

บทที่ 2 ตำราจเอกสาร

2.1 ข้าวโพดฝักอ่อน

ข้าวโพดฝักอ่อน (baby corn or young ear corn) หมายถึง ส่วนแกนกลางของฝักข้าวโพดที่ยังอ่อน (young cob) หรือช่วงของข้าวโพดที่เป็นส่วนของรังไข่ของข้าวโพดที่ยังไม่ได้รับการผสมเกสร ข้าวโพดฝักอ่อนสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ใหม่ยังไม่โผล่ออกจากเปลือกหุ้มฝัก จนกระทั่งใหม่โผล่แล้ว นำมารับประทานเป็นผัก จัดอยู่ในวงศ์ Gramineae มีรากเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) ไม่มีรากแก้ว ลำต้นแข็ง ใสน้ำ มีความสูงของลำต้นตั้งแต่ 10 เซนติเมตรขึ้นไป ข้อของข้าวโพดฝักอ่อนเป็นที่เกิดของราก ลำต้นใหม่และฝัก ปล้องที่อยู่ส่วนโคนของลำต้นสั้นและหนา ใบมีลักษณะเดียวกับพืชตระกูลหญ้า ประกอบด้วยตัวใบ กาบใบ หูใบ (ligule) ลักษณะของใบแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกกันคนละดอกแต่อยู่ในต้นเดียวกัน (monoecious) ดอกตัวผู้รวมกันอยู่เป็นช่อเรียกว่า ช่อดอกตัวผู้ (tassel) และอยู่ตอนบนสุดของต้น ดอกตัวผู้ดอกหนึ่งมีอับเกสร (anther) 3 อับ แต่ละอับ ยาวประมาณ 6 มิลลิเมตร และมีเรณูเกสร (pollen grain) จำนวนมาก การสลัดละอองเกสรเริ่มขึ้นก่อนการออกไหม 1-3 วัน บนข้าวโพดต้นเดียวกัน การบานของดอกตัวผู้จะอยู่ติดกันหลายวันหลังจากที่ไหมโผล่ออกจากต้น สภาพภูมิอากาศที่ร้อนและแห้งแล้งหรือลมแรงช่วยในการสลัดละอองเกสรให้หมดเร็วขึ้น ดอกตัวเมียมีลักษณะเป็นช่อ มักอยู่ที่ฝักตอนขั้วกลางๆ ลำต้น ดอกตัวเมีย ประกอบด้วยรังไข่ (ovary) และเส้นไหม (silk) ที่มีความยาวประมาณ 5-15 เซนติเมตร ซึ่งยื่นปลายโผล่ออกไปรวมกันเป็นกระจุกตรงปลายช่อดอกซึ่งมีเปลือกหุ้มอยู่และพร้อมที่จะผสมเกสรทันทีที่งอกพ้นเปลือก เส้นไหมมีลักษณะเป็นยาง เหนียวๆ นานถึง 2 สัปดาห์ สำหรับคอยรับเกสรที่ปลิวมาสัมผัส เพื่อเข้าผสมกับไข่และแห้งตายไป เมื่อรังไข่ได้รับการผสมจากละอองเกสร จากนั้นรังไข่จึงเจริญเติบโตเป็นเมล็ด ช่อดอกตัวเมียที่ได้รับการผสมแล้ว เรียกว่า ฝัก (ear) แกนกลางของฝัก เรียกว่า ชัง (cob) (สุนันทา สมพงษ์, 2531)

มาตรฐานข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรม จำแนกเป็น 3 เกรด ตามความยาว คือ ขนาดของข้าวโพดฝักอ่อนยาว 9-13 เซนติเมตร (L) 7-9 เซนติเมตร (M) และ 4-7 เซนติเมตร (S) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งส่วนใหญ่โรงงานจะผลิตเกรด S และ M มากกว่า L คุณภาพที่ต้องการ คือ สีของฝักมีสีเหลืองหรือสีครีม ฝักสมบูรณ์ การเรียงของไข่ปลาตรง ไม่หัก เน่า หรือแก่เกินไป ฝักไม่มีรอยกรีด ไม่มีเศษไหมติด ฝักสด ไม่เหี่ยวแห้ง ไม่ผ่านการแช่น้ำ ตัดขั้ว และตัดแต่งระหว่างรอยขึ้นกับฝักเรียบร้อย (สมชาย สุคนธ์สิงห์ และคณะ, 2535)



ภาพที่ 2.1 มาตรฐานข้าวโพดฝักอ่อน

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2535)

ข้าวโพดฝักอ่อนเป็นพืชที่ปลูกง่ายและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ง่าย อีกทั้งเป็นพืชที่มีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูง ใช้ระยะเวลาในการปลูกสั้น มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันอยู่คนละดอก แต่อยู่ในต้นเดียวกัน สะดวกที่จะทำการผสมตัวเอง (self-fertilization) หรือการผสมข้ามต้น (cross fertilization) เนื่องจากข้าวโพดเป็นพืชที่ผสมข้ามต้นกันเองตามธรรมชาติ ทำให้เกิดการผสมกันโดยอิสระหลายพันธุ์ปะปนกัน และมีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูงมาก ข้าวโพดที่ไม่มีการควบคุมการผสมเกสร เรียกว่า ข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด (open pollinated variety) ข้อดีของพันธุ์ดังกล่าวคือ มีความสามารถเปลี่ยนแปลงและปรับตัวเองให้เข้ากับสภาพแวดล้อมและธรรมชาติเกษตรกรสามารถเก็บพันธุ์ไว้ปลูกในฤดูต่อไปได้ แต่ผลผลิตที่ได้จะไม่สูงเหมือนพันธุ์เดิม ถ้าไม่ได้รับการคัดเลือกพันธุ์ที่ถูกต้อง

ข้าวโพดฝักอ่อนเป็นส่วนของท่อรังไข่ที่กำลังเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จึงมีความร้อนจากการหายใจค่อนข้างสูง ข้าวโพดฝักอ่อนที่ปอกเปลือกออกแล้วมีอัตราการเปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมคุณภาพสูง คือมีการสูญเสียน้ำหนักค่อนข้างรวดเร็วและน้ำตาลที่สะสมอยู่ถูกใช้หมดไปในระยะเวลาอันสั้น ความหวานและความกรอบลดลง เนื้อเยื่อชั้นนอกบอบบางทั้งยังมีบาดแผลอันเกิดจากการปอกเอาเปลือกและไหมออกไปทำให้เกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ ดังนั้นการปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวต้องทำด้วยความประณีตและรวดเร็วเป็นพิเศษ (สุนันทา สมพงษ์, 2531)

2.2 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการสูญเสียของผลิตผล

2.2.1 การคายน้ำ

พืชและผลิตผลสดต่างๆ ต้องคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ในขณะที่เดียวกันปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมักมีอยู่สูงกว่าความชื้นของอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงมีศักยภาพที่จะสูญเสียนอกจากผลิตผลอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ผลิตผลจะมีเนื้อเยื่อโครงสร้างต่างๆ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ได้แก่ ชั้นของ epidermis รวมทั้ง wax และ cutin ที่เคลือบผิวอยู่ แต่ผลิตผลก็จำเป็นต้องมีช่องเปิดต่างๆ เช่น ปากใบ และ lenticel เพื่อถ่ายเทอากาศนำเอาออกซิเจนเข้าไปสำหรับการหายใจและระบายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะในแง่ของเนื้อสัมผัส (texture) และยังทำให้ผิวเหี่ยวแห้งไม่ดึงดูดใจต่อผู้บริโภค (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

2.2.2 การหายใจ

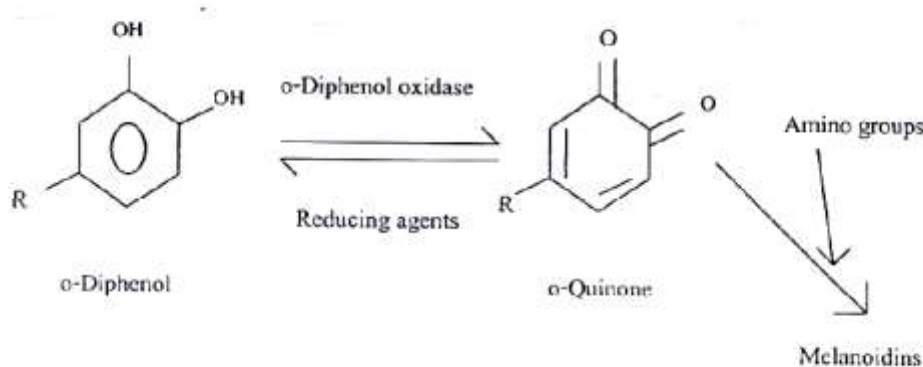
การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต เป็นกระบวนการที่พืชใช้พลังงานที่สะสมไว้ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไปใช้ในการเจริญเติบโตหรือดำรงชีวิตเอาไว้ และปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา ดังนั้นการหายใจจึงเป็นการดึงเอาอาหารสะสมออกไปจากผลิตผลตลอดเวลา คุณค่าทางอาหารของผลิตผลต่อผู้บริโภคจึงลดลงเรื่อยๆ รสชาติก็อาจลดลงด้วย นอกจากนั้นแล้วการหายใจยังให้ความร้อนออกมา ซึ่งความร้อนนี้จะช่วยกระตุ้นให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ เกิดได้เร็วขึ้น ทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้นด้วย โดยทั่วไปผลิตผลที่เป็นส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโต เช่น ยอดอ่อน จะมีอัตราการหายใจสูง ส่วนผลิตผลที่อยู่ระหว่างการพักตัวจะมีอัตราการหายใจต่ำ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

2.2.3 การผลิตเอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชอย่างหนึ่งซึ่งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของพืชและผลิตผลค่อนข้างมาก เนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสร้างเอทิลีนได้ โดยปกติปริมาณการผลิตจะมีน้อย แต่เมื่อผลิตผลจะสุกหรือถูกกระทบกระเทือนด้วยอะไรก็ตาม เช่น การเกิดบาดแผล การสัมผัสกับความเย็น จะมีการสร้างเอทิลีนขึ้นเป็นอันมาก และเอทิลีนจะไปกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ให้เกิดขึ้นได้ เช่น กระบวนการสุก การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ และการหลุดร่วงของดอกและใบ เป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

2.2.4 การเกิดสีน้ำตาล

การเกิดสีน้ำตาลซึ่งมีสาเหตุมาจากเอนไซม์จัดเป็นปัญหาที่สำคัญที่มักพบในผักและผลไม้สด โดยมากพบในผลิตภัณฑ์ที่ได้รับอันตรายต่าง ๆ เช่น ช้ำ แดง ถูกปอกเปลือก ตัดแต่ง หรือถูกทำให้เซลล์แตกโดยปฏิกิริยานี้เกิดจากสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่เซลล์พืชซึ่งใช้เป็นซับสเตรต (substrate) ในการทำปฏิกิริยากับเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase, PPO) ในสภาพที่มีออกซิเจนโดยการไฮดรอกซิเลชันของสารประกอบโมโนฟีนอลิก (mono-phenolic) ไปเป็นโอ-ไดฟีนอลิก (O-diphenolic) ซึ่งถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็นโอควิโนน (O-quinone) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การเกิดสีน้ำตาลโดยปฏิกิริยาของเอนไซม์ (enzymatic browning)

ที่มา : Walker (1995)

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกคือสารประกอบที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญและอาจมีหมู่เคมีอื่น ๆ เข้ามาเกาะที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งต่างๆ เช่น cinnamic acid, caffeic acid, anthocyanin และ tannin เป็นต้น สารประกอบฟีนอลพบบริเวณแควิวโอลซึ่งรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ในรูปที่ละลายน้ำ (tannins) หรือรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (lignins) (Macheix *et al.*, 1990) นอกจากนั้น tyrosin และ phenylalanine นับว่าเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีการสังเคราะห์มาจาก shikimic pathway โดยการรวมกันของโมเลกุล phosphoenol pyruvate จาก glycolysis และ erythrose-4-phosphate จาก pentose phosphate pathway แต่มักจัดอยู่จัดอยู่ในกลุ่มของกรดอะมิโน phenylalanine ก็เป็นโมเลกุลต้นแบบ (precursor) ของสารประกอบฟีนอลอื่นๆ โดยการทำงานของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) โดยการดึงเอา amino group ออกจาก phenylalanine ได้เป็น

กรด cinnamic ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์ในผลิตภัณฑ์ และสามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์

2.2.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยว เพราะอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกระบวนการต่างๆ ภายในผลิตภัณฑ์ทุกอย่าง โดยอุณหภูมิสูงจะเร่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ให้เกิดเร็วขึ้น ดังนั้นการหายใจและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่นๆ ภายในผลิตภัณฑ์ก็จะเกิดขึ้นเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายได้ง่าย ในทางตรงกันข้าม อุณหภูมิต่ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาไว้ในสภาพเดิมได้นานกว่า แต่ในบางกรณีอุณหภูมิต่ำอาจก่อให้เกิดอันตรายโดยเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ในเขตร้อน อาจเกิดอาการผิดปกติที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ขึ้นได้ นอกจากนั้นอุณหภูมิยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนผลิตภัณฑ์ และปริมาณความชื้นของอากาศรอบผลิตภัณฑ์ด้วย (จริงแท้ สิริพานิช, 2546) ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะรักษาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพอยู่ได้นานที่สุด

2.2.7 องค์ประกอบของบรรยากาศ

ในบรรยากาศปกติมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจำเป็นสำหรับการหายใจของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ที่กำลังเจริญเติบโต ส่วนพวกที่อยู่ระหว่างการพักตัวไม่ต้องการออกซิเจนมากนัก ในการเก็บรักษาถ้ามีปริมาณออกซิเจนต่ำจะช่วยลดอัตราการหายใจและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ แต่ถ้าออกซิเจนน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) และทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายได้ คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการหายใจก็เช่นเดียวกัน หากมีการสะสมในที่เก็บรักษาผลิตภัณฑ์มากเกินไป ก็อาจทำให้เกิดการผิดปกติในการหายใจและทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายได้เช่นกัน (Kader, 1986)

2.3 การเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรแม้ว่าจะเก็บเกี่ยวออกจากต้นแล้วยังคงเป็นสิ่งมีชีวิต กระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ยังคงเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ได้แก่ การหายใจ การคายน้ำ การสุก การชราภาพ ตลอดจนกระบวนการป้องกันตนเอง นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ยังมีศัตรูตามธรรมชาติอยู่ตลอดเวลา ได้แก่ เชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งแมลงและสัตว์อื่นๆ คอยเข้าทำลาย ทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน ดังนั้นการเก็บรักษาให้ผลิตภัณฑ์อยู่ได้นานจึงเป็นการปฏิบัติด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อชะลอเมแทบอลิซึมของผลิตภัณฑ์และชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ องค์ประกอบของบรรยากาศ และปัจจัยอื่นๆ ผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมนั่นเอง

2.3.1 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในผลิตผล ตลอดจนกระบวนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆ มีอัตราผันแปรตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง อัตราปฏิกิริยาหรือการเจริญเติบโตก็สูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้นและส่งผลให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาลดลง ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตผลทุกชนิดจึงควรเก็บรักษาไว้ในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่จะไม่เกิดอันตรายหรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ต่ำเกินไปอาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับผลิตผลได้ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (0 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า) น้ำในเซลล์จะแข็งตัว ผลึกของน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์และ organelle ต่างๆ ฉีกขาด ทำให้เซลล์ตายได้ สำหรับข้าวโพดฝักอ่อน มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาอยู่ที่ 3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95-98 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเก็บรักษาได้นาน 3 สัปดาห์ (จริงแท้ สิริพานิช, 2549)

2.3.2 การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง

ปริมาณออกซิเจน (O_2) ในอากาศมีผลต่อการหายใจ การผลิตเอทิลีน และกระบวนการออกซิเดชันอื่นๆ เช่น การออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลจนได้สารสี (pigment) สีน้ำตาล หรือปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นของเสียจากการหายใจ ถ้ามีปริมาณมากสามารถยับยั้งบางขั้นตอนของกระบวนการหายใจได้ นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติขัดขวางการทำงานของเอทิลีนด้วย ดังนั้นการลดปริมาณ O_2 และเพิ่ม CO_2 จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลออกไปได้ การเก็บรักษาในสภาพที่มี O_2 น้อย และ/หรือมี CO_2 มากกว่าปกติ เรียกว่า การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere, MA) สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

ก. Active MAP

Active MAP เป็นการดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ ทำได้โดยดูดอากาศภายในภาชนะบรรจุให้เป็นสูญากาศและบรรจุก๊าซกลับในปริมาณที่ต้องการ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2537) ในการเก็บรักษาผักและผลไม้โดยทั่วไปใช้ก๊าซออกซิเจนความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 8 และ/หรือให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 1 โดยการใช้ก๊าซในโตรเจนเป็นตัวทำหน้าที่ปรับสมดุล (ขงยุทธ ขำมณี, 2541)

ข. Passive MAP

Passive MAP เป็นการดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของการหายใจของผลิตผล ซึ่งผลิตผลจะใช้ก๊าซออกซิเจนในกระบวนการหายใจ และในขณะเดียวกันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตผลคายออกมานั้นจะสะสมอยู่ในบรรจุภัณฑ์จนมีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพบรรยากาศปกติ สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การห่อด้วยพลาสติกฟิล์ม การเก็บรักษา

ในอุตสาหกรรมที่ใช้ในการบรรจุหีบห่อผักและผลไม้ สำหรับฟิล์มที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ low density polyethylene (LDPE), high density polyethylene (HDPE) และ polyvinyl chloride (PVC) เป็นต้น (ขงยุทธ ขำมสี, 2541) ซึ่งฟิล์มแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน การเลือกใช้ควรคำนึงถึง การหดรัด การยืดตัว การปิดผนึก ฟิล์มยืด เป็นฟิล์มที่นิยมใช้กันมากเพราะมีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ ทนทาน ต่อแรงสั่นสะเทือนได้ดีกว่าฟิล์มหด (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2537; ขงยุทธ ขำมสี, 2541)

สภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere, MA) เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อยืดอายุการวางจำหน่ายของผลผลิตสดหรืออาหารพร้อมบริโภคโดยเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซที่อยู่รอบๆ การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงเป็นวิธีการเก็บรักษาในสภาพที่มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าและ/หรือมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าอากาศปกติในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ทำให้ชะลออัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนตลอดจนยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในกระบวนการสุกและเสื่อมสภาพ นอกจากนี้ยังลดความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว การเน่าเสียและความผิดปกติทางสรีรวิทยาในผลิตผลบางชนิด ระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสำคัญมาก โดยทั่วไปเมื่อมีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนระหว่าง 1-3 เปอร์เซ็นต์ และ/หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตจะหายใจแบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจน ก่อให้เกิดการสะสมสาร acetaldehyde และ ethanol ซึ่งเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อพืชและเกิดกลิ่นผิดปกติ โดยขึ้นกับโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของผลิตผล และอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา การเก็บรักษาผลิตผลภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปลงไม่สามารถควบคุมก๊าซให้คงที่ได้ เนื่องจากขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจและกระบวนการต่างๆ ภายในผลิตผลซึ่งแปรผันตามอุณหภูมิ องค์ประกอบของบรรยากาศอายุการเก็บเกี่ยว อายุการเก็บรักษา สภาพความเครียด และบรรจุภัณฑ์ การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง ควรทำในสภาพอุณหภูมิค่าที่เหมาะสมสำหรับผลิตผลแต่ละชนิด (นิภา คุณทรงเกียรติ, 2541) สภาพบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมในการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อน คือ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน 2-4 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5-10 เปอร์เซ็นต์ (จรัสแท้ ศิริพานิช, 2549)

การเก็บรักษาผลิตผลในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงเป็นระยะเวลาสั้นๆ ทันทีภายหลังการเก็บเกี่ยวจะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตผลและยืดอายุการเก็บรักษา โดยช่วยลดการสูญเสียความแน่นเนื้อ ลดอัตราการหายใจของผลแอปเปิลและสาลี่ (Couey, 1975; Chambroy, 1991) สามารถลดการผลิตเอทิลีน รวมทั้งช่วยลดการพัฒนาการเกิดอาการสะท้านหนาวในผลิตผลหลายชนิด (Wang, 1990) ผลิตผลที่ได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นสูงกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลาสั้นๆ สามารถลดการเน่าเสีย ลดการเข้าทำลายของแมลง และอาการ

ผลิตปกติทางสรีรวิทยาได้ การให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้น 20-30 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของถั่วแขกได้ และการเก็บรักษาถั่วแขกในสภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้น 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสามารถลดการเปลี่ยนแปลงสีของฝักถั่วแขกได้ตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การที่ผลิตผลอยู่ในสภาพที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง จะเป็นประโยชน์หรือเกิดอันตรายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ได้รับ และ ชนิดของผลิตผล เบญจมาศ และคณะ (2553) ทำการศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยที่รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ คือ ถุง polyethylene (PE) ถุงปรับสภาพบรรยากาศ 1 (modified atmosphere packaging 1: MAP1) ถุงปรับสภาพบรรยากาศ 2 (MAP2) หรือบรรจุถาดพลาสติกที่มีรูระบายอากาศที่ถาดและฝา เปรียบเทียบกับลำไยที่บรรจุถาดพลาสติกแต่ไม่ปิดฝา (control) จากการทดลองพบว่า ลำไยในชุดควบคุม (control) สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ได้นาน 4 สัปดาห์ โดยมีอายุการวางจำหน่ายอีก 3 วัน ที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส ส่วนบรรจุภัณฑ์อื่นๆ จะช่วยรักษาคุณภาพของลำไยได้เพียง 3 สัปดาห์ และมีอายุการวางจำหน่ายที่ 10 และ 20 องศาเซลเซียส ได้นาน 3 วัน ยกเว้นลำไยในถุง MAP 2 จะมีอายุการวางจำหน่ายที่ 10 องศาเซลเซียส ได้นาน 6 วัน

ในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสามารถลดอัตราการหายใจของผลิตผลได้ (Kader, 1995) โดยการไปยับยั้งการหายใจในระหว่าง biochemical process (Kader, 1986) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งปฏิกิริยา decarboxylation ต่างๆ ในกระบวนการหายใจ โดยมีผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ succinate dehydrogenase ใน Krebs's cycle ทำให้กระบวนการหายใจไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ตามปกติ และเนื่องจากการหายใจของสิ่งมีชีวิตต้องการก๊าซออกซิเจนในขั้นสุดท้ายเพื่อรับเอาอิเล็กตรอนจาก cytochrome ซึ่งถ้าในสภาพบรรยากาศที่ขาดก๊าซออกซิเจน จะทำการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก NADH เกิดขึ้นไม่ได้ ในขณะเดียวกันการสร้าง ATP ก็ไม่อาจเกิดขึ้น การหายใจทั้งกระบวนการถูกยับยั้งเพราะ NAD^+ ในวิถี glycolysis ถูกรีดิวซ์ไปอยู่ในรูป NADH หหมด ดังนั้นผลิตผลจึงต้องหาทางออกทางอื่นเพื่อให้ได้พลังงาน (ATP) มา ในขณะเดียวกันก็ต้องหมุนเวียน NADH กลับมาเป็น NAD^+ อาจทำได้โดยใช้กระบวนการหมัก (Kader, 1995) ซึ่งผลิตผลจะเปลี่ยนจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจนไปเป็นการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยน้ำตาลเมื่อผ่านวิถี glycolysis จนได้ pyruvic acid แล้ว จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น acetaldehyde ethanol (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) และ/หรือ lactate (Kader, 1995) โดยเอนไซม์ pyruvate decarboxylase (PDC) alcohol dehydrogenase (ADH) (Ke, 1994) และ lactate dehydrogenase (LDH) (Kader, 1995) ซึ่งเป็นผลให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ (Kader, 1986) และเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อพืช (Ke, 1994; Ke, 1995) นอกจากนี้ยังพบว่าเอนไซม์ phosphofructokinase (PFK) ซึ่งจัดว่าเป็นเอนไซม์

ควบคุมที่สำคัญที่สุดของวิถี glycolysis ถูกยับยั้ง (Ke, 1991; Kerbal, 1988; Kerbal, 1990) ทำให้มีการสะสมของ glucose 6-phosphate และมีการลดลงของ fructose 1,6-biphosphate (Kerbal, 1988; Kerbal, 1990) เนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็น substrate ของกระบวนการหายใจ ดังนั้นการลดอัตราการหายใจของผลิตผลจึงมีผลในการลดการสูญเสียน้ำตาลซูโครสได้ ดังมีรายงานว่า การให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดอัตราการหายใจของแตงกวา บร็อกโคลี และแครอทได้ (Mathooko, 1995) อมรรัตน์ วัฒนล้ำเลิศ (2549) ได้ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนอินทรีย์โดยใช้เทคนิคการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับก๊าซไนโตรเจน ความเข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับก๊าซไนโตรเจน ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์) ต่อคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนอินทรีย์ที่บรรจุในถุงพลาสติก PE พบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนอินทรีย์มีดัชนีการเกิดสีน้ำตาล กิจกรรมของเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น และพบว่าข้าวโพดฝักอ่อนอินทรีย์ที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติมีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลและกิจกรรมโพลิฟีนอลออกซิเดสเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่าข้าวโพดฝักอ่อนอินทรีย์ที่เก็บในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ปิติรัตน์ และคณะ (2550) ได้ศึกษาผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดได้ พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย (2553) ได้ศึกษาการเก็บพุทราในสภาพบรรยากาศควบคุมที่มีก๊าซออกซิเจนความเข้มข้นต่ำ (ความเข้มข้นร้อยละ 25 และ 10) เปรียบเทียบกับพุทราที่เก็บรักษาในชุดควบคุม พบว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุมที่มีก๊าซออกซิเจนความเข้มข้นต่ำสามารถชะลออัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลินได้ สุภฤกษ์ พันภัย (2553) ทำการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไนโตรเจนต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาเงาะโรงเรียน พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อเพียงเล็กน้อย ความแน่นเนื้อของเปลือก ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด คือ 18 วัน โดยมีลักษณะภายนอกและคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.4 การใช้สาร Anti-browning

สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิด เช่น กรดซิตริก (citric acid) กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) โซเดียมแอสคอร์เบต (sodium ascorbate) กรดอีริทอร์บิก (erythorbic acid) และซิสเตอีน (cysteine) เป็นต้น กรดแอสคอร์บิก เป็นกรดที่พบได้ทั่วไปในพืช มีลักษณะเป็นผลึก ละลายน้ำได้แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เป็น reducing agent ที่มีประสิทธิภาพดีมาก

เมื่ออยู่ในรูปของเหลว ในสภาพที่มีอากาศและแสงจะถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็ว แต่มีความคงตัวมากขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ (รัชนี ตันทะพานิชกุล, 2536) กรดแอสคอร์บิก สามารถลดการเกิดสารควิโนน (quinone) ที่เกิดจากการออกซิเดชันของสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) เป็นตัวเร่งกลับไปเป็น di-hydroxypolyphenol และหากไม่มีการสะสมของควิโนน ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลก็จะไม่เกิดขึ้น (Son *et al.*, 2001) สำหรับกรดอิธอร์บิกมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างจากกรดแอสคอร์บิก โดยจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วกว่า (มณฑาทิพย์ ชุ่มเจริญ, 2539) ซึ่งกรดอิธอร์บิกและเกลืออิธอร์เบนดิยมใช้ในผักสดหรือแช่แข็ง ผักสลัด หรือผลไม้กระป๋อง โดยการจุ่ม แช่หรือเติมในน้ำปรุง เนื่องจากช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลได้ดี สำหรับกรดแอสคอร์บิกหรือเกลือแอสคอร์เบนดิยมใช้กับผลไม้ และอาหารบรรจุกระป๋อง (Hudson, 1990)

2.4.1 กรดซิตริก (citric acid)

กรดซิตริก เป็นสารอินทรีย์ที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และเป็นสารที่นิยมใช้กับผักและผลไม้แปรรูป นอกจากนี้ยังเป็นสารที่มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับกรดชนิดอื่นซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกัน เช่น กรดมาลิก (mallic acid) เป็นต้น (รัชนี ตันทะพานิชกุล, 2536) กรดซิตริกสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ได้เนื่องจากกรดซิตริกมีคุณสมบัติเป็น reducing agent และยังเป็นสารคีเลต (chelate) ซึ่งมีบทบาทในการทำปฏิกิริยากับโลหะที่มีในผลิตภัณฑ์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Son *et al.*, 2001)

2.4.2 กรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี เป็นกรดอินทรีย์ที่ไม่เป็นอันตรายแก่ผู้บริโภคไม่ทำให้เกิดกลิ่นรสเปลี่ยนแปลงและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค กรดแอสคอร์บิกยังมีประสิทธิภาพในการลดการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) โดยเปลี่ยน O-quinone กลับเป็น phenolic compound ก่อนจะเกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบเมลานิน (melanin) (Toivonen, 1992) ซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่นิยมใช้กรดแอสคอร์บิกในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ แครอท กะหล่ำปลี อโวคาโด เป็นต้น (Galetti, 1997)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กัลปพฤกษ์ ลีละวัฒน์ (2531) ได้ทดลองเปรียบเทียบการใช้สารฆ่าเชื้อ โดยแช่ข้าวโพดฝักอ่อนทั้งเปลือกในน้ำยาคลอโรกซ์ 100 ppm นาน 10 นาที แล้วนำมาปอกเปลือก ซึ่งผู้ปอกต้องฆ่าเชื้อที่มือและมีดปอกด้วยเอซิดแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ ทุกๆ การปอก 10 ฝัก ก่อน จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0-5 และ 30 (อุณหภูมิห้อง) องศาเซลเซียส ในถุงพลาสติกเจาะรู เมื่อตรวจสอบจำนวนฝักที่เน่าเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าวิธีปอกแต่ละวิธีให้ผลไม่แตกต่างกันกับวิธีการปอกที่ไม่ใช้สารฆ่าเชื้อ Lund (1981) รายงานว่าการใช้สารประกอบคลอรีน เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl)

หรือแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ $[Ca(OCl)_2]$ ในน้ำที่ใช้ล้างผัก สามารถลดปริมาณแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคเน่าและที่เกิดจากเชื้อ *Erwinia carotovora* ได้ เช่น มะเขือเทศใช้คลอรีนความเข้มข้น 300 ppm ที่ pH 8.8 (Segall, 1986) หน่อไม้ฝรั่งใช้ความเข้มข้น 100-400 ppm (เย็นจิตต์ ปิยะแสงทอง, 2535) Lund (1981) รายงานว่าการใช้สารไฮโปคลอไรต์ (HClO) 200 ppm สามารถลดแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคเน่าและทำให้เก็บรักษาหัวมันฝรั่งไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส ได้นาน 50 วัน

วารุณี ปริย์มาโนช และสุภา สุขเกษม (2530) ทดลองเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนในสภาพอุณหภูมิห้อง 29-30 องศาเซลเซียส และในห้องเย็น 5 และ 17 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบวิธีการบรรจุในถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) และโพลิโพรพิลีน (PP) ที่เจาะและไม่เจาะรู ใส่ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) พบว่า การเก็บรักษาในถาดโฟมที่หุ้มด้วย PVC มีสภาพดีกว่าวิธีอื่น รองลงมาคือ การบรรจุในถุงพลาสติกไม่เจาะรู และเจาะรู ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิห้องพบว่าเกิดโรคภายใน 3 วัน หลังการเก็บรักษา ส่วนการเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดโรคหลังการเก็บรักษาในวันที่ 7 และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่ดีที่สุด สามารถเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนได้นาน 3 สัปดาห์ จากผลการทดลองดังกล่าวไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่า ข้าวโพดฝักอ่อนสามารถเก็บรักษาได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิใด ทราบแต่เพียงว่าอยู่ระหว่าง 0-5 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส อาจก่อให้เกิดอาการผิดปกติขึ้นเนื่องจากอาการสะท้อนหนาว (chilling injury) การตอบสนองต่ออุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาของข้าวโพดฝักอ่อนแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกัน มีการทดลองเก็บรักษาข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์สุวรรณ 2 พันธุ์ไทยซูเปอร์สวีท (composite 1 DMR) พันธุ์แปซิฟิก และพันธุ์รังสิต 1 ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติก PVC หนา 20 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิ 1 3 และ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่า อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ข้าวโพดฝักอ่อนทุกพันธุ์มีสภาพดีกว่าที่อุณหภูมิอื่น โดยมีปริมาณรากต่อถาดและจำนวนฝักสีคล้ำน้อย ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และน้ำหนักแห้งของข้าวโพดฝักอ่อนลดลงเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น แต่ไม่แตกต่างกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ ส่วนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส พบว่าข้าวโพดฝักอ่อนมีลักษณะและจำนวนฝักเป็นสีคล้ำมากที่สุด โดยพันธุ์ไทยซูเปอร์สวีท (composite 1 DMR) มีจำนวนฝักสีคล้ำต่อถาดมากที่สุด พันธุ์สุวรรณ 2 และพันธุ์รังสิต 1 มีจำนวนฝักสีคล้ำรองลงมา ส่วนพันธุ์แปซิฟิก มีจำนวนฝักสีคล้ำต่อถาดน้อยที่สุด (นิธิตา สงวนสิน, 2532) นอกจากนี้ วารุณี ปริย์มาโนช (2532) ได้ศึกษาข้าวโพดฝักอ่อนโดยหลังจากเก็บเกี่ยวนำมาปอกเปลือก แล้วลดอุณหภูมิ (precooling) ด้วยวิธีใช้น้ำแข็งและวิธีใช้รถห้องเย็น ทำการเปรียบเทียบกับ การไม่ลดอุณหภูมิ แล้วนำมาบรรจุใส่ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์ม PVC (polyvinylchloride) บรรจุลงในกล่องกระดาษ เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเย็น 5-6 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 ตรวจสอบผลทุกสัปดาห์เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ผลการทดลองสรุปได้ว่า การลดอุณหภูมิ

กับการไม่ลดอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันทางด้านสถิติทั้งในด้านเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก และ ปริมาณ soluble solids สำหรับการเกิดโรคอาการจะเริ่มหลังจากเก็บรักษาแล้ว 2 สัปดาห์ (14 วัน) มีความแตกต่างกันทางสถิติ การลดอุณหภูมิด้วยน้ำแข็งและรถห้องเย็น เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคจะน้อยกว่าไม่ลดอุณหภูมิ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของความหวานและน้ำหนักฝักแล้ว การเปลี่ยนแปลงอีกอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนคือ การเปลี่ยนแปลงสีของฝัก อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงของสีเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก โดยเฉพาะที่ปลายฝักหรือจุดที่มีการชอกช้ำอันเนื่องจากการขนส่ง รอยตัดหรือหัก หรือโดนแมลงเจาะ การเกิดสีน้ำตาลในเซลล์ของพืช เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการออกซิไดซ์สารจำพวกฟีนอลโมเลกุลเดี่ยว (monophenol) (Paull and Rohrbach, 1985) ซึ่งในพืชชั้นสูงทั่วไป สะสมอยู่ในรูปอนุพันธ์ของกรดซินนามิก (Vickery and Brain, 1981) และเปลี่ยนไปเป็นอนุพันธ์ของควิโนน ในผลสับปะรด เมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำมีการสร้างสารฟีนอลมากขึ้น โดยมีสารตั้งต้น คือ แอลฟีนิลอลานีน (L-phenylalanine) ซึ่งเอนไซม์ที่สำคัญในการสร้างสารฟีนอล คือ เอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) โดยเอนไซม์นี้จะดึงเอากลุ่มของกรดอะมิโนออกจากฟีนิลอลานีนได้เป็นกรดซินนามิก จากนั้นถูกออกซิไดส์โดยเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ในสถานะที่มีออกซิเจน ทำให้โมเลกุลของสารฟีนอลเปลี่ยนไปเป็นควิโนน แล้วรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่และมีสีน้ำตาล นอกจากนี้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลอาจเกิดจาก non-enzymatic reaction หรือ Maillard reaction ได้สารประกอบสีน้ำตาลที่เรียกว่า melanines หรือ melanin-proteins (Walker and Ferrar, 1998) ในผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้หลายวิธี เช่น การใช้สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ ascorbic acid, 4-hexyl resorcinol (Saper and Miller, 1992; Son *et al.*, 2001) สารประกอบของ sugar-thiol (Roux *et al.*, 2003) sulfhydryl compounds (Friedman and Bautista, 1996) และการเก็บรักษาแบบดัดแปลงบรรยากาศ (modified atmosphere packaging, MAP) อาภาภรณ์ มีนาพันธ์ (2003) ได้ศึกษาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของข้าวโพดฝักอ่อน 3 สายพันธุ์ พบว่า พันธุ์ Chiang Mai 90 มีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมากกว่าพันธุ์ CP 45 และ Pacific #5 ซึ่งสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำหนักและปริมาณฟีนอลิก ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อเยื่อพืชเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการออกซิไดซ์สารจำพวกฟีนอล พืชชั้นสูงโดยทั่วไปสะสมสารฟีนอลในรูปอนุพันธ์ของกรดซินนามิกในข้าวโพดฝักอ่อน จะเพิ่มขึ้นในระยะแรกของการเก็บรักษาและลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น เมื่อมีการลอกเปลือกและไหมออก เป็นการทำให้เกิดบาดแผลซึ่งทำให้มีการสะสมสารฟีนอลเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ พชรภรณ์ ถิ่นจันทร์ (2547) ได้ศึกษาถึง ผลของการใช้กรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในข้าวโพดฝักอ่อนที่ระดับความเข้มข้น 0.3 0.5 และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 2 นาที และหุ้มด้วยฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) หนา 10 ไมโครเมตร โดยเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 10 องศา

เซลเซียส พบว่า ระดับคะแนนการเกิดสีน้ำตาลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และจากนั้นได้ศึกษาถึงผลของความหนาของฟิล์ม PVC ในการคงคุณภาพของข้าวโพดฝักอ่อนระหว่างการเก็บรักษา โดยนำข้าวโพดฝักอ่อนที่ทำการปอกเปลือกลอกไหมออกแล้วบรรจุลงในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์ม PVC ที่มีความหนา 10 11 และ 13 ไมโครเมตร ทำการตรวจวัดผลทุก 6 วัน พบว่า ข้าวโพดฝักอ่อนที่หุ้มด้วยฟิล์ม PVC ที่มีความหนา 13 ไมโครเมตร มีระดับคะแนนการเกิดสีน้ำตาลและปริมาณก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุน้อยที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ นาทองงค์ สุวรรณมาใจ (2547) ได้ศึกษาการใช้กรดแอสคอร์บิกร่วมกับสารเคลือบผิวที่บริโภคนได้ต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของผลแอปเปิลตัดแต่งพร้อมบริโภค พบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันทางสถิติ