บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

กล้วยจัดอยู่ในวงศ์ Musaceae ลำดับ Scitaminaceae สกุล *Musa* เป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตอนใต้ กล้วยรับประทานได้จัดอยู่ใน section Eumusa โดยถือกำเนิดมาจากกล้วยป่า 2 species คือ *Musa accuminata* Colla (A genome) และ *M. balbisiana* Colla (B genome) ซึ่งกล้วยป่าทั้ง 2 ชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบ Indo-Malayan (Simmonds, 1982) การผสมพันธุ์ของกล้วย 2 ชนิดนี้ ยังผลให้เกิดกล้วยพันธุ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งมีโครโมโซมและจีโนมแตกต่างกันไป เช่น AA, AAA, AB, ABB, BB เป็นต้น กล้วยหอมมีโครโมโซมเป็น triploid และจีโนมแบบ AAA ซึ่งเขียนเป็นชื่อวิทยาศาสตร์ได้คือ *Musa* (AAA group) 'Kluai Hom Thong' กลุ่มย่อย Gros Michel กล้วยหอมทองมีลำต้นเทียมสูง 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบและลำต้นด้านนอกมีประดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อนและมีเส้นสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกมีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง มีไข ด้านล่างสีแดงซีด เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล ผลใหญ่ กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 21-25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุกเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองแต่ที่ปลายจุกเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีส้มอ่อนๆ กลิ่นหอม รสหวาน (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2534)

เอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะเป็นแก๊สประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่อิ่มตัว การที่เอทิลีนมีสถานะเป็นแก๊สจึงสามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ง่าย ทำให้เอทิลีนมีอิทธิพลต่อการพัฒนาของพืชค่อนข้างกว้าง หน้าที่สำคัญของเอทิลีนคือเร่งอัตราการเสื่อมของพืช ทั้งนี้เพราะเอทิลีนสามารถกระตุ้นเนื้อเยื่อทุกชนิดให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้นได้ ในผลไม้เอทิลีนจัดเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการสุก (ripening hormone) โดยจะกระตุ้นให้เกิดการสุกได้เร็วขึ้น กระบวนการสุกจะเกิดขึ้นไม่ได้ถ้าไม่มีเอทิลีน และระหว่างการสุกก็ยังจำเป็นต้องมีเอทิลีนเพื่อให้เกิดการสุกที่สมบูรณ์ ลักษณะการผลิตเอทิลีนและปริมาณความเข้มข้นภายในมีความสัมพันธ์กับการหายใจ ผลไม้ที่มีการสุกแบบ climacteric มีการผลิตและความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลระหว่างการเจริญเติบโตต่ำ จนกระทั่งเมื่อผลไม้เริ่มสุกการผลิตเอทิลีนจึงเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว และการให้เอทิลีนจากภายนอกจะมีผลกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนในเนื้อเยื่อผลไม้ ทำให้ผลไม้สุกเร็วกว่าปกติ ส่วนผลไม้ที่มีการสุกแบบ non-climacteric เอทิลีนจากภายนอกจะไม่มีผลต่อการ

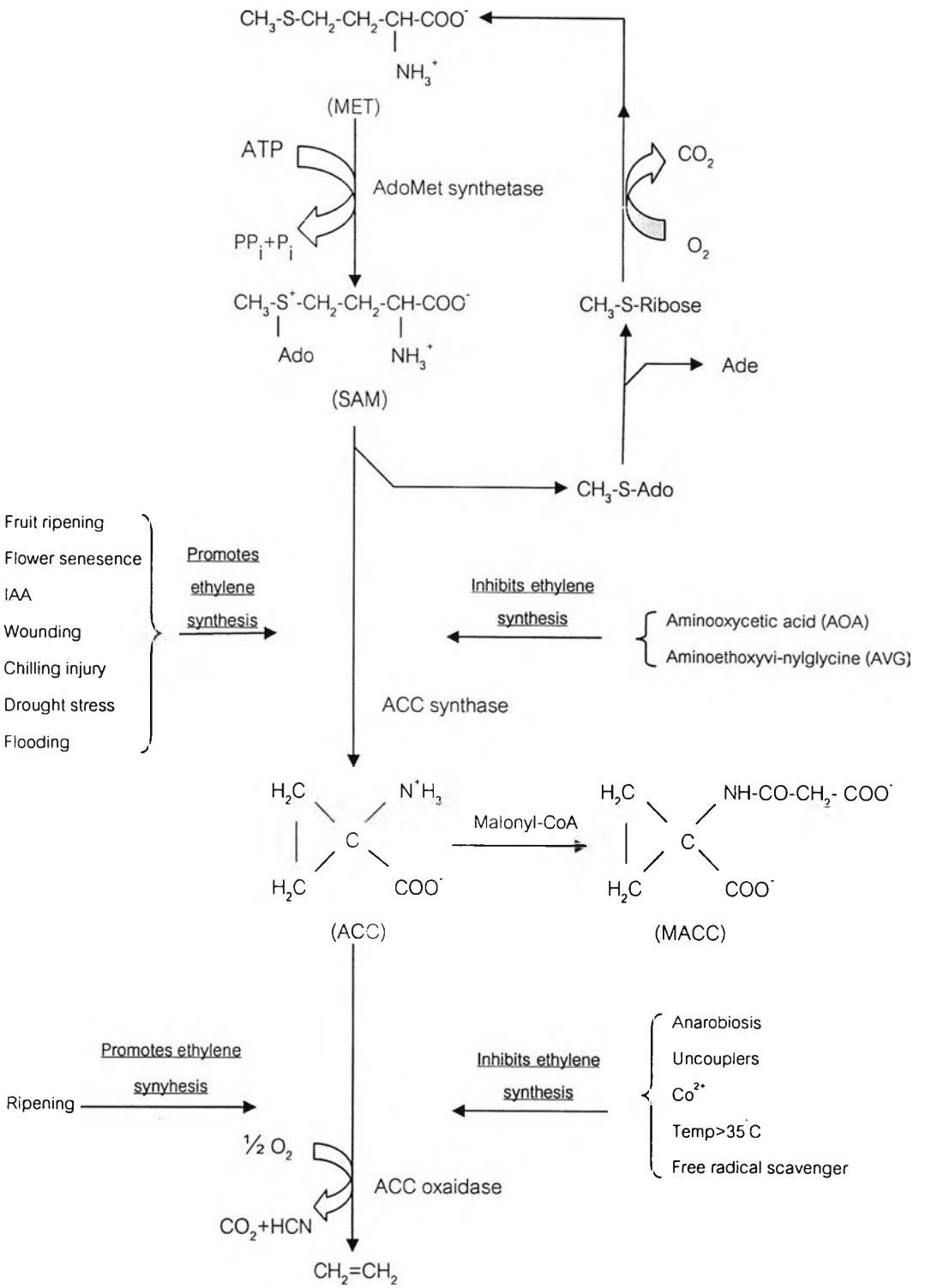
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนในเนื้อเยื่อของผลไม้ และระหว่างการสุกปริมาณการสังเคราะห์เอทิลีนจะต่ำอยู่ตลอดการพัฒนาและเจริญเติบโต (จริงแท้ ศิริพานิช, 2544)

<u>กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน</u>

สารหรือโมเลกุลที่เป็นต้นกำเนิดของเอทิลีนนั้นคือกรดอะมิโนที่มีชื่อว่า methionine ซึ่งพืชสังเคราะห์ได้เองจากกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ภายในเซลล์ในวัฏจักร Yang (Yang cycle) ในลำดับแรก methionine ถูกเปลี่ยนไปเป็น S-adenosyl methionine (SAM) และ SAM นี้อาจถูกใช้ไปในการสังเคราะห์โปรตีนบางชนิดรวมถึง chlorophyll, lignin และ pectin ด้วย ต่อมา SAM จะถูกเปลี่ยนเป็น 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ด้วย ACC synthase หลังจากนั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเอทิลีนในลำดับสุดท้ายโดยเอนไซม์ที่เรียกกันว่า ethylene forming enzyme (EFE) หรือ ACC oxidase โดยอาจมีบางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็น malonyl ACC (MACC) ซึ่งค่อนข้างเสถียร (ภาพที่ 1) (Yang, 1985)

จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน พบว่าระบบการสังเคราะห์เอทิลีนมีอยู่ในเนื้อเยื่อพืชทุกชนิด แต่อัตราการผลิตจะอยู่ในขั้นต่ำ อัตราการผลิตเอทิลีนที่สูงขึ้นกว่าปกติเกิดจากการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ACC synthase การควบคุมในลำดับนี้เกิดในเนื้อเยื่อพืชทุกชนิด จัดเป็นการควบคุมอย่างหยาบ โดยอัตราการผลิตเอทิลีนที่เพิ่มขึ้นจะไม่สูงมากนัก (system I) ส่วนการควบคุมการผลิตเอทิลีนอีกลำดับหนึ่งเกิดขึ้นเมื่อ ACC oxidase เปลี่ยน ACC ไปเป็นเอทิลีน การควบคุมในลำดับนี้จะพบเฉพาะในกระบวนการสุกของผลไม้ประเภท climacteric และการเสื่อมสภาพของกลีบดอกไม้เท่านั้น เมื่อผลไม้ประเภท climacteric สุก ทั้ง ACC synthase และ ACC oxidase จะถูกกระตุ้นทำให้มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นมากกว่าปกติหลายเท่าตัว (system II) ซึ่งการควบคุมในแบบหลังนี้จะเกิดขึ้นเมื่อการสังเคราะห์เอทิลีน ACC synthase และ ACC oxidase ถูกกระตุ้นขึ้นโดยเอทิลีนเอง (autocatalysis) (Yang, 1985)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการสังเคราะห์เอทิลีนในพืช (Yang, 1985)

ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่า อิทธิพลต่างๆ ของเอทิลีนนั้นมิได้เกิดขึ้นจากโมเลกุลของเอทิลีนโดยตรง เอทิลีนทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นโดยทำงานผ่านตัวกลางหรือตัวรับ (receptor) จากนั้นโมเลกุลดังกล่าวจึงจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางสรีรวิทยาของพืชที่เราพบเห็นกัน พบว่าเอทิลีนกระตุ้นการสลายตัวของ chlorophyll และการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น pectinase และ cellulase ทำให้ผลไม้เกิดการอ่อนนุ่ม และกระตุ้นการเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็นน้ำตาล อย่างไรก็ดีกลไกในการควบคุมการสุกและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกเนื่องจากเอทิลีนยังไม่เป็นที่กระจ่างชัดนัก (จริงแท้ ศิริพานิช, 2544)

เอทิลีนกับการสุกของกล้วย

กล้วยจัดเป็นผลไม้ประเภท climacteric คือ กระบวนการสุกจะมีความสัมพันธ์กับการหายใจและการผลิตเอทิลีนที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนหลังการเก็บเกี่ยวของผลกล้วย แสดงถึงการเริ่มต้นของกระบวนการสุก ผลกล้วยจะมีอัตราการหายใจต่ำในช่วงแรกคือช่วง preclimacteric และมีการเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วง climacteric เรียกการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงนี้ว่า climacteric rise จนกระทั่งมีอัตราสูงสุด (climacteric peak) แล้วจึงลดต่ำลงในช่วงท้ายหรือ post climacteric ซึ่งรูปแบบของการผลิตเอทิลีนในผลกล้วยก็มีรูปแบบเดียวกัน ในช่วง preclimacteric ปริมาณของ ACC ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทิลีนมีอยู่น้อย แล้วจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง climacteric rise (Lizada และคณะ, 1983a) โดยระดับของ ACC จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดในขณะที่การผลิตเอทิลีนมีการเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นปริมาณ ACC ก็จะลดลง (Pantastico, 1990) พบว่าเอทิลีนกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น amylase, polygalacturonase, phenylalanine, aminolyase และ chlorophyllase (Kader, 1985; Horton, 1985 อ้างถึงในเฉลิมชัย วงศ์อารี, 2538)

ในระหว่างการสุกเปลือกกล้วยจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง ซึ่งเกิดจากการสลายของ chlorophyll โดยเอนไซม์ chlorophyllase (Lizada และคณะ, 1990) ซึ่งจะเกิดกิจกรรมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในเปลือกกล้วยที่อยู่ในระยะ climacteric และจะถึงจุดสูงสุดควบคู่กันไปกับ climacteric peak จากนั้นจึงลดลงในช่วง post climacteric (Loonet และ Patterson, 1967 อ้างถึงใน Palmer, 1971) เชื่อว่าการสะสมของเอทิลีนภายในผลมีผลกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์นี้ (Steward และ Wheaton, 1972 อ้างถึงในสมชาย เล่ห์เหลี่ยม, 2539) ทำให้สามารถมองเห็นสีเหลืองของ carotenoid ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างการสุก (Turner, 1997) ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

การนุ่มลงของเนื้อกล้วยเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผนังเซลล์ เนื่องจากเอนไซม์ polygalacturonase (PG) และ pectin methylesterase (PME) เร่งปฏิกิริยาการสลาย pectin ในผนังเซลล์ และ middle lamella ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น (Lizada และคณะ, 1990) และเกี่ยวข้องกับการสลายแป้งในเปลือกและผลกล้วยควบคู่กันไป (John และ Marchal, 1995) Smith และคณะ (1989) รายงานว่าการลดลงของปริมาณแป้งซึ่งมีมากในเนื้อเยื่อและเปลือกกล้วยดิบในกล้วยหลายพันธุ์ จะมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับการเกิดลักษณะการอ่อนของเนื้อเยื่อคือ เมื่อปริมาณแป้งลดลงการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อจะเพิ่มขึ้น (ประสาร ฉลาดคิด, 2536)

การสลายของแป้งทำให้เกิดการสะสมของปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำและน้ำตาล (Loesecke, 1950) การสะสมน้ำตาลนี้เกิดขึ้นในเนื้อกล้วยมากกว่าในเปลือกกล้วยอย่างมาก เป็นผลให้ค่า osmotic potential ระหว่างเนื้อกล้วยและเปลือกกล้วยมีความแตกต่างกัน ทำให้มีการแพร่ของน้ำจากเปลือกไปยังเนื้อกล้วย (Stratton และ Loesecke, 1931 อ้างถึงใน Palmer, 1971) อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยรวมลดลงประมาณ 2-5% ระหว่างการสุก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการใช้น้ำตาลไปในกระบวนการหายใจ กระบวนการหายใจนี้ยังได้ผลผลิตตัวหนึ่งเป็นน้ำ ซึ่งเมื่อหักล้างกับการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำและกระบวนการย่อยสลายแป้งแล้วพบว่าระหว่างการสุกผลกล้วยมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น (Palmer, 1971)

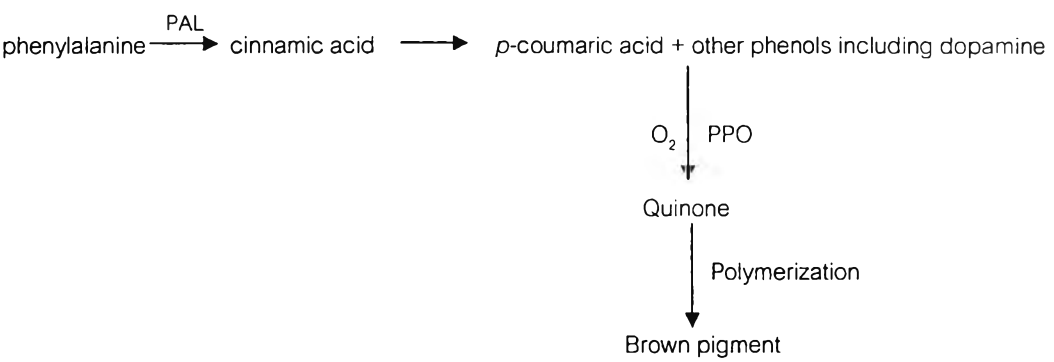
นอกจากการสะสมน้ำตาลจะทำให้ผลกล้วยนุ่มลงแล้ว ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นควบคู่ไปกับกลิ่นซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของ volatile compounds และการที่สารประกอบฟีนอลิกเกิดการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ที่ไม่ละลายน้ำทำให้ความฝาดในผลกล้วยลดลง สิ่งต่างๆ เหล่านี้ทำให้ผลกล้วยมีรสชาติดีขึ้น ในขณะเดียวกันปริมาณของ dopamine และ ascorbic acid ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ช่วยยับยั้งการเกิดสารสีน้ำตาลจะลดลง ทำให้ผลกล้วยเกิดสารสีน้ำตาลได้ง่ายขึ้น (Palmer, 1971; Weaver และ Charley, 1990 อ้างถึงใน Turner, 1997)

Chilling Injury

Chlling injury หรือความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำที่เรียกกันว่าอาการสะท้านหนาว มีสาเหตุมาจากการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง ผลกล้วยจะเกิดความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำได้ง่าย อาการที่พบได้แก่ เปลือกเกิดรอยสีน้ำตาลหรือสีดำซึ่งเกิดจากการ oxidation ของสารประกอบฟีนอลิกในท่อลำเลียง (John และ Marchal, 1995) และอาจมีรอยบุ๋มลงไปด้วยเนื่องจากเซลล์บริเวณนั้นตายไป หรือมีการสุกผิดปกติ เช่น ชะลอระยะ climacteric (Murata, 1969) ลดการผลิต volatiles (Mattei และ Pailiard, 1973 อ้างถึงใน Turner, 1997) มี

ปริมาณ Total soluble solids ต่ำ (พูนสุข ไชยตระกูลทรัพย์, 2525) เนื้อแข็งและฝาด (Olorunda และคณะ, 1978 อ้างถึงใน John และ Marchal, 1995) ไส้กลางผลแข็งเนื่องจากการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลช้าลง (Barnel, 1945 อ้างถึงในเบญจมาศ ศิลาย้อย, 2534) ปริมาณ tannins เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ของผลกล้วยปกติ

สำหรับการเกิดสารสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อพืชทั่วไป เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ phenylalanine ammonia lyase (PAL) ที่สามารถทำปฏิกิริยาดึงเอากลุ่มอะมิโนออกจาก phenylalanine ซึ่งเป็นโมเลกุลสารเริ่มต้น (precursor) ในการสร้างสารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ ได้เป็นกรด cinnamic ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบฟีนอลอื่นๆ เช่น ρ-coumaric acid, กรด chlorogenic และกรด caffeic เป็นต้น (Vickery และ Brain, 1981 อ้างถึงในรุจิรา เชื้อหอม, 2541) จากนั้นเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และ peroxidase (POD) จะเปลี่ยนโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลไปเป็นสาร quinone ซึ่งเป็นสารที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ สาร quinone จะรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น (polymerization) และเป็นสีน้ำตาล (melanins) (จริงแท้ ศิริพานิช, 2544)



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อของพืช

ในพืชจะพบเอนไซม์ PPO ทั้งในรูปของ soluble PPOs และ membrane-bound PPOs เอนไซม์ PPO จะถูกสร้างขึ้นที่นิวเคลียส และถูกส่งไปยังไซโตพลาสซึม จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยัง chloroplast (Martinez และ Whitaker, 1995 อ้างถึงในรุจิรา เชื้อหอม, 2541) โดยพบที่ thylakoid membrane ของ chloroplast, vesicles และส่วนอื่นๆ ใน non-green plastid และในบางครั้งอาจพบใน mitochondria microbodies หรือที่ผนังเซลล์ (Marques และคณะ, 1995 อ้างถึงในรุจิรา เชื้อหอม, 2541) การยับยั้งไม่ให้เกิดสารสีน้ำตาลทำได้โดยการเปลี่ยนแปลง activity ของเอนไซม์ PPO ได้แก่ การลดปริมาณ O_2 และการใช้ reducing agent เช่น ascorbic acid

เพื่อป้องกันการสะสมหรือ polymerization นอกจากนี้การให้ความร้อนจะมีผลทำให้เอนไซม์เสียสภาพธรรมชาติจึงไม่สามารถออกซิไดซ์สารประกอบฟีนอลได้ (รุจิรา เชื้อหอม, 2541)

สาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาวนั้น สันนิษฐานว่าเนื่องจากองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์หรือเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์บางส่วน เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นผิดปกติไป การควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ จะเสื่อมลง ทำให้ substrate มีโอกาสสัมผัสกับเอนไซม์ได้โดยขาดการควบคุม (จริงแท้ ศิริพานิช, 2544) นั่นคือ O_2 และเอนไซม์ PPO สามารถแพร่ผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลิกทำให้เกิดสารสีน้ำตาลได้ง่ายขึ้น (Pantastico และคณะ, 1990) โดยเอนไซม์ PPO จะเร่งปฏิกิริยา oxidation ของสารประกอบฟีนอลิกซึ่งส่วนใหญ่คือ dopamine (3,4-dihydroxy phenylethyl amine) (ภาพที่ 2) นอกจากนี้ยังพบว่าในกล้วยที่เกิด chilling injury มีการสังเคราะห์ chlorogenic acid และ D-catechin เพิ่มขึ้น ซึ่งสารฟีนอลทั้งสองชนิดนี้จะถูก oxidize เป็นสีน้ำตาลโดยเอนไซม์ PPO เช่นกัน (Pantastico และคณะ, 1990)

การเก็บรักษากล้วย

เป็นที่ทราบกันดีว่ากล้วยเป็นผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น และเกิดความเสียหายได้ง่าย การเก็บรักษากล้วยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุม (Controlled Atmosphere - CA) การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Modified Atmosphere – MA) การใช้สารดูดซับเอทิลีน หรือแม้กระทั่งการเก็บรักษาบนต้นในกรณีที่ตลาดอยู่ไม่ไกลจากแหล่งผลิตมากนัก และยังมีการค้นคว้าเพื่อหาวิธีการเก็บรักษาแบบใหม่เพิ่มขึ้น เช่น การใช้สารเคลือบผิว การฉายรังสี การเก็บรักษาใน moist sawdust การเก็บรักษาอาจทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง หรืออาจใช้หลายวิธีร่วมกัน ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป (Abdullah และคณะ, 1990)

การเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ เป็นการเก็บรักษาโดยควบคุมสภาพบรรยากาศภายในห้องหรือสถานที่เก็บรักษา ซึ่งโดยมากแล้วมักจะเน้นที่การควบคุมปริมาณแก๊ส 2 ชนิด ได้แก่ CO_2 และ O_2 โดยให้ CO_2 มีปริมาณสูงขึ้น และ O_2 มีปริมาณต่ำลง เชื่อกันว่าปริมาณ CO_2 ที่สูงขึ้นจะยับยั้งบางขั้นตอนของกระบวนการหายใจและขัดขวางการสังเคราะห์และการทำงานของเอทิลีน รวมถึงยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด (Hassan และคณะ 1990 อ้างถึงในเฉลิมชัย วงศ์อารี, 2538) ส่วนการลดปริมาณ O_2 ทำให้มีอัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีนและกระบวนการ oxidation ของสารต่างๆ ลดลง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2544) นอกจากนี้มักจะมีการควบคุมองค์ประกอบอื่นๆ ควบคู่กันไปด้วย เช่น ปริมาณเอทิลีน ความดัน อุณหภูมิ และปริมาณ CO

วิธีการนี้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาออกไปได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย ถ้าสภาพบรรยากาศนั้นมีความเหมาะสม ซึ่งต้องมีการศึกษาเพื่อหาสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมกับผลกล้วยแต่ละพันธุ์ ยิ่งไปกว่านี้การควบคุมสภาพบรรยากาศให้มีองค์ประกอบต่างๆ คงที่ยังเป็นวิธีการที่เสียค่าใช้จ่ายสูงมาก

การดัดแปลงสภาพบรรยากาศ เป็นวิธีการเก็บรักษาที่มีหลักการเดียวกันกับวิธีการควบคุมบรรยากาศ โดยทำการเก็บรักษาผลกล้วยไว้ในภาชนะบรรจุ เมื่อผลกล้วยมีการหายใจและกระบวนการต่างๆ ก็จะเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างผลกล้วยและบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ ทำให้องค์ประกอบของอากาศภายในภาชนะบรรจุมีการเปลี่ยนแปลง มีปริมาณ CO_2 เพิ่มขึ้น และปริมาณ O_2 ลดลง ทั้งยังอาจมีการใช้สารดูดซับเอทิลีนควบคู่ไปด้วย อย่างไรก็ดีวิธีการนี้ไม่สามารถควบคุมองค์ประกอบของบรรยากาศให้คงที่ได้ ผลที่ได้จึงไม่ค่อยมีความแน่นอนมากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีปริมาณ O_2 ต่ำเกินไป และมีปริมาณ CO_2 สูงเกินไป อาจเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ O_2 ขึ้น ทำให้เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์และ aldehyde เป็นผลให้ผลกล้วยมีอาการผิดปกติ มีกลิ่นและรสชาติผิดไปได้ (Hassan และคณะ, 1987; Tan และคณะ , 1987) นอกจากนี้ภายในภาชนะบรรจุอาจเกิดการควบแน่นของน้ำซึ่งอาจทำให้เกิดโรคจากเชื้อราได้ง่าย (เฉลิมชัย วงศ์อารี, 2538)

การใช้สารเคลือบผิว เป็นการลดการสูญเสียน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างผลกล้วยกับบรรยากาศ อาจกล่าวได้ว่าเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ จึงมีกลไกในการยืดอายุการเก็บรักษาและข้อควรระวังที่คล้ายกัน นอกจากนี้ยังช่วยลดการคายน้ำทำให้ผลกล้วยเหี่ยวช้าลง การใช้สารเคลือบผิวต้องเลือกชนิดและปริมาณให้เหมาะสม ทั้งยังต้องคำนึงถึงกฎระเบียบทางการค้าของแต่ละประเทศและค่านิยมของผู้บริโภคควบคู่กันไป

การเก็บรักษาบนต้น เป็นวิธีที่เหมาะสมกับตลาดที่ราคาสินค้ามีความแปรผันมากจากสัปดาห์ต่อสัปดาห์ ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา โดยทำการห่อเครือกล้วยด้วยถุง polyethylene และอาจมีการใส่สารดูดซับเอทิลีนลงไปในถุงด้วย ข้อควรระวังคือการหักของเครือกล้วยรวมถึงการเกิดโรคภายในถุง (Johns และ Scott, 1989b อ้างถึงใน Turner, 1997) นอกจากนี้คุณภาพอาจลดลงเนื่องจากมีการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน และยังต้องมีค่าใช้จ่ายในการดูแลต้นพืชอีกด้วย

ในปัจจุบันวิธีการเก็บรักษากล้วยที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยมีหลักการว่าที่อุณหภูมิต่ำกระบวนการต่างๆ ทางสรีรวิทยาจะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลง และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆ ที่จะเข้าทำลายผลผลิต ทำให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้นแต่

สำหรับผลไม้ในเขตร้อน เช่น กล้วย จะไม่สามารถเก็บไว้ที่อุณภูมิต่ำมากได้ เนื่องจากการเกิด chilling injury ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

Heat treatment

การให้ความร้อนกับผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวนั้น มีจุดประสงค์ในระยะเริ่มแรกเพื่อการควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืช ซึ่งการให้ความร้อนกับผลิตผลย่อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆ แก่ผลิตผลนั้นๆ ไปด้วย โดยผลที่เกิดขึ้นนั้นอาจเป็นผลในด้านดี เช่น ชะลอการสุก ลดความไวต่อการเกิดความเสียหายเนื่องจาก heat damage ที่ใช้ในการลดโรคและแมลง หรือลดความไวต่อการเกิด chilling injury หรืออาจเป็นผลเสีย เช่น เกิด heat damage ผลสุกเร็วขึ้น สุกผิดปกติหรือไม่เกิดการสุกขึ้นเลยก็ได้ และเนื่องจากผลในด้านดีดังที่กล่าวมาแล้ว ทำให้ในปัจจุบันมีผู้สนใจที่จะนำวิธีการให้ความร้อนนี้มาใช้กับผลิตผลโดยมีจุดประสงค์เพื่อชะลอการสุก ยืดอายุการเก็บรักษา หรือลดความเสียหายจากการเกิด chilling injury กันมากขึ้น

การทำ heat treatment อาจแบ่งเป็นวิธีใหญ่ๆได้ 3 วิธี ได้แก่ hot water, vapor heat และ hot air โดยในวิธี vapor heat และ hot air ยังสามารถแบ่งเป็นกรณีที่อากาศอยู่นิ่ง (static) หรือมีการไหลเวียน (flow) และอาจมีการควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศหรือไม่มีอีกด้วย

การให้ความร้อนอาจมีผลยับยั้งปฏิกิริยาบางปฏิกิริยา ในการสุกของผลไม้ประเภท climacteric ซึ่งส่วนใหญ่จะสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น การนุ่มลงของเนื้อผล การเพิ่มอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลและกรด การเปลี่ยนสี การเพิ่มอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน ในขณะเดียวกันการให้ความร้อนก็อาจเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ ทำให้ผลไม้ที่ได้รับความร้อนอาจมีลักษณะการสุกบางประการเกิดขึ้นเร็วกว่าผลไม้ที่ไม่ได้รับความร้อน ในขณะที่สามารถรักษาคุณภาพได้นานกว่า (Lurie, 1998)

การยับยั้งการสุกโดยความร้อนอาจเกิดจากผลกระทบต่อ ripening hormone หรือเอทิลีน โดยพบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 35-40°C สามารถยับยั้งการผลิตเอทิลีนในมะเขือเทศ (Biggs และคณะ, 1988) และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 38°C สามารถชะลอการผลิตเอทิลีนในมะม่วงน้ำดอกไม้ (Ketsa และคณะ, 1999) การแช่น้ำร้อนทำให้สูญเสีย activity ของ ACC oxidase ในมะละกอ (Chan, 1986) ในขณะที่ ACC synthase ก็ได้รับผลกระทบจากความร้อนเช่นกัน แต่จากในหลายๆ การศึกษาพบว่า ACC synthase มีความไวต่อความร้อนน้อยกว่า ACC oxidase (Klein, 1989; Atta Aly, 1992 อ้างถึงใน Lurie, 1998) ผลของการยับยั้งนี้อาจหายไป

เมื่อนำผลไม้ออกมาจากการให้ความร้อนและมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่าผลไม้ที่ไม่ได้รับความร้อน ซึ่งอาจเนื่องมา จากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของ ACC synthase ทำให้เกิดการสะสมของ ACC หรืออาจเกิดจากเนื้อเยื่อที่เสียหายจาก heat stress ทำการผลิต wound ethylene ซึ่งพบว่าระบบควบคุมการผลิต เอทิลีนของ wound ethylene ไวต่อความร้อนน้อยกว่าการผลิตเอทิลีนของ ripening-associated ethylene (Biggs และคณะ, 1988)

Chan และคณะ (1981) พบว่าระบบการสังเคราะห์เอนไซม์ polygalacturonase ได้รับความเสียหายจากการทำ heat treatment ซึ่งอาจเป็นผลทำให้ผลมะละกอไม่เกิดการนุ่มลงระหว่างการสุก แม้ว่าตัวเอนไซม์เองจะมีความต้านทานต่อความร้อนที่ใช้ในการทดลอง (อ้างถึงใน Couey, 1989) และการทำ heat treatment สามารถรักษาความแน่นเนื้อในพลับพันธุ์ Fuyu (Lay-Yee และคณะ, 1997) มะเขือเทศ (Biggs และคณะ, 1988) และมะม่วง (Ketsa, 2000) ในแง่ของปริมาณน้ำตาลพบว่าการทำ heat treatment สามารถยับยั้งการสูญเสีย sucrose ใน muskmelon (Lingle และคณะ, 1987 อ้างถึงใน Lurie, 1998) และเพิ่มปริมาณ sucrose ใน squash (Bycroft และคณะ, 1997 อ้างถึงใน Lurie, 1998) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณ TSS ในพลับ (Lay-Yee และคณะ, 1997) มะเขือเทศ, grapefruit และ nectarine (Sabehat, 1997; Miller และ MaDonald,1992; Lay-Yee และ Rose, 1994 อ้างถึงใน Lurie, 1998)

การทำ heat treatment สามารถเร่งการเปลี่ยนสีในผลไม้หลายชนิด (Lurie, 1998) ในขณะเดียวกันก็ชะลอการเปลี่ยนสีและการลดลงของปริมาณ chlorophyll ในมะเขือเทศ (Whiteker, 1994) Blackbourn และคณะ (1989) คาดว่าในกล้วย การยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีผิวระหว่างการทำ heat treatment เกิดจากการสูญเสียเอนไซม์ที่ใช้ในการสลาย chlorophyll (อ้างถึงใน Lurie, 1998)

การทำ heat treatment สามารถลดความเสียหายที่เกิดจาก chilling injury ในพลับ (Lay-Yee และคณะ, 1997; Dentener และคณะ, 1997) อะโวกาโด (Sanxter และคณะ, 1994; Woolf และคณะ, 1995,1996 อ้างถึงใน Lay-Yee และคณะ, 1997.) มะม่วง (McCollum และคณะ, 1993: Ketsa, 2000) ส้ม 'Valencia' (Wild และ Hood, 1989) และมะเขือเทศ (Whitaker, 1994; Sabehat และคณะ,1996) ดังนั้นการให้ผลิตผลได้รับอุณหภูมิสูงก่อนการเก็บรักษาเป็นประโยชน์อย่างมากต่อพืชที่ไวต่ออุณหภูมิต่ำ เช่น ส้ม มะเขือเทศ แตงกวา อะโวกาโด มะม่วง มะละกอ และกล้วย (Klein และ Lurie 1992b อ้างถึงในจิตรา ตระกูลน่าเลื่อมใส, 2541)

กลไกทางสรีรวิทยาที่ทำให้ผลผลิตที่ได้รับ heat treatment มีความทนทานต่อ chilling injury นี้ยังไม่แน่ชัดนัก หลายๆ การศึกษาพบความสัมพันธ์ระหว่าง HSPs บางชนิดต่อความทนทานต่ออุณหภูมิต่ำ (Sabehat และคณะ,1996; Lay-Yee และคณะ, 1997; McCollum และคณะ, 1993) และคาดว่า HSPs มีบทบาทสำคัญในการปกป้องเซลล์จากสภาวะที่ไม่เหมาะสม โดยป้องกันการสะสมของโปรตีนที่เสื่อมสภาพบางชนิด หรืออาจทำหน้าที่เป็น molecular chaperones ปกป้องโปรตีนบางชนิดจากการเสื่อมสภาพ (Parsell และ Lindquist, 1993 อ้างถึงใน Lay-Yee และคณะ, 1997) และเชื่อว่า HSPs อาจช่วยเพิ่มความต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำของเนื้อเยื่อโดยการปกป้อง cytosolic proteins และ membrane-associated proteins (Sabehat และคณะ, 1996) ยีน *hsp70* เป็นยีนกลุ่มหนึ่งที่ทำการสร้าง HSPs ที่มีน้ำหนักประมาณ 70 kDa ซึ่งจะเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อนและสภาวะที่ขัดขวางการ folding ของโปรตีน หรือทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพ (Sung และคณะ, 2001)

การลดความไวของผลไม้ที่มีต่อการเกิด chilling injury อาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับ HSPs เพียงอย่างเดียว เชื่อกันว่า chilling injury เป็นผลจากการเกิด membrane damage (Lyons, 1973 อ้างถึงใน Lurie, 1998) และ heat treatment อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ membrane พบว่าการให้ความร้อนลดการ leak ของ membrane ในอะโวกาโดและในชิ้นเนื้อเยื่อมะเขือเทศ (Woolf และคณะ, 1999; Saltveit, 1991 อ้างถึงใน Lurie, 1998) และเปลี่ยนแปลงรูปแบบของ epicular wax ในแอปเปิ้ลพันธุ์ 'Golden Dilicious' โดยอาจเกิดจากการ recrystalization หรือการหลอมใหม่ของ wax (Lurie และคณะ, 1996; Roy และคณะ, 1994 อ้างถึงใน Conway, 1999) รวมถึงการเพิ่มขึ้นของ polyamine ซึ่งช่วยปกป้อง membrane จาก free radical ใน squash (Wang, 1994)

นอกจากนี้ Lazan และคณะ (1986) พบว่าในมะม่วงการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 5 นาทีทำให้ activity ของเอนไซม์ PPO ต่ำลง ซึ่งอาจเกิดจากการยับยั้งการสร้างมากกว่าการ inactivate เอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์ PPO ได้รับการพิจารณาว่าเป็นเอนไซม์ที่มีความทนทานต่อความร้อน โดยจะเกิดการ inactivate ขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 70°C (Park และคณะ, 1980; Galeazzi และคณะ, 1981 อ้างถึงใน Lazan และคณะ, 1986) ในขณะที่ Adams (1991) พบว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 40°C เอนไซม์ PPO จะมี activity ต่ำลง และอ้างว่าเป็นผลเนื่องจากเอนไซม์ PPO เป็นเอนไซม์ที่ไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง (อ้างถึงในจิตรา ตระกูลน่าเลื่อมใส, 2541) และในกล้วยไข่พบว่าการได้รับอุณหภูมิสูงในช่วงเวลาสั้นๆ สามารถลด activity ของเอนไซม์ PPO ลงได้ (สายชล เกตุษา, 2541)

อย่างไรก็ตามการทำ heat treatment ก็อาจทำให้เกิดผลเสียขึ้นได้เช่นกัน เช่น การเกิดสีน้ำตาลซึ่งเป็นอาการที่พบทั่วไปเนื่องจากการเกิด heat damage ซึ่งพบในพลับ (Lay-Yee และคณะ, 1997), อะโวกาโด (Woolf และ Lay-Yee, unpublished อ้างถึงใน Lay-Yee และคณะ, 1997), กล้วย (Armstrong, 1982), มะละกอ (Couey และคณะ 1984 อ้างถึงใน Lay-Yee และคณะ, 1997), และมะม่วงพันธุ์ Kensington (Jacobi และ Wong, 1992) การเกิด tissue damage ทำให้เสื่อมสภาพเร็วขึ้น หรือเกิด internal damage เช่น การพัฒนาสีไม่ดี การนุ่มลงผิดปกติ การสลายแป้งไม่สมบูรณ์ และการเกิดช่องว่างภายใน (internal cavity) หรือบางส่วนแข็ง บางส่วนนุ่ม (Jacobi และ Wong, 1992 อ้างถึงใน Lurie, 1998)