลงมา มีช่อดอกแบบ spike การพัฒนาของช่อดอกเริ่มขึ้นเมื่อข้าวโพดมีอายุ 40-45 วันหลังงอก ก้านฝักหรือก้านช่อดอก (shank) ถูกหุ้มด้วยกาบใบหรือเปลือกหุ้มฝัก (husk) กลุ่มดอกตัวเมียเกิดเป็นคู่เรียงกันเป็นแถวยาวบนแกนกลางช่อดอกหรือซัง (cob) ดังนั้นฝักข้าวโพดจึงมีจำนวนแถวของเมล็ดเป็นแถวคู่ กลุ่มดอกที่มีก้านสั้นถูกห่อหุ้มด้วยกลีบ (glume) สั้นๆ 2 กลีบ ภายในแต่ละกลุ่มมีดอกย่อย 2 ดอก เฉพาะดอกย่อยดอกบนเท่านั้นที่เจริญ แต่ละดอกย่อยประกอบด้วย lemma และ palea รวมเรียกว่า chaff มีเกสรตัวเมีย 1 อัน เยื่อรองรังไข่ 2 อัน และเกสรตัวผู้ที่เป็นหมัน (rudimentary stamen) 3 อัน ก้านเกสรตัวเมียยาว 10-30 เซนติเมตร เรียกว่าไหม (silk) ไหมแต่ละเส้นจะมีขนที่สามารถรับละอองเกสรตัวผู้ได้ตลอดความยาว เส้นไหมบริเวณโคนฝักจะเกิดขึ้นก่อนตามด้วยส่วนกลางฝัก แต่เส้นไหมบริเวณกลางฝักจะยืดตัวโผล่พ้นกาบหุ้มฝักก่อน จึงได้รับการผสมก่อน ทำให้เมล็ดบริเวณกลางฝักมีความสมบูรณ์และขนาดใหญ่กว่าบริเวณโคน และปลายฝัก ไหมจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและแห้งเหี่ยวเมื่อดอกได้รับการผสม ข้าวโพด 1 ฝัก จะมีไหม 400-1,000 เส้น ทำให้เกิดเมล็ด 400-1,000 เมล็ด (ชูศักดิ์, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**การพัฒนาและการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน**

ข้าวโพดหวานเป็นพืชที่ปลูกได้ตั้งแต่เขตหนาว เช่นประเทศแคนาดา จนถึงเขตร้อน เช่น ประเทศไทย แต่จะไม่เจริญเติบโตถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 10 °c หรือสูงกว่า 45 °c ดังนั้นอุณหภูมิในประเทศไทยจึงเหมาะแก่การปลูกข้าวโพดหวานตลอดทั้งปี ข้าวโพดหวานชอบดินร่วนและมีการระบายน้ำดี น้ำไม่ท่วมขัง มี pH อยู่ในช่วง 5.5-6.5 ในประเทศไทยสามารถปลูกได้แทบทุกพื้นที่ เมื่อหยอดเมล็ดข้าวโพดลงดินแล้ว รากจะขยายตัวยาวออกไปและงอกพ้นจากเมล็ดภายใน 2-3 วัน หลังจากนั้นส่วนยอดอ่อน (coleoptile) จะเริ่มยืดตัวออกมา งอกพ้นดินภายใน 4-5 วัน แต่อาจใช้เวลาถึง 10 วัน ถ้าในช่วงปลูกมีอากาศหนาวเย็น โดยเฉพาะการปลูกในเดือนธันวาคม และมกราคม หลังจากโผล่พ้นดินประมาณ 7 วัน ต้นอ่อนจะตั้งตัวได้และเริ่มสร้างระบบรากและใบ ใบใหม่จะเริ่มงอกจากจุดเจริญเติบโต (growing point) ซึ่งเป็นส่วนยอดสุดของต้น และจะงอกออกมาเรื่อยๆ จนกระทั่งใกล้ออกดอก (tasselling time) เมื่อข้าวโพดมีใบจริงประมาณ 8 ใบ หรือต้นสูงประมาณเข่า ระบบรากของข้าวโพดจะแผ่ออกไปรอบต้น และลงไปลึกประมาณครึ่งเมตร รากบางรากอาจอยู่ระดับผิวดิน และเมื่อช่อดอกตัวผู้เริ่มบาน รากที่งอกออกมาจากข้อที่อยู่เหนือต้น หรือรากค้ำจุน (brace root) เริ่มแทงทะลุลงไปในดิน

หลังจากที่จุดเจริญเติบโตเริ่มเปลี่ยนแปลงเป็นช่อดอกตัวผู้ ด้านข้างของลำต้นประมาณข้อที่ 8 ใต้ช่อดอกตัวผู้ก็เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นฝัก (ear) ซึ่งปกติแล้วต้นข้าวโพดจะใช้เวลาตั้งแต่ปลูกจนถึงการสร้างช่อดอกตัวผู้ (tassel initiation) ประมาณ 20 วัน และจะใช้เวลาอีกประมาณ 25-30 วัน ดอกตัวผู้จะโผล่พ้นใบธง (flag leaf) และเริ่มบาน ฝักก็จะเริ่มโผล่จากด้านข้างของลำต้น หลังจากที่ช่อดอกตัวผู้โผล่พ้นขึ้นมาแล้วประมาณ 2-10 วัน ก็จะปรากฏไหม (silk) โผล่ออกมา ไหมทั้งหมดจะโผล่ภายใน 3-5 วัน หลังจากไหมแรกโผล่ ช่อดอกตัวผู้ของข้าวโพดหวานจะบานอยู่เป็นเวลา 3-10 วัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ เมื่อละอองเกสรตกลงบนไหม จะเริ่มเกิดการผสมเกสรและกระบวนการสร้างเมล็ด หลังการผสมเกสร 2-3 วัน ปลายไหมจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและแห้ง โดนไหมส่วนที่ติดกับเมล็ดจะหลุดออก เมล็ดจะเติบโตอย่างรวดเร็วและสามารถเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 18-20 วันหลังผสมเกสร (ทวีศักดิ์,2540) ในช่วงระยะการผสมเกสร หากสภาพอากาศไม่เหมาะสม มีอุณหภูมิสูงหรือหนาวเย็นเกินไป จะทำให้ละอองเกสรและไหมแห้ง หรือไม่มีการโปรยละอองเกสร ส่งผลให้เมล็ดเจริญไม่เต็มที่ และติดเมล็ดไม่เต็มฝัก (Swiader *et al.*,1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ระยะการเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน**

การเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานมักจะนิยมเก็บเกี่ยวเมื่อเมล็ดพัฒนาอยู่ในระยะน้ำนม (milk stage) (Work and Carew, 1955) โดยทั่วไปภายใต้อุณหภูมิปกติ จะใช้ระยะเวลาประมาณ 18-21 วันหลังออกไหม แต่ถ้าอุณหภูมิอบอุ่นกว่าปกติ อาจใช้เวลาประมาณ 18 วันหลังออกไหมหรือน้อยกว่า (Swiader *et al.*,1992) ที่ระยะน้ำนม เมล็ดข้าวโพดหวานจะบวมโต มีความหวาน ของเหลวภายในเมล็ดมีลักษณะคล้ายน้ำนม เมล็ดอ่อนนุ่มและมีขนาดใหญ่ ถ้าหากทำการเก็บเกี่ยวก่อนระยะนี้ จะส่งผลให้น้ำหนักน้อย ขนาดฝักเล็ก เมล็ดไม่เต็มฝักและขาดความหวาน แต่ถ้าเก็บเกี่ยวที่ระยะสุกแก่เกินไป ถึงแม้ว่าจะทำให้น้ำหนักของฝักเพิ่ม แต่น้ำตาลภายในเมล็ดจะเปลี่ยนไปเป็นแป้งมากขึ้น ส่งผลให้ความอ่อนนุ่มและความหวานของเมล็ดลดลง (Decoteau, 2000)

**พันธุกรรมของข้าวโพดหวาน**

เริ่มจากการค้นพบยีน *su* (sugary) บนโครโมโซมคู่ที่ 4 ซึ่งมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต ต่อมานักพันธุศาสตร์ได้ค้นพบยีนที่มีผลต่อกระบวนการดังกล่าวภายในเมล็ดข้าวโพดอีกหลายยีน และนักปรับปรุงพันธุ์มักนำไปใช้ในการผลิตข้าวโพดหวานพันธุ์ใหม่ๆ ที่มีคุณภาพดีขึ้น โดยในแต่ละยีนมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังนี้

- *su* (sugary gene) มีอยู่ 2 คู่ด้วยกัน คือ *su1* และ *su2* มีผลทำให้เกิดการสะสม phytoglycogen ซึ่งเป็น water soluble polysaccharide และเป็นตัวที่ทำให้เนื้อของข้าวโพดหวานนุ่ม
- *sh* (shrunken gene) มีอยู่หลายคู่ด้วยกัน คือ *sh1*, *sh2*, *sh3*, *sh4* และ *sh5* มีผลทำให้แป้งลดน้อยลง และมีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์คุณภาพของข้าวโพดให้หวาน โดยการถ่ายยีน sh2 ให้อยู่ในพันธุ์ใหม่
- *bt* (brittle gene) มี 3 คู่ คือ *bt1*, *bt2* และ *bt4* เป็นยีนที่มีผลคล้ายกับยีน *sh*
- *wx* (waxy gene) เป็นยีนที่ทำให้เกิดการสะสมแป้งพวก amylopectin โดยมักจะพบในข้าวโพดเทียนหรือข้าวโพดข้าวเหนียว
- *du* (dull gene) มีข้อมูลน้อยมาก และไม่มีการกล่าวถึงอิทธิพลของยีนนี้ แต่ก็มีการนำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวาน
- *ae* (amylose extender gene) เป็นยีนที่ทำให้ปริมาณของ amylose เพิ่มขึ้น
- *se* (sugary enhancer gene) เป็นยีนที่มีการค้นพบล่าสุด จะแสดงออกร่วมกับยีน *su* เสมอ มีผลทำให้เกิดการสะสมน้ำตาลมอลโตส (maltose) เพิ่มขึ้น (ทวีศักดิ์, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งยีนดังกล่าวจะอยู่บนตำแหน่งต่างๆ บนโครโมโซมของข้าวโพดหวาน และมีรายละเอียดดังตาราง 1

**ตาราง 1** ยีนที่มีผลต่อกระบวนการสะสมคาร์โบไฮเดรตในข้าวโพดหวาน

| ยีน | | ลักษณะเมล็ด | ผลของยีนที่เด่นชัด |
|---|---|---|---|
| amylose extender | *ae* | ขุ่นทึบ มีสีด้าน | มี amylose สูง |
| brittle | *bt* | เหี่ยวย่นมาก | มี sucrose 20-30% หวานกรอบ |
| dull | *du* | มีสีด้าน | |
| sugary enhancer | *se* | ย่นกว่า *su* เล็กน้อย | มี maltose สูง มี WSP สูง แต่จะมีผลของยีนเมื่อมียีน *su* ร่วมด้วยเท่านั้น |
| shrunken2 | *sh2* | ย่นมาก มีสีขุ่น ไม่สดใส | มี sucrose 20-30% หวานมาก กรอบ |
| sugary | *su* | เหี่ยวย่นเล็กน้อย ใสแวววาว | มี sucrose 10-15% มี WSP สูง นุ่มมาก |
| waxy | *wx* | ขุ่นทึบ มีสีด้าน | เป็น amylopectin ทั้งหมด นุ่มมาก |

WSP = water soluble polysaccharide

ดัดแปลงจาก Coe และ Neuffer (1977)

**คาร์โบไฮเดรตในข้าวโพดหวาน**

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ในเมล็ดข้าวโพด คาร์โบไฮเดรตที่สร้างจากส่วนต่างๆ ของพืชจะถูกเคลื่อนย้ายเข้าสู่เมล็ดเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตของเมล็ด (Boyer and Shannon, 1987) ประเภทของคาร์โบไฮเดรตภายในเมล็ดได้แก่ แป้ง และน้ำตาล ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหวานคือ ปริมาณและชนิดของน้ำตาล น้ำตาลที่สำคัญประกอบด้วย ซูโครส (sucrose) ซึ่งเป็น non reducing sugar และมีกลูโคส (glucose) และ ฟรุกโตส (fructose) เป็น reducing sugar ส่วนน้ำตาลอื่นๆ จะมีอยู่ในปริมาณเล็กน้อย (ธนบูลย์, 2536) ในขณะที่เมล็ดมีอายุน้อย จะมีปริมาณน้ำตาลที่สูง ส่วนแป้งจะมีปริมาณต่ำ เป็นเช่นนี้ไปจนเมล็ดมีอายุประมาณ 12 วันหลังการผสมเกสร หลังจากนั้นกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแป้ง หรือการสังเคราะห์แป้งจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำตาลภายในเมล็ดลดต่ำลง (Creech, 1965) ข้าวโพดหวานที่นิยมปลูกกันมากในอดีตเป็นข้าวโพดหวานที่มียีน *su* แต่ปัจจุบัน ในประเทศไทยนิยมปลูกข้าวโพดหวานพิเศษที่มียีน *sh* เช่น *sh1* หรือ *sh2* และยีน *bt* เช่น *bt1* หรือ *bt2* ซึ่งมีการปลูกอยู่บ้างประปราย (ทวีศักดิ์, 2536)

ข้าวโพดหวานพิเศษที่มียีน *sh* และ *bt* จะมีการสะสมปริมาณน้ำตาลภายในเมล็ดได้ดีกว่าข้าวโพดหวานที่มียีน *su* และเป็นที่นิยมสำหรับนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะข้าวโพด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

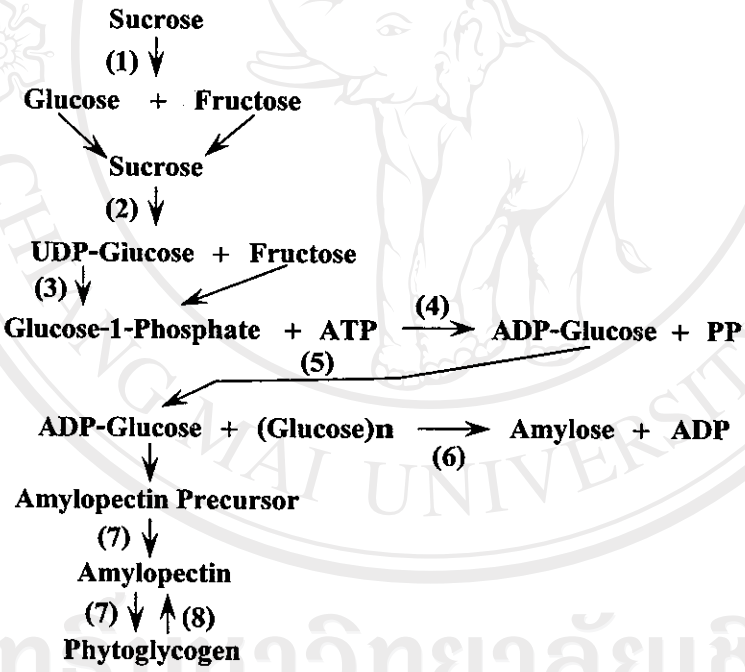
หวานยีน *sh2* เมื่อนำไปแปรรูปเป็นข้าวโพดหวานกระป๋องหรือครีมข้าวโพด ส่วนมากจะไม่มีเติมเกลือหรือน้ำตาลลงไปเพื่อเพิ่มรสชาติ หรือถ้าหากมีการเติม ก็จะเติมในปริมาณเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดหวานยีนอื่นๆ (Tracy, 2001) จากการทดลองของ Boyer and Shannon (1983) พบว่าในข้าวโพดหวานที่มียีน *su* มีปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงกว่าข้าวโพดที่มียีนชนิดอื่นอยู่ประมาณ 2 เท่า และจะสูงกว่า 3-4 เท่า ถ้าข้าวโพดหวานนั้นมียีน *sh2* เช่นเดียวกับ Azanza *et al.* (1996) ที่ได้ทดลองปลูกข้าวโพดหวานที่มียีน *sh2* และ *su1* แล้วทำการเก็บเกี่ยวที่ 18 และ 20 วันหลังถ่ายละอองเกสร พบว่า ข้าวโพดหวานที่มียีน *sh2* มีปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงกว่ายีน *su1* และเมล็ดจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 52% จาก 18 วัน ถึง 20 วันหลังถ่ายละอองเกสร อันเนื่องมาจากกระบวนการสะสมแป้งที่เพิ่มขึ้นภายในเมล็ด Laughnan (1953) ได้ศึกษาคาร์โบไฮเดรตในข้าวโพดหวานยีน *sh2* และ *su1* พบว่า ข้าวโพดหวานยีน *sh2* มีปริมาณน้ำตาล 20% ของน้ำหนักแห้ง และทั้งยีน *sh2* และ *su1* มีปริมาณ water soluble polysaccharide ต่ำ ส่วน Holder *et al.* (1974) รายงานว่าในเมล็ดข้าวโพดหวานยีน *sh2* ที่มีอายุ 21 วัน มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสเท่ากับ 1.8 และ 1.6 มิลลิกรัมต่อเมล็ด ตามลำดับ และ Creech (1965) ยังพบว่าเมื่อเมล็ดมีอายุ 16 วัน จะมีปริมาณ reducing sugar สูงสุด และจะลดลงเมื่อเมล็ดมีอายุมากขึ้น และในการศึกษาผลของยีน *ae*, *du*, *sh2*, *su1*, *su2* และ *wx* พบว่าปริมาณ reducing sugar และน้ำตาลซูโครส มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณและน้ำหนักแห้งของเมล็ด เช่นเดียวกับข้าวโพดหวานยีน *bt1* และ *bt2* ที่ Cameron and Teas (1953) ได้รายงานว่า เป็นยีนที่มีผลทำให้ reducing sugar และ น้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น และทำให้แป้งลดลง รวมทั้ง Alexander and Creech (1977) ก็พบว่า อัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดข้าวโพดที่มียีน *wx*, *su*, *sh2* และ *sh2su* เมื่อเมล็ดมีอายุ 20 วัน หลังจากผสมเกสร จะมีปริมาณ reducing sugar, ซูโครส, โพลีซัคคาไลด์ และแป้ง เท่ากับ 2.4-8.1, 3.5-25.4, 2.3-22.8 และ 11.7-66.2% ตามลำดับ และจากการทดลองของ Creech and McArdle (1966) พบว่าในการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่มียีน *ae*, *du*, *sh2*, *su1*, *su2* และ *wx* จะมีปริมาณแป้งสูงสุด ที่ระยะหลังออกไหม 28 วัน

**กระบวนการสังเคราะห์แป้งภายในเมล็ด (Starch synthesis)**

ในเมล็ดข้าวโพด แป้งที่พบมีอยู่ 2 ชนิด คือ amylose และ amylopectin (จวงจันทร์, 2521) ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ดังนี้ น้ำตาลถูกลำเลียงจากใบพืชเข้าสู่เมล็ดอยู่ในรูปของซูโครส ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ invertase ได้น้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) ลำเลียงผ่านท่อลำเลียงอาหารในก้านดอกย่อยเข้าสู่ endosperm เมื่อน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสเข้าสู่ endosperm แล้ว จึงรวมตัวกันสังเคราะห์น้ำตาลซูโครสขึ้นมาใหม่ น้ำตาลซูโครสและ UDP (Uridine diphosphate) ที่ได้ จะเปลี่ยนไปเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

UDP-Glucose (UDPG) และน้ำตาลฟรุกโตส โดยเอนไซม์ sucrose synthase จากนั้น UDP-Glucose และ pyrophosphate จะถูกเปลี่ยนไปเป็น UTP (Uridine triphosphate) และ glucose-1-phosphate โดยเอนไซม์ UDP-glucose pyrophosphorylase (UGP) กระบวนการที่เกิดขึ้นต่อมาคือ การสังเคราะห์ ADP-Glucose และ pyrophosphate จาก glucose-1-phosphate และ ATP (Adenosine triphosphate) โดยเอนไซม์ ADP-glucose pyrophosphorylase (AGP) จากนั้นเอนไซม์ starch synthase จะกระตุ้นให้ ADP-Glucose รวมตัวกับหนึ่งหน่วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายโดยพันธะ α, 1-4 ระหว่าง glucose residues ที่อยู่ติดกัน เกิดเป็น amylose โดยที่น้ำตาลกลูโคสส่วนหนึ่งจะถูก starch branching enzymes กระตุ้นให้เกิดการเชื่อมต่อกันเป็นแบบกิ่งก้านสาขาโดยพันธะ α, 1-4 และ α, 1-6 เป็น amylopectin และ phytoglycogen และเมื่อ phytoglycogen ถูก starch debranching enzymes เข้าไปทำลายพันธะ α, 1-6 ก็จะทำให้เปลี่ยนกลับไปเป็น amylopectin (Hannah, 1997)




**ภาพ 1** แสดงลำดับกระบวนการสังเคราะห์แป้งภายในเมล็ดข้าวโพด (1 = Invertase, 2 = Sucrose synthase, 3 = UDP-glucose pyrophosphorylase, 4 = ADP-glucose pyrophosphorylase, 5 = Membrane-bound metabolite transporter, 6 = Starch synthase (Granule-bound ADP-glucose glucosyl transferase), 7 = Starch branching enzyme, 8 = Starch debranching enzyme) (Hannah, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยการทำงานของเอนไซม์ในแต่ละลำดับกระบวนการสังเคราะห์ จะมีความสัมพันธ์กับยีนแต่ละชนิดแตกต่างกันไป ดังตาราง 2

**ตาราง 2** ยีนที่มีความสัมพันธ์กับเอนไซม์ในแต่ละลำดับกระบวนการสังเคราะห์แป้งในเมล็ดข้าวโพด

| Step | Enzyme | Gene |
|---|---|---|
| 1 | Invertase | *Mn1* |
| 2 | Sucrose synthase | *Sh1, Sus1* |
| 3 | UDP-glucose pyrophosphorylase | |
| 4 | ADP-glucose pyrophoshorylase | *Sh2, Bt2* |
| 5 | Membrane-bound metabolite transporter | *Bt1* |
| 6 | Granule bound ADP-glucose glucose transferase | *Wx* |
| 7 | Starch branching enzyme | *Ae* |
| 8 | Starch debranching enzyme | *Su1* |

ที่มา: Hannah (1997)

**คุณภาพข้าวโพดหวานเพื่อการบริโภค**

องค์ประกอบที่บ่งบอกถึงคุณภาพของข้าวโพดหวาน ได้แก่ ความหวาน (sweetness) ความอ่อนนุ่ม (tenderness) เนื้อสัมผัส (texture) และปริมาณแป้ง (starch) ที่มีอยู่ในปริมาณต่ำ (Swiader *et al.*,1992) การบริโภคข้าวโพดหวานนั้นสามารถกระทำได้ 2 ทางคือ การบริโภคฝักสด และการนำไปแปรรูป ซึ่งความต้องการลักษณะและคุณภาพก็จะแตกต่างกัน ในการบริโภคฝักสด สิ่งที่ดึงดูดใจผู้บริโภคอันดับแรกก็คือ สีของเปลือกหุ้มฝักจะต้องมีสีเขียว และหุ้มจนถึงปลายฝัก เมื่อปอกเปลือกเมล็ดจะต้องเต็มฝัก มีจำนวนแถวของเมล็ดอย่างน้อย 16 แถว และมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบและตรง ส่วนการนำไปแปรรูป เช่น การบรรจุกระป๋อง จะต้องการพันธุ์ที่เปลือกหุ้มฝักสามารถลอกออกจากฝักได้ง่ายและไม่ติดฝัก ฝักรูปทรงกระบอก เมล็ดอ่อนนุ่มและมันเงา มีความยาวเมล็ดมากและตรงโคนเรียวเล็ก ทำให้หลุดออกจากฝักง่าย และช่วยในการตัดเมล็ดให้ได้รูปทรงที่เหมาะสม ส่วนการแปรรูปเป็นครีมข้าวโพด จะคำนึงถึงลักษณะดังกล่าวลดลง โดยการแปรรูปทั้งบรรจุกระป๋องและครีมข้าวโพดสามารถเพิ่มรสชาติด้วยการเพิ่มน้ำตาล เพื่อให้มีความหวานและเพิ่มเกลือเพื่อให้รสชาติกลมกล่อมขึ้นได้ แตกต่างจากการแช่แข็งฝักสด ที่คำนึงถึงความหวานในเมล็ดเป็นสำคัญ เนื่องจากเป็นการผลิตที่ไม่สามารถเพิ่มเติมความหวานและรสชาติใดๆ ได้อีก (Tracy, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในประเทศไทย กรมวิชาการเกษตร (2543) ได้กำหนดลักษณะมาตรฐานของฝักข้าวโพดหวานที่โรงงานต้องการดังนี้

1. เป็นฝักที่ได้จากต้นที่สมบูรณ์แข็งแรง ไม่มีรอยทำลายของโรคหรือแมลง
2. ขนาดฝักสดปอกเปลือก ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-5 เซนติเมตร ความยาว 12-18 เซนติเมตร น้ำหนัก 200-250 กรัมต่อฝัก
3. ฝักรูปทรงกระบอก มีขนาดโคนและปลายฝักแตกต่างกันไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร
4. เมล็ดเรียงเป็นระเบียบ 14 ถึง 16 แถว แถวหนึ่งมี 30-40 เมล็ด
5. เส้นไหมควรหลุดจากเมล็ดได้ง่าย และไม่ติดค้างตามร่องเมล็ด
6. สีเมล็ดสม่ำเสมอทั้งฝักและตรงตามพันธุ์
7. มีซังขนาดเล็ก
8. ความหวานไม่ต่ำกว่า 14 %brix ควรลดลงอย่างช้าๆ และคงความหวานได้ไม่ต่ำกว่า 36 ชั่วโมง

**ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช**

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชประกอบไปด้วย ภูมิอากาศ ดิน และต้นพืชเอง ปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณความเข้มแสง ความชื้น ฯลฯ ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมดินได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ โดยแต่ละปัจจัยมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตทั้งสิ้น โดยเฉพาะปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพืชตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว ตรงข้ามกับปัจจัยทางสภาพแวดล้อมดิน ที่มีการศึกษากันอย่างมากมาย ทำให้มีความรู้ความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างพืชกับดินมากกว่าสภาพภูมิอากาศ ดังนั้น เมื่อจะทำการเพาะปลูกพืชชนิดใดชนิดหนึ่ง จึงมักจะเลือกพืชที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศเป็นลำดับแรก (เฉลิมพล, 2542) เห็นได้ว่า สภาพภูมิอากาศมีอิทธิพลและมีบทบาทสำคัญต่อพืช ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ เช่น ปัจจัยของอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณความเข้มแสง ความยาววัน และอื่นๆ เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างพืชกับภูมิอากาศเพิ่มขึ้น ดังนี้

**อุณหภูมิ (temperature)** อุณหภูมิประกอบด้วย อุณหภูมิดิน (soil temperature) และอุณหภูมิอากาศ (air temperature) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช เช่น อัตราการสังเคราะห์แสง และการหายใจ การงอก การออกดอก และการสุกแก่ เป็นต้น พืชแต่ละชนิดมีความทนทานต่ออุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดไม่เท่ากัน และมีความต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตไม่เท่ากัน การ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอบสนองต่ออุณหภูมิทั้งสามดังกล่าว คือ อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด และอุณหภูมิที่เหมาะสม เรียกว่า อุณหภูมิคาร์ดินาล (cardinal temperature) (Wilsie, 1962) สำหรับข้าวโพด อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 25-30 °c (Fageria, 1992) ผลกระทบที่เกิดจากอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตเปลี่ยนแปลงไป อิทธิพลจากอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้กระบวนการเมตาบอลิซึมภายในต้นพืชลดลง และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจนถึงจุดวิกฤติ โครงสร้างของเซลล์พืชจะถูกทำลาย การเจริญเติบโตหยุดชะงักและอาจตายได้ในที่สุด (Treshow, 1970) ส่วนอิทธิพลจากอุณหภูมิสูง แม้จะมีบทบาทต่อการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้น แต่ก็ส่งผลให้การหายใจและการคายน้ำเพิ่มขึ้นด้วย เมื่ออัตราการคายน้ำสูงกว่าการดูดน้ำของราก พืชจะขาดน้ำและแสดงอาการเหี่ยว หากยังไม่ได้รับน้ำเพียงพอ พืชอาจตายได้เช่นกัน (Janick *et al.*, 1969) Swiader *et al.* (1992) กล่าวถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการสร้างจำนวนใบของข้าวโพดหวานที่เติบโตในเขตอุณหภูมิที่อบอุ่นจะมีการสร้างจำนวนใบมากกว่าข้าวโพดหวานที่เติบโตในเขตอุณหภูมิที่หนาวเย็น ส่วนอิทธิพลที่เกิดจากอุณหภูมิดิน Blacklow (1972) รายงานว่า ข้าวโพดจะใช้ระยะเวลาในการงอกพ้นดินน้อยกว่า 1 สัปดาห์ หากอุณหภูมิดินมีค่าประมาณ 25 °c และจะใช้เวลานานมากกว่า 3 สัปดาห์ ถ้าอุณหภูมิดินอยู่ในช่วง 10-13 °c

**ความชื้น (moisture)** ความชื้นหรือน้ำ มีความสำคัญต่อพืชหลายประการ พืชต้องการน้ำสำหรับลำเลียงธาตุอาหาร มีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นส่วนประกอบของเซลล์ รักษาความแต่งและรูปทรงของเซลล์ เป็นต้น เมื่อไหร่ก็ตามที่ปริมาณน้ำมีน้อยหรือมากเกินไป จะส่งผลให้ผลผลิตของพืชลดลง (Fageria *et al.*, 1997) Shaw (1977) ได้กล่าวว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเติบโตและเป็นปัจจัยที่จำกัดผลผลิตของข้าวโพด คือ ปริมาณน้ำ ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อการเติบโตประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่อยู่ในดินและในอากาศ ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณความเข้มแสง ลม ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิในอากาศ สาเหตุที่ทำให้เกิดความเครียดน้ำของพืชเกิดจากปริมาณความชื้นในอากาศกับปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในดินไม่สมดุลย์กัน เมื่อใดที่ดินมีสภาพแห้งแล้ง รากไม่สามารถดูดธาตุอาหารได้ ก็จะส่งผลให้ผลผลิตลดลง เช่นเดียวกัน ถ้าหากว่าปริมาณน้ำในดินมีมากเกินไปหรืออยู่ในสภาพน้ำท่วมขัง รากไม่สามารถหายใจได้ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการดูดธาตุอาหารของราก ก็จะทำให้ผลผลิตลดลงได้เช่นกัน

**ปริมาณแสงแดด (solar radiation)** แสงที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหรือต่อการสังเคราะห์แสงมีความยาวคลื่นแสงอยู่ระหว่าง 400-700 นาโนเมตร ประกอบด้วยแสงสีต่างๆ 6 สี คือ ม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และแดง แสงสีดังกล่าวมีความยาวคลื่น ให้พลังงาน และถูกดูดซับไว้โดยคลอโรฟิลล์ไม่เท่ากัน พืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อแสงไม่เหมือนกัน พืช C4 ส่วนใหญ่ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และอ้อย มีจุดอิ่มตัวของแสงสูงกว่าพืช C3 เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง (เฉลิมพล, 2542) แสงไม่เพียงแต่เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์แสงของพืช แต่ยังเป็นแหล่งพลังงานความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ร้อนสำหรับสิ่งมีชีวิตต่างๆ (Janick *et al.*, 1969) เมื่อพืชได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ จะเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงเปลี่ยนไปเป็นพลังงานเคมีและถูกสะสมไว้ในรูปของคาร์โบไฮเดรต (แป้งและน้ำตาล) (Wilsie, 1962)

**ความยาววัน (daylenght)** ข้าวโพดเป็นพืชที่ไม่ตอบสนองต่อความยาววัน แต่ขึ้นอยู่กับอายุของพืช และอุณหภูมิเป็นส่วนใหญ่ แต่ถ้ามีการนำพันธุ์ในเขตร้อนไปปลูกในเขตอบอุ่น ซึ่งมีความยาววันมากกว่า จะมีผลทำให้ข้าวโพดออกดอกช้ามาก (Hall, 2001) Swiader *et al.* (1992) ก็ได้รายงานว่าระยะการออกดอกของข้าวโพดหวานจะได้รับผลจากความยาววัน โดยทั่วไปแล้วจะออกดอกเร็วขึ้นภายใต้ความยาววันสั้นมากกว่าวันยาว เมื่อนำพันธุ์ที่เติบโตได้ดีในเขตร้อนที่มีความยาววันสั้น ไปปลูกในช่วงฤดูร้อนของเขตอบอุ่นที่มีความยาววันยาวกว่า จะส่งผลให้ข้าวโพดหวานเจริญเติบโตทางลำต้นนานกว่าปกติ ต้นข้าวโพดอาจมีความสูงถึง 10-12 ฟุต ในทางกลับกัน เมื่อนำพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาพวันยาว และมีอุณหภูมิหนาวเย็น ไปปลูกในสภาพที่มีวันสั้น และอุณหภูมิอบอุ่น ก็จะทำให้มีการเจริญเติบโตไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งในการศึกษาเกี่ยวกับความยาววันหรือความยาวของแสงแดด สถาบันวิจัยพืชไร่ (2542) ได้ศึกษาผลผลิตของข้าวโพดไร่ภายใต้วันปลูกต่างกัน ใช้พันธุ์ NSX9210 และพันธุ์ SW3601 โดยปลูกทุก 2 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงกันยายน พบว่าปลูกในเดือนพฤศจิกายนให้น้ำหนักเมล็ดแห้งสูงสุดโดยเฉลี่ย 967 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งในช่วงเดือนพฤศจิกายนมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ความเหมาะสมสำหรับข้าวโพด (อยู่ระหว่าง 20-32 °c) มีความยาวของแสงแดดประมาณ 9.3-9.7 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงฤดูฝนที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงและมีความยาวของแสงแดดน้อยกว่า แต่มีความยาววันมากกว่า

**ความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนาการของข้าวโพดกับค่าอุณหภูมิสะสม**

อุณหภูมิสะสม (growing-degree days: GDD) เป็นสิ่งชี้ว่าพืชต้องการปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งเพื่อการพัฒนาและการเจริญเติบโตของพืช โดยไม่เกี่ยวข้องกับระยะเวลาหรืออายุของพืชที่ปลูก ดังนั้นผลรวมของค่าอุณหภูมิสะสมที่วัดได้แต่ละระยะการเจริญเติบโตของพืชจะมีค่าค่อนข้างคงที่ หรือมีความแปรปรวนน้อยกว่าการใช้ผลรวมของจำนวนวันปลูกพืช (สุทัศน์, 2536) มีพืชหลายชนิดที่เจริญเติบโตและพัฒนาการจากระยะหนึ่งไปสู่อีกระยะหนึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสะสม growing degree day หรือ heat unit หรือ thermal time ที่ได้รับจำนวนหนึ่งที่แน่นอน แม้ว่าสภาพภูมิอากาศที่พืชนั้นปลูกอยู่มีความผันแปร พืชจะเจริญถึงระยะนั้นๆ ได้ จะต้องมีอุณหภูมิถึงจำนวนที่กำหนด ถ้าสภาพภูมิอากาศในระหว่างที่พืชนั้นขึ้นอยู่มีอากาศหนาวเย็นหรือมีอุณหภูมิต่ำ พืชก็ต้องใช้ระยะเวลาเพื่อสะสมอุณหภูมิให้ได้ถึงจำนวนที่กำหนดนานขึ้น ในทางตรงข้าม ถ้าหากสภาพภูมิอากาศอุ่นขึ้นหรือสูงกว่าปกติ พืชก็จะใช้ระยะเวลาในการสะสมอุณหภูมิน้อยลง (เฉลิมพล, 2542) Ritchie and

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Nesmite (1991) กล่าวถึงประโยชน์ของการใช้อุณหภูมิสะสมไว้หลายประการ เช่น ใช้ในการวางแผนการปลูกและการจัดการเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีและมีคุณภาพ เพื่อวางแผนการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อคาดการณ์วันสุกแก่ของพืชสำหรับวางแผนการเก็บเกี่ยวผลผลิตให้มีคุณภาพ เป็นต้น โดย Maiti and Weshe-Ebeling (1998) ได้กล่าวว่า ความต้องการอุณหภูมิสะสมเพื่อใช้ในการงอกของข้าวโพดมีค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกฤดูปลูก แต่จะแตกต่างกันในระยะออกดอกตัวผู้ ระยะการเกิดไหม และระยะสุกแก่ ซึ่งวิธีการนี้มักนิยมใช้ในการผลิตข้าวโพดลูกผสม โดยอาศัยพื้นฐานการตอบสนองต่ออุณหภูมิในการเจริญเติบโตถึงระยะต่างๆ ของข้าวโพด (Dwyer *et al.*, 1999) รวมไปถึงการผลิตข้าวโพดหวานให้ได้ผลผลิตฝักสดที่มีคุณภาพ โดยสามารถกำหนดวันปลูกและวันเก็บเกี่ยวให้ตรงกับช่วงเวลาที่ตลาดต้องการ นอกจากนี้ยังได้มีการทดลองในองุ่น เพื่อกำหนดคุณภาพสำหรับการนำไปแปรรูปต่างๆ เช่น การผลิตไวน์ และลูกเกด เป็นต้น (Hall, 2001)

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการใช้ค่าอุณหภูมิสะสมกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวโพด**

สุมิตรา และคณะ (2532) ศึกษาหาระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อการผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวานพิเศษพันธุ์ Hawaiian sugar super sweet corn ทำการทดลองทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยจะเก็บตัวอย่างข้าวโพดหวานเมื่อออกไหม 50% ได้ 15, 18, 20, 22, 24, 26 และ 28 วัน ผลการทดลองในฤดูฝนพบว่า ค่าความหวาน (%brix) เมื่อเก็บหลังจากออกไหม 50% ได้ 16-24 วัน มีค่าเท่ากับ 14.4-15.9 %brix และค่าอุณหภูมิสะสมที่ให้ความหวานดีที่สุดอยู่ในช่วงระหว่าง 1258-1326 degree-days ส่วนในฤดูแล้ง ค่าความหวานเท่ากับ 14.3-16.0 %brix ค่าอุณหภูมิสะสมที่ให้ค่าความหวานดีคือระหว่าง 1184-1332 degree-days และเมื่อวิเคราะห์รวม (combine analysis) ทั้ง 2 ฤดู สรุปได้ว่าอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของข้าวโพดหวาน Hawaiian sugar super sweet corn ควรทำการเก็บเกี่ยวหลังจากออกไหมได้ 16-22 วัน

Warrington and Kanemasu (1983) ได้ศึกษาการเติบโตของข้าวโพดในการตอบสนองต่ออุณหภูมิของข้าวโพดลูกผสม XL45 และ W346 พบว่า อุณหภูมิต่ำสุดที่ข้าวโพดสามารถงอกและโผล่พ้นผิวดินได้อยู่ที่ประมาณ 9 °c และต้องการอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 62.5 degree-days โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับระยะงอกนี้คือ 30 °c ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับระยะการเกิดดอกตัวผู้ (tassel initiation) และระยะผสมเกสร (anthesis) เท่ากับ 8 และ 7 °c ตามลำดับ อุณหภูมิที่เหมาะสมของทั้งสองระยะนี้คือ 8 °c และมีความต้องการอุณหภูมิสะสมสำหรับการเกิดดอกตัวผู้ และระยะผสมเกสรของพันธุ์ XL45 เท่ากับ 245 และ 816 degree-days ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ W346 มีความต้องการอุณหภูมิสะสมเท่ากับ 208 และ 736 degree-days ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Jamieson and Gillespie (1998) ได้ทำนายการเก็บเกี่ยวของข้าวโพดหวานเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเปรียบเทียบกับวันเก็บเกี่ยวจริง ซึ่งใช้อุณหภูมิสะสมในการทำนาย 1320 degree-days และ base temperature 6 °c พบว่าในสภาพภูมิอากาศที่อบอุ่น ได้ผลใกล้เคียงกับวันเก็บเกี่ยวจริง ในขณะที่สภาพภูมิอากาศที่หนาวเย็น จะยืดระยะเวลาออกไปประมาณ 10 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวก็จะยาวนานขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลง

Nielsen *et al.* (2002) ศึกษาอิทธิพลของวันปลูกที่มีต่อค่าอุณหภูมิสะสมที่ระยะออกไหม และระยะ black layer ของข้าวโพดพันธุ์ Pioneer3572, 3394 และ 3245 กำหนดวันปลูก 3 ช่วง ได้แก่ ต้นเดือนพฤษภาคม ปลายเดือนพฤษภาคม และต้นเดือนมิถุนายน พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิสะสมเฉลี่ยตั้งแต่วันปลูกถึงระยะออกไหมระหว่างต้นเดือนพฤษภาคมกับต้นเดือนมิถุนายน มีค่าลดลง 3 degree-days จากระยะออกไหมถึงระยะสุกแก่ทางสรีระ หรือ ระยะ black layer มีค่าอุณหภูมิสะสมเฉลี่ยลดลง 110 degree-days และตลอดฤดูปลูกมีค่าอุณหภูมิสะสมเฉลี่ยลดลง 144 degree-days เพื่อลดความเสี่ยงจากอุณหภูมิต่ำจนเกิดน้ำค้างแข็งที่ทำให้เกิดความเสียหายในช่วงระยะพัฒนาการของเมล็ด เช่นเดียวกับ Imholte and Carter (1987) ที่ได้ศึกษาอิทธิพลของวันปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยทำการทดลองในปี 1983-1985 พบว่าการปลูกช้ากว่ากำหนด จะทำให้ระยะออกไหมยาวนานขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิสะสมจากวันปลูกจนถึงระยะออกไหมเพิ่มขึ้น และจะลดลงจากระยะออกไหมจนถึงช่วงเวลาก่อนเกิดน้ำค้างแข็ง เพื่อลดความเสียหายต่อผลผลิตของข้าวโพด ส่วน Daynard (1972) ก็ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสะสมกับการเกิด black layer ในข้าวโพด พบว่าการปลูกที่ล่าช้ามีผลทำให้ค่าอุณหภูมิสะสมเพิ่มขึ้นจากเริ่มปลูกจนถึงระยะออกไหม และค่าอุณหภูมิสะสมจากระยะออกไหมจนถึงระยะสุกแก่ หรือการเกิด black layer ลดลง

จารุวรรณ (2542) ศึกษาอุณหภูมิสะสมเพื่อการพัฒนาการที่ระยะต่างๆ โดยทำการทดลองในข้าวโพดพันธุ์ NSX991003, DK999 และ NSX982013 และกำหนดให้มี 4 วันปลูก ได้แก่วันที่ 6 มีนาคม, 2 พฤษภาคม, 15 มิถุนายน และ 1 สิงหาคม พบว่าอุณหภูมิสะสมเพื่อการพัฒนาการที่ระยะออกดอกตัวผู้ และระยะออกไหมมีค่าใกล้เคียงกันมากหรือเท่ากันในทุกวันปลูก โดยมีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิสะสมของข้าวโพดแต่ละพันธุ์อยู่ในช่วง 6 ถึง 30 degree-days หรือเท่ากับ 0.4 ถึง 1.7 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการนับจำนวนวัน พบว่าจำนวนวันที่ใช้เพื่อการพัฒนาการแต่ละระยะเปลี่ยนไปตามวันปลูกที่เปลี่ยนไป และการศึกษาของ Mederski *et al.* (1973) ในข้าวโพดพันธุ์ Ohio 401, DeKalbXL-45 และ Pioneer hybrid 3306 โดยได้ทำการกระจายปลูกในหลายพื้นที่ของรัฐ Ohio และมีหลายวันปลูก พบว่าข้าวโพดทั้งสามพันธุ์มีความต้องการอุณหภูมิสะสมคงที่หรือใกล้เคียงกันที่ระยะพัฒนาการต่างๆ ส่วนการนับจำนวนวันจะมีความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างวันปลูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved