บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งในปี ค.ศ.1984 องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้ประมาณว่ามีการปลูกกล้วยอยู่ทั่วโลกมากกว่า 130 ประเทศ (1) ในปี ค.ศ.1991 ผลผลิตกล้วยทั่วโลกมีปริมาณสูงถึง 49 ล้านตัน ผลผลิตส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศ และมีการส่งเป็นสินค้าออกประมาณ 7.1 ล้านตัน (2) กล้วยหอมทอง *Musa* (AAA Group, Gros Michel) เป็นกล้วยชนิดหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมของตลาด ในปี ค.ศ.1991 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกกล้วยหอมทอง 57,728 ไร่ ผลผลิต 81,886 ตัน มีการส่งไปจำหน่ายในตลาดต่างประเทศประมาณ 162 ตัน แหล่งปลูกกล้วยหอมทองมีกระจายอยู่ทั่วไป แต่ที่ปลูกมากเป็นการค้าได้แก่จังหวัด นครปฐม กรุงเทพมหานคร ปทุมธานี ราชบุรี เพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร (3)

กล้วยจัดเป็นผลไม้ที่ให้คุณค่าทางอาหารสูง กล้วยหอมทองสุกจะมีรสหวาน เป็นอาหารที่ย่อยง่าย และมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับมันฝรั่ง แต่มีไขมันคลอเรสเตอรอลและเกลือแร่ต่ำ นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยไวตามิน ผู้ป่วยเป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหาร กล้วยสามารถลดแก๊สในกระเพาะอาหารได้ดี จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นอาหารของคนที่ลดความอ้วน(ตารางที่ 1)(4,5)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบและคุณค่าทางอาหารของเนื้อผลกล้วยหอมทองสุก 100 กรัม มีดังนี้(5)

ส่วนประกอบและคุณค่าทางอาหาร	ปริมาณ	
พลังงาน	88.00	แคลอรี่
น้ำ	74.80	กรัม
โปรตีน	1.20	"
ไขมัน	0.20	"
น้ำตาล	20.40	"
แป้ง	1.20	"
ขี้เถ้า	0.80	"
ไวตามินเอ	430.00	หน่วยสากล
ไทอามีน (ไวตามินบี 1)	0.04	มิลลิกรัม
โรโบฟลาวิน (ไวตามินบี 2)	0.05	"
ไนอะซิน	0.70	"
ไพริด็อกซิน (ไวตามินบี 6)	0.52	"
กรดแอสคอร์บิค (ไวตามินซี)	10.00	"
แคลเซียม	8.00	"
ฟอสฟอรัส	28.00	"
เหล็ก	0.60	"
โซเดียม	0.006-0.415	"
โปแตสเซียม	300-450	"
แมกนีเซียม	31.0-42.0	"
แมงกานีส	0.64-0.82	"
ทองแดง	0.16-0.21	"
กำมะถัน	130.0	"
คลอรีน	78.0-125	"
ไอโอดีน	0.02	"
สังกะสี	0.28	"

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจุบันการส่งออกกล้วยหอมทองมีแนวโน้มลดต่ำลงกว่าระยะที่ผ่านมา เนื่องจากคุณภาพผลผลิตต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากกล้วยหอมทองเป็นกล้วยที่มีเปลือกบาง และไม่เหนียว (4) ขณะที่กล้วยหอมทองสุกจะมีจะมีการสูญเสียความแน่นเปลือก เกิดการบอบช้ำผิวสัมผัสเสียและเกิดอาการหลุดจากก้านผล (Finger drop) ได้ง่าย (รูปที่ 1) (4,6) ลักษณะดังกล่าวทำให้คุณภาพทางการตลาดของกล้วยหอมทองลดลงไม่สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา ตลอดจนการวางจำหน่ายอีกด้วย

มีรายงานว่าการสูญเสียความแน่น เปลือกหรือผลมีสาเหตุสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสารประกอบที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ (7) ซึ่งองค์ประกอบของผนังเซลล์ในพืชใบเลี้ยงคู่ส่วนใหญ่ประกอบด้วย เซลลูโลสประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 30 เปอร์เซ็นต์ สารประกอบเพคติน (pectic substance) 35 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนอีกประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ (8) สารประกอบเพคตินเป็นส่วนประกอบในช่องระหว่างเซลล์ (middle lamella) และผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ (primary wall) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมยึด (cementing agent) ติดต่อกันของผนังเซลล์แต่ละเซลล์ให้คงรูปร่างเป็นเนื้อเยื่ออยู่ได้ (9,10) ในสภาวะที่ผลไม้ยังดิบอยู่สารประกอบเพคตินจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ(protopectin) เมื่อผลไม้สุกสารประกอบเพคตินจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ ทำให้เสียคุณสมบัติในการเชื่อมยึดผนังเซลล์ มีผลทำให้เซลล์หลุดออกจากกันเป็นเซลล์เดี่ยว ๆ มีการทดลองสนับสนุนว่าการที่สารประกอบเพคตินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ เป็นผลมาจากการทำงานร่วมกันของเอนไซม์ 2 ชนิด คือเพคตินเมธิลเอสเตอเรส (Pectin methylesterase, PME) และโพลีกาแลคทูโรเนส (Polygalacturonase) (11,12,13) นอกจากสารประกอบเพคตินที่พบในผนังเซลล์ของผลไม้ยังประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์ เมื่อเซลลูโลสถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) จะมีผลทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์ถูกทำลายลง ทำให้เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ (14) ได้เช่นเดียวกัน

Smith และคณะ (15) รายงานว่าการลดลงของปริมาณแป้งซึ่งมีมากในเนื้อเยื่อและเปลือกขณะดิบในกล้วยหลายพันธุ์ จะมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับการเกิดลักษณะการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อคือ เมื่อปริมาณแป้งลดลงการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อจะเพิ่มขึ้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1 ลักษณะการหลุดจากก้านผลของกล้วยหอมทองภายหลังการบ่มเป็นเวลา 7 วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสูญเสียความแน่นหรือความแข็งของผลไม้จะเกิดควบคู่กับกระบวนการสุก ผลกล้วยจัดเป็นผลไม้ที่มีลักษณะการสุกแบบ climacteric คือในขณะที่ผลกล้วยแก่แต่ยังไม่สุกจะมีการสังเคราะห์เอทธิลีนได้บ้าง ระดับของเอทธิลีนจะสูงมากขึ้นในขณะที่ผลกล้วยสุก การอบด้วยเอทธิลีนจากภายนอกเพื่อกระตุ้นการสุก จะมีผลทำให้กล้วยสุกเร็วกว่าผลกล้วยที่ไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยเอทธิลีน การยับยั้งการสร้างเอทธิลีนในผลไม้ไม่ว่าจะเป็นวิธีการใดก็ตามจะมีผลต่อการยับยั้ง กระบวนการสุกด้วยและจะพบเสมอว่าขณะที่ผลกล้วยอยู่ในสภาพดิบจะยังคงรักษาความแน่นหรือความแข็งของเนื้อเยื่อไว้ได้ ดังนั้นอิทธิพลของเอทธิลีนจึงน่าจะมีความสัมพันธ์กันกับการอ่อนตัวของกล้วยหอมทองด้วย (17)

การศึกษาถึงแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส แอลฟา อะมัยเลส (α - amylase) เพคตินเมทธิลเอสเตอเลส (pectin methylesterase) และการสร้างเอทธิลีน จะช่วยทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ในการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าว การสร้างเอทธิลีนต่อการเกิดลักษณะการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการหลุดของผลอย่างแท้จริง นอกจากนี้การศึกษาถึงสารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งปัจจัยต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการอ่อนตัวของเปลือกกล้วยหอมทอง อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาเรื่องการหลุดของผลได้

การตรวจเอกสาร

กล้วยเป็นผลไม้เขตร้อนมีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะบริเวณแถบแหลมมลายู แล้วแผ่กระจายไปตามเขตร้อนต่าง ๆ ของโลก (5) กล้วยที่เพาะปลูกเพื่อการบริโภคจัดอยู่ในตระกูล *Musaceae* สกุล *Musa* ซึ่งประกอบด้วยกล้วย 2 กลุ่ม คือ *acuminata* และ *balbisiana* กล้วยทั้ง 2 กลุ่มมีการผสมข้ามทำให้เกิดกล้วยพันธุ์ต่าง ๆ เพิ่มขึ้น มี โครโมโซม (chromosome) และ จีโนม (genome) แตกต่างกันไป เช่น AA, AB, AAA, ABB เป็นต้น สำหรับกล้วยหอมทอง *Musa* (AAA Group, Gros Michel) เป็นกล้วยที่มีโครโมโซม เป็น Triploid และ จีโนม แบบ AAA (16)

1.1 การสุกของผลไม้ (Fruit Ripening)

การสุกของผลไม้เป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกี่ยวกับสรีระและเคมี โดยที่กระบวนการสุกจะเกิดขึ้นภายหลังจากที่ผลไม้เจริญตัวขึ้น (maturity) ซึ่งอาจเกิดขึ้นขณะที่ผลอยู่บนต้นหรือภายหลังการเก็บเกี่ยวจากต้นแล้วก็ได้ การสุกของผลไม้เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาที่สมบูรณ์ของผลไม้ และเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถหวนกลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้อีก มีกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นควบคู่ไปในระหว่างการสุกของผลไม้มีมากมาย อาทิเช่น การเปลี่ยนแปลงการสังเคราะห์โปรตีนหรือเอนไซม์ การเปลี่ยนสี การหายใจ การเปลี่ยนแปลงกรดอินทรีย์ การเกิดกลิ่นการสลายตัวของแป้ง การสังเคราะห์น้ำตาล การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ และการสังเคราะห์เอทธิลีน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นมีทั้งที่เป็นการสร้าง (biosynthesis) และการสลาย (biodegradation) ลักษณะการสุกของผลไม้มี 2 ประเภท ได้แก่ผลไม้ที่มีการสุกแบบ non climacteric คือ ขณะที่ผลไม้เกิดกระบวนการสุก อัตราการหายใจ และการสร้างเอทธิลีนมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ผลไม้ที่มีการสุกลักษณะนี้เช่น ส้ม เงาะ องุ่น ลักษณะการสุกของผลไม้ประเภทที่ 2 คือ ผลไม้ที่มีการสุกแบบ climacteric ในระหว่างที่เกิดกระบวนการสุกแบบที่ 2 อัตราการหายใจและการสร้างเอทธิลีนจะค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งถึงสูงสุด (climacteric peak) หลังจากนั้นจะลดลง ผลไม้ที่มีลักษณะการสุกแบบนี้ เช่น กล้วย มะม่วง ทุเรียน ละมุด เป็นต้น (17)

1.2 การสุกของผลกล้วย

การสุกของผลกล้วยมีลักษณะเช่นเดียวกับผลไม้ที่มีการสุก แบบ climacteric โดยทั่วไปคือขณะที่ผลเริ่มสุกจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ระยะแรกของการสุกนี้เรียกว่า preclimacteric เริ่มต้นจากอัตราการหายใจจะเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งสูงสุด(climacteric peak) หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะลดลงซึ่งเรียกระยะของการสุกนี้ว่า post climacteric ระยะนี้กล้วยจะเริ่มสุกงอมและเสื่อมสภาพ (senescence) (5) ไปในที่สุด การผลิตเอทธิลีนของผลกล้วยในขณะเริ่มต้นสุกจะมีปริมาณต่ำและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อกล้วยสุกเต็มที่ หลังจากนั้นการสร้างเอทธิลีนจะลดลง การใช้เอทธิลีนจากภายนอก สามารถที่จะกระตุ้นให้ผลกล้วยเริ่มต้น

ผลิตเอทธิลีนขึ้นด้วยกระบวนการ autocatalytic producing system ได้ (18) เป็นการกระตุ้นให้ผลเริ่มต้นกระบวนการสุกโดยอัตโนมัติ

1.3 เอทธิลีนกับการสุกของผลไม้

เอทธิลีน(ethylene)เป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะเป็นแก๊สประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon) การที่เอทธิลีนมีสถานะเป็นแก๊สจึงสามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ง่าย ทำให้อิทธิพลต่อการพัฒนาของพืชค่อนข้างกว้าง หน้าที่สำคัญของเอทธิลีนคือการเร่งรัดอัตราการเสื่อมสภาพของพืช ในผลไม้เอทธิลีนจัดเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการสุก (ripening hormone) โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ที่มีลักษณะการสุกแบบ climacteric ซึ่งพบว่าในขณะสุกจะมีการสร้างเอทธิลีนเพิ่มมากขึ้นอย่างเด่นชัด และการให้เอทธิลีนจากภายนอกจะมีผลกระตุ้นการสังเคราะห์เอทธิลีนในเนื้อเยื่อผลไม้ทำให้ผลไม้สุกเร็วกว่าปกติส่วนผลไม้ที่มีลักษณะการสุกแบบ Non climacteric เอทธิลีนจากภายนอกจะไม่มีผลต่อการกระตุ้นการสังเคราะห์เอทธิลีนในเนื้อเยื่อของผลไม้และในระหว่างการสุกปริมาณการสังเคราะห์เอทธิลีนจะไม่เพิ่มสูงขึ้นเหมือนกับผลไม้ที่มีลักษณะการสุกแบบ climacteric และการใช้เอทธิลีนจากภายนอกจะมีผลต่อการกระตุ้นการสุกอย่างมาก (14) การทำลายหรือยับยั้งระบบการสังเคราะห์เอทธิลีนในผลไม้จึงมีผลทำให้การสุกเกิดขึ้นช้ากว่าปกติ

1.4 การสังเคราะห์เอทธิลีนในพืช

1.4.1 ระบบการสังเคราะห์เอทธิลีน

การสังเคราะห์เอทธิลีนในพืชไม่ว่าจะเป็นเนื้อเยื่อจากส่วนไหนก็ตามสามารถแบ่งระบบการสังเคราะห์ออกเป็น 3 ระบบ คือ

1.4.1.1 Autocatalytic ethylene producing system เป็นระบบการสังเคราะห์เอทธิลีนในผลไม้ที่มีลักษณะการสุกแบบ chimacteric และดอกไม้ทั่ว ๆ ไปซึ่งการอบผลไม้หรือดอกไม้บางชนิดด้วย เอทธิลีนหรือแกสบางชนิดที่ทำหน้าที่คล้าย

เอทธิลีน (ethylene analog) เช่น อะเซททิลีน(acetylene) และโพรพิลีน(propylene) สามารถชักนำให้ผลไม้หรือดอกไม้เหล่านี้ สังเคราะห์เอทธิลีนขึ้นด้วยระบบการสังเคราะห์เอทธิลีนของตัวเองได้

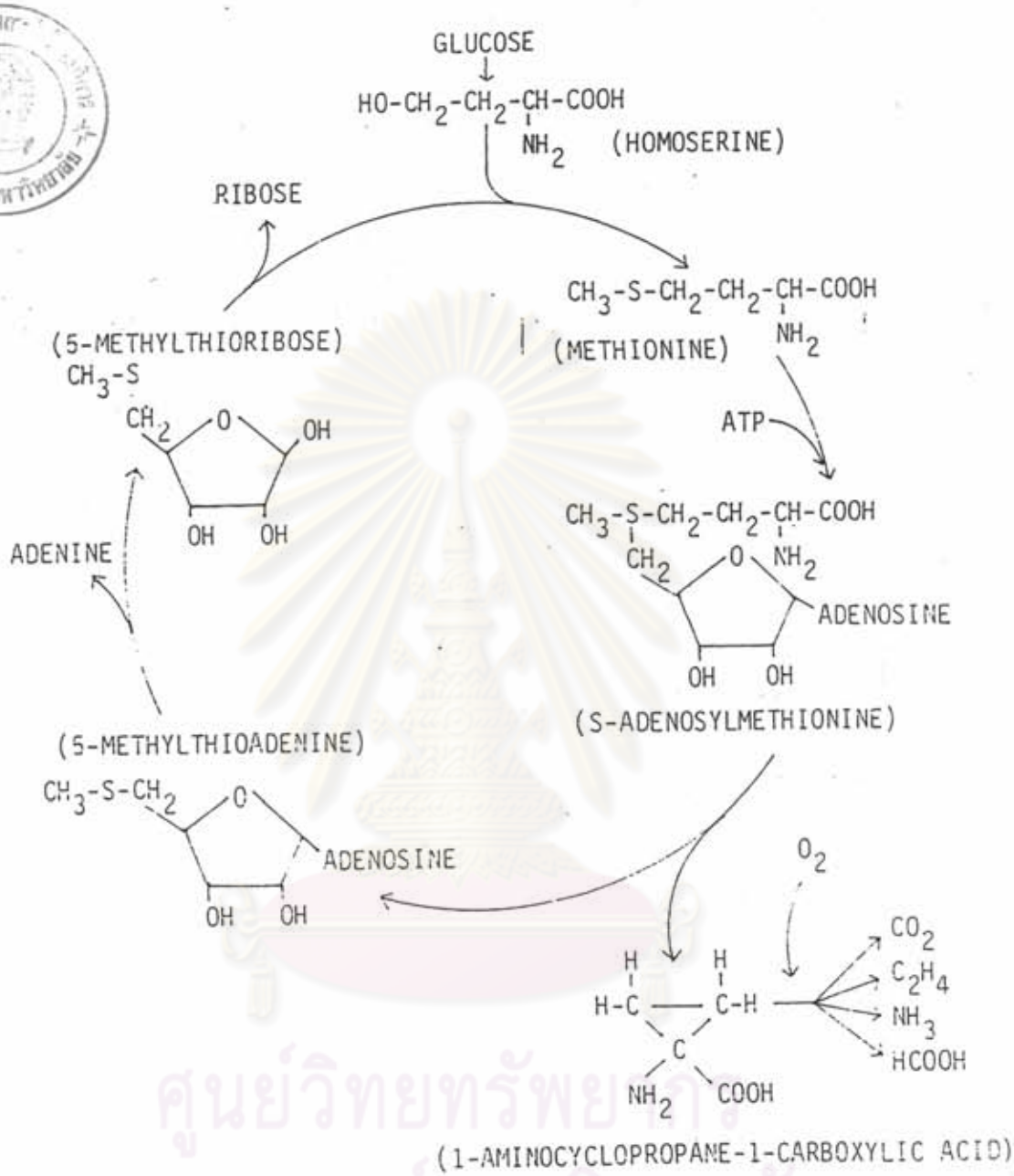
1.4.1.2 Non autocatalytic ethylene producing system เป็นระบบการสังเคราะห์เอทธิลีนในผลไม้ที่มีลักษณะการสุกแบบ non climacteric คือในระหว่างที่ผลไม้สุกการสังเคราะห์เอทธิลีนจะไม่เพิ่มขึ้น และการให้เอทธิลีนหรือแกสอื่นๆที่มีคุณสมบัติคล้ายเอทธิลีนไม่สามารถชักนำหรือกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์เอทธิลีนเพิ่มขึ้นได้

1.4.1.3 Ethylene stressed producing system เป็นระบบการสังเคราะห์เอทธิลีนที่เกิดขึ้นเมื่อเนื้อเยื่อของพืชได้รับอันตรายจากสภาวะต่าง ๆ เช่น บาดแผล การได้รับสารพิษ การเข้าทำลายของโรค แมลง การขาดน้ำ เหล่านี้เป็นต้น

1.4.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์เอทธิลีนในพืช

จากการศึกษากระบวนการสังเคราะห์เอทธิลีนโดยใช้สารกัมมันตรังสี (Radioactive) (รูปที่ 2) พบว่าสารตั้งต้นของการสังเคราะห์เอทธิลีนคือ เมทไธโอนีน (Methionine) โดยคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 4 ของเมทไธโอนีนเท่านั้นที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นโมเลกุลของเอทธิลีน ส่วนคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 เปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 เปลี่ยนไปเป็นกรดฟอมิค (HCOOH) และคาร์บอน ตำแหน่งที่ 5 (CH_3-S-) ยังคงอยู่ในเนื้อเยื่อพืชและจะหมุนเวียนกลับมาสังเคราะห์เมทไธโอนีนอีกครั้งได้ ส่วนหมู่อะมิโน (NH_2 -) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย (NH_3) (19)

ในการเปลี่ยนเมทไธโอนีนไปเป็นเอทธิลีนนั้น Adam และ Yang (20) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงโดยผ่านสารตัวกลาง 2 ตัว คือ S - Adenosyl Methionine SAM ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในรูปที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Active form) ของ เมทไธโอนีน เกิดขึ้นได้จากการเติม ATP ให้กับเมทไธโอนีนและถูกเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ Methionine adenosyl transferase จากนั้น SAM จะถูกเปลี่ยนเป็น 1-Aminocyclopropane-1-



รูปที่ 2 ขั้นตอนการสังเคราะห์เอทธิลีนในพืช จาก LIBBERMAN (20)

Carboxylic acid (ACC) โดยเอนไซม์ ACC synthase ปฏิกิริยาขั้นตอนสุดท้ายคือการเปลี่ยนแปลงจาก ACC ไปเป็นเอทธิลีน , คาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย ซึ่งเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ Ethylene Formation Enzyme (EFE) ในขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นในสภาวะที่บรรยากาศมีความเข้มข้นของออกซิเจนปกติ (รูปที่ 2)

1.4.3 การควบคุมการสังเคราะห์เอทธิลีน

การควบคุมการสังเคราะห์เอทธิลีนในพืชนั้น อยู่ที่ขั้นตอนการเปลี่ยนจาก SAM ไปเป็น ACC โดยเอ็นไซม์ ACC synthase ซึ่งมีรายงานว่าในขณะที่พืชมีการสังเคราะห์เอทธิลีนระดับต่ำ แอคติวิตีของ ACC synthase adenosyl transferase จะคงที่ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังพบว่าการให้ ACC จากภายนอกกับเนื้อเยื่อพืชสามารถเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์เอทธิลีนมากขึ้นได้ (21) การใช้สาร rhizobitoxine (L-2-amino-4-(2-amino-3-hydroxy-propoxy)-trans-3-butenoic acid) และ aminoethoxyvinyl glycine (L-2-amino-4-(2-aminoethoxy)-tran-3-butenoic acid) จะมีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACC synthase ทำให้ระดับการสังเคราะห์เอทธิลีนลดต่ำลง (22)

ในสภาวะที่บรรยากาศขาดออกซิเจน พืชจะไม่สามารถสังเคราะห์เอทธิลีนได้ เนื่องจากการเปลี่ยน ACC ไปเป็นเอทธิลีน โดยเอนไซม์ EFE จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมก็มีผลต่อการสังเคราะห์เอทธิลีน กล่าวคืออุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เอทธิลีนของพืชคืออุณหภูมิมีค่าประมาณ 30 เซลเซียส ดังนั้นในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้อาจมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์เอทธิลีนลดลงได้ (21)

1.4.4 เอทธิลีนกับการสุกของผลกล้วย

ขณะที่ผลกล้วยเจริญเติบโตจนกระทั่งผลแก่ (maturity) พบว่ามีการสังเคราะห์เอทธิลีนในระดับค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อผลกล้วยเริ่มสุกการสังเคราะห์เอทธิลีนจะเพิ่มสูงขึ้น (5) ในกล้วยพันธุ์ carvendish การให้เอทธิลีนความเข้มข้น 10 ppm นาน 7 ชั่วโมง

จะสามารถกระตุ้นการสังเคราะห์เอทธิลีนภายในผลกล้วยได้ และมีผลทำให้ผลกล้วยสุกเร็วกว่าปกติ (26) และการใช้สารเคมีบางชนิด เช่น เอทีฟอน (2-chloroethyl phosphonic acid), แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) จะมีผลกระตุ้นการสังเคราะห์เอทธิลีนในผลกล้วยด้วยเช่นกัน (18) จากการศึกษาของชาติชาย (24) พบว่าการใช้สารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ($KMnO_4$) เป็นตัวดูดซับเอทธิลีน ในระหว่างเก็บรักษาผลกล้วยไข่มีผลทำให้ปริมาณเอทธิลีนในภาชนะเก็บรักษาลดลง และเป็นวิธีการที่สามารถชลอการสุกในระหว่างเก็บรักษาได้

1.5 การอ่อนตัวของผลไม้

ปรากฏการณ์การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นควบคู่กับการสุกของผลไม้จะมีผลกระทบต่อคุณค่าและผลผลิตของผลไม้ มีรายงานว่าผลไม้หลายประเภทที่มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มในการบริโภคเช่น กล้วย ละมุด องุ่น มะม่วง ฯลฯ การอ่อนตัวของผลไม้ดังกล่าวจะทำให้เกิดลักษณะไม่พึงประสงค์ต่อการบริโภค ผลไม้ที่ต้องการความแน่น ความแข็งกรอบ เช่น พุทรา ฝรั่ง แอปเปิ้ล ฯลฯ การอ่อนตัวของเนื้อผลไม้เหล่านี้จะเป็นการสูญเสียคุณค่าด้านเนื้อสัมผัสทางการบริโภคที่สำคัญอย่างหนึ่ง การอ่อนตัวของผลไม้ที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกนี้จะมีผลกระทบต่อคุณภาพและผลผลิต ทั้งในขั้นตอน การขนส่ง การเก็บรักษาและการวางจำหน่าย กล่าวคือทำให้เกิดการบอบช้ำ ผิวสัมผัสเสีย สำหรับผลกล้วยหอมทอง ซึ่งเป็นกล้วยที่มีเปลือกบางและไม่เหนียว การอ่อนตัวของเปลือกที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุก จะทำให้เกิดการบอบช้ำ และขั้วผลหลุดได้ง่าย (4) ทำให้เสียคุณค่าทางการตลาด

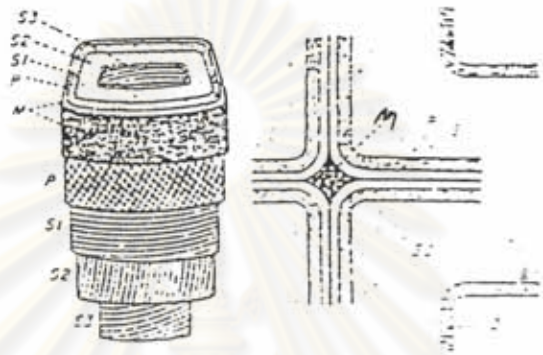
1.6 สาเหตุการอ่อนตัวของผลไม้

1.6.1 การสลายตัวของผนังเซลล์

เซลล์พืชประกอบด้วยผนังเซลล์หลายชั้นได้แก่ ผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ (primary wall) ซึ่งเป็นชั้นที่อยู่ด้านนอก ในส่วนของช่องว่างระหว่างเซลล์ที่ติดกันจะเชื่อมต่อกันด้วยสารประกอบเพคติดและลิกนิน ผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ (secondary wall) เป็นชั้นของผนังเซลล์ที่อยู่ล้อมรอบผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิประกอบด้วยผนังเซลล์ทุติยภูมิชั้นนอก ทุติยภูมิชั้นกลาง

และทุติยภูมิชั้นใน (รูปที่ 3) สารที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์ในแต่ละชั้นอาจกล่าวถึงได้โดยสังเขปดังนี้ ในช่องว่างระหว่างเซลล์จะมีสารประกอบเพคติน (pectin substance) และลิกนิน (Lignin) เป็นส่วนใหญ่ มีรายงานว่าสารประกอบเพคตินสามารถจะทำปฏิกิริยากับเกลือของแคลเซียมและแมกนีเซียมกลายเป็น สารพวกเพคเตท ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ (8) ผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิและทุติยภูมิประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งมีโมเลกุลเรียงตัวขนานกัน และจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของโมเลกุลหนึ่งกับออกซิเจนอะตอมที่อยู่ในริง (ring) ของโมเลกุลอื่นอย่างมีระเบียบมากในลักษณะที่เรียกว่า คริสตันไลน์ ไมเซล (crystalline micelles) ถ้าการเรียงตัวกันมีความเป็นระเบียบน้อยลงทำให้เกิดบริเวณที่เรียกว่า อสัณฐาน (amorphous region) ในแต่ละไมเซลประกอบด้วย โมเลกุลของเซลลูโลสประมาณ 100 โมเลกุล และมีรูปร่างเป็นริบบินหนา ไมเซลประมาณ 10-20 ไมเซลจะมาเรียงตัวเป็นโครงสร้างใหญ่ขึ้นเรียกว่า ไมโครไฟบริล (microfibril) ซึ่งอาจจะม้วนหรือพันไปมาตามแกนของเส้นใย (fiber) เซลลูโลสหรือม้วนพันกันเป็นเกลียวรอบแกนของเส้นใยเซลลูโลส (29) ผนังเซลล์ของพืชจะมีเซลลูโลสเรียงตัวจัดอยู่เป็นแถบๆ (discrete units) ไม่ติดต่อกันโดยตลอด แยกออกจากกันโดยช่องว่างและเมื่อเซลล์แก่เต็มที่ภายในช่องว่างจะประกอบด้วยลิกนิน ทำให้เซลลูโลสถูกหุ้มล้อมไว้ด้วยลิกนิน นอกจากนี้ยังมีโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่นอีกจำนวนมากที่ปะปนอยู่กับเซลลูโลสในผนังเซลล์พืช อาทิเช่น ไซแลน (xylan) แมนแนน (manan) โพลียูโรไนด์ (polyuronide) สำหรับพวกอะราแบน (araban) และกาแลคแตน (galactan) มักพบในปริมาณที่ต่ำกว่าเซลลูโลส (26) นอกจากนี้ผนังเซลล์ยังประกอบขึ้นด้วยสารจำพวกโปรตีน และไขมันอีกด้วย (27)

ดังกล่าวแล้วพิจารณาว่าหน้าที่หลักของสารประกอบเพคตินที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ คือช่วยยึดให้ผนังเซลล์ของแต่ละเซลล์ติดต่อกันและคงรูปร่างเป็นเนื้อเยื่อเพื่อทำหน้าที่ตามต้องการ (10,11) เซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิและทุติยภูมิจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงต่อเซลล์พืช (28) ดังนั้นการสลายตัวของสารประกอบเพคติน และเซลลูโลส จะมีผลต่อการสูญเสียโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่เซลล์และทำให้เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ



รูปที่ 3 การเรียงตัวของผนังเซลล์แต่ละชั้นในเซลล์พืช (35)

M = ชั้นบางส่วนกลาง , P = ผนังชั้นปฐมภูมิ

S_1= ผนังชั้นทุติยภูมิชั้นนอก , S_2= ผนังทุติยภูมิชั้นกลาง ,

S_3= ผนังทุติยภูมิชั้นใน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6.1.1 การสลายตัวของสารประกอบเพคติน

สารประกอบเพคตินเป็นคาร์โบไฮเดรท (carbohydrate) ชนิดโพลีแซคคาไรด์ (polysacharide) ซึ่งประกอบด้วยสารโพลีเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิค (galacturonic acid) สารประกอบเพคตินแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ กรดเพคติค (pectic acid) เพคติน (pectin) และโปรโตเพคติน (protopectin) ในโมเลกุลของกรดเพคติคจะประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิคประมาณ 100 โมเลกุล แต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันที่ตำแหน่งแอลฟา 1-4 (α-1,4) ส่วนเพคตินนั้นมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่ากรดเพคติค และที่หมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลคทูโรนิค จะขึ้นกับหมู่เมธิลด้วยพันธะเอสเตอร์ มีผลทำให้เพคตินมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ สำหรับโปรโตเพคตินมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำเช่นเดียวกันจะพบมากในผนังเซลล์ของพืชขณะนี้ยังอ่อนอยู่ (27) จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคตินของผลกล้วยพันธุ์ Emas ภายหลังการเก็บเกี่ยวของ Tan S.C. และ คณะ (29) พบว่าโปรโตเพคตินจะมีปริมาณลดลงขณะเก็บรักษา ส่วนกรดเพคติค และเพคตินจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อผลกล้วยสุก

การสลายตัวของสารประกอบเพกติน เกิดขึ้นโดยการทำงานของเอนไซม์ 2 ชนิด คือ เพคตินเมธิลเอสเตอเรสและโพลีกาแลคทูโรเนส โดยที่เอนไซม์เพคติน-เมธิลเอสเตอเรสจะทำหน้าที่ไฮโดรไลซีสพันธะเอสเตอร์แล้วย้ายหมู่เมธิลออกจากหมู่คาร์บอกซิลของโพลีเมอร์เพคติน ทำให้เพคตินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ ต่อจากนั้นเอนไซม์โพลีกาแลคทูโรเนส จะทำหน้าที่ตัดพันธะตรงตำแหน่งของ แอลฟา 1-4 ของกรดกาแลคทูโรนิค ทำให้โมเลกุลเล็กลง (12,13) ไปอีก

1.6.1.2 การสลายตัวของเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรท ชนิดโพลีแซคคาไรด์โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นสายของเบตา-ดี-กลูโคไพราโนส (β-D-glucopyranoses) เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะไกลโคซิดิค (glycosidic) ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่หนึ่งกับคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 4 ในโมเลกุลถัดไป สายของโมเลกุลเซลลูโลสมีขนาดต่าง ๆ กันตั้งแต่แกมมา-เซลลูโลส ซึ่งประกอบด้วย เบตา-ดี-กลูโคไพราโนส น้อยกว่า 15 หน่วย จนถึง

อัลฟา-เซลลูโลส ซึ่งประกอบด้วย เบตา-ดี-กลูโคไพราโนส ประมาณ 10,000-14,000 หน่วย น้ำหนักโมเลกุลมีค่าอยู่ระหว่าง 200,000-2,000,000 ดาลตัน แล้วแต่ชนิดของพืช (30)

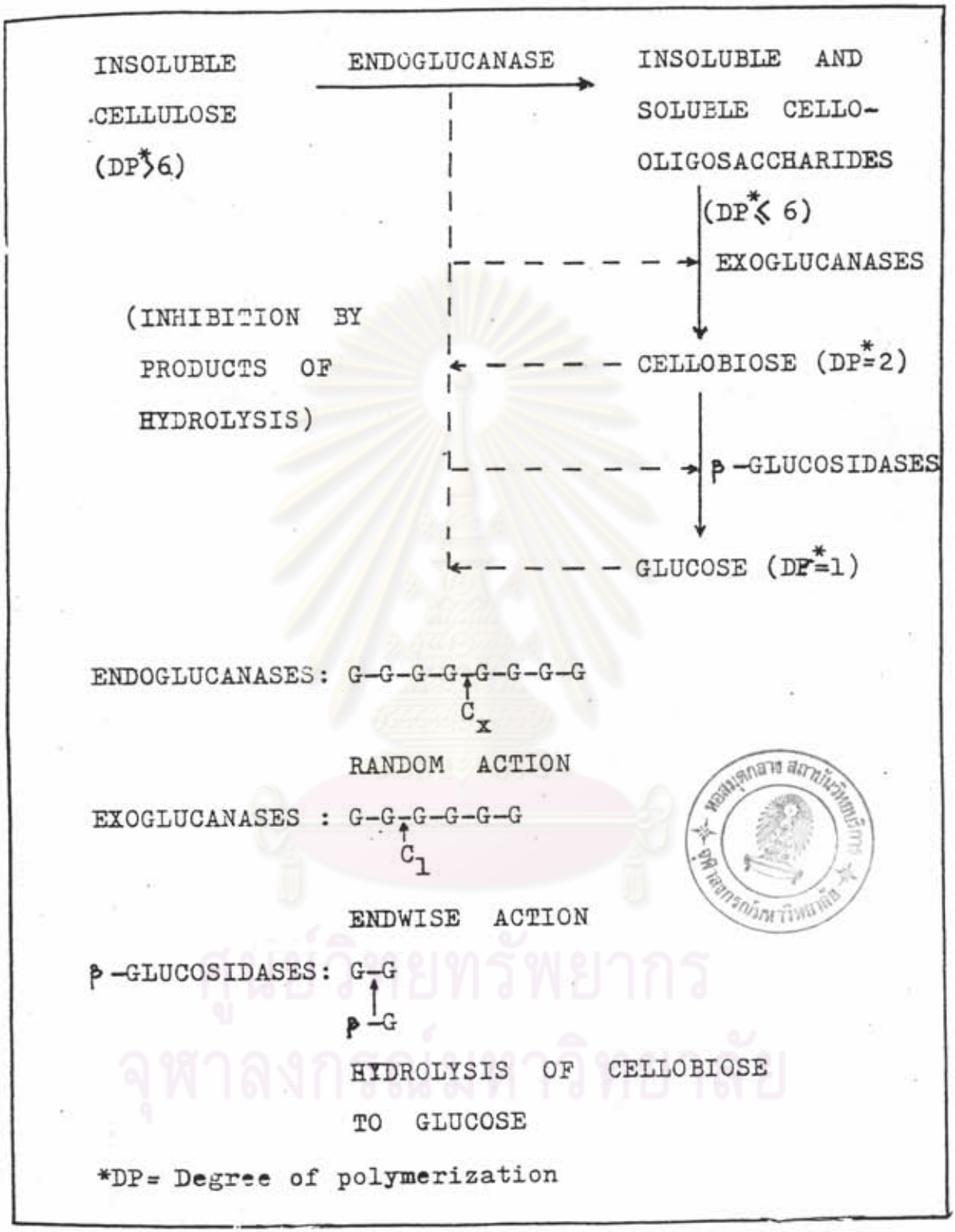
จากการศึกษาของ Tong และคณะ (31) พบว่าการสลายตัวของเซลลูเลสเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งเป็นมัลติคอมโปเนนท์เอนไซม์ (Multicomponent enzymes) มีองค์ประกอบของเอนไซม์อย่างน้อย 3 ส่วนทำงานร่วมกันคือ (รูปที่ 4)

1) C_1, เบตา-1,4-กลูแคน เซลโลไบโอไฮโดรเลส (β-1,4-glucan cellobiohydrolase) หรือเอกโซกลูคาเนส (exoglicanase, EC 3.2.1.74) ทำหน้าที่ไฮโดร์ไลซ์ สายโพลีเมอร์ของเซลลูโลสโดยเริ่มจาก ปลายด้านที่ไม่มีอำนาจรีดิวซ์ (NON-reducing end) ของสายเซลลูโลส

2) C_x, เบตา-1,4-กลูแคน กลูคาโนไฮโดรเลส (β-1,4-glucan glucanohydrolase) หรือเอนโดกลูคาเนส (endoglucanase,EC 3.2.1.1.4) ทำหน้าที่ตัดพันธะ β-1,4 ภายในสายเซลลูโลสตรงบริเวณโครงสร้างอะมอร์ฟัสอย่างสุ่ม (randomly acting) ทำให้ได้กลูโคส เซลโลไบโอส และโอลิโกเซลลูโลส (oligocellulose)

3) เบตา-กลูโคซิเดส (β-glucosidase) หรือเซลโลไบเอส (cellobiase, EC 3.2.1.12) ทำหน้าที่เปลี่ยนเซลโลไบโอสและโอลิโกเซลลูโลสไปเป็นกลูโคสซึ่งเป็นตัวส่งเสริมการทำงานของ C_1 และ C_2 การย่อยสลายเซลลูโลสจะได้กลูโคสมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเบตา-กลูโคซิเดสในเซลลูเลสจะมีมากหรือน้อย ดังนั้นเอนไซม์ตัวนี้เป็นกุญแจตัวสำคัญในการย่อยสลายเซลลูเลสเป็นน้ำตาลกลูโคส

018827



รูปที่ 4 ลำดับการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์เซลลูเลส (31)

1.6.2 การสลายตัวของแป้ง

แป้งเป็นสารคาร์โบไฮเดรทชนิดโพลีแซคคาไรด์ ที่พืชเก็บสะสมไว้ในแกรนูลซึ่งห่อหุ้มด้วยชั้นบางของโปรตีนโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คืออะมัยโลส (amylose) และอมัยโลเพคติน (amylopectin) โครงสร้างโมเลกุลของอะมัยโลสประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 200-1,000 โมเลกุล เชื่อมต่อกันเป็นสายตรงด้วยพันธะไกลโคซิดิค (glycocydic) แบบอัลฟาที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่หนึ่งกับคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 4 ในโมเลกุลถัดไป (β-1,4) สำหรับโครงสร้างโมเลกุลของอะมัยโลเพคตินประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 ถึง 2,000,000 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิค เช่นเดียวกับอะมัยโลส แต่จะมีการแตกสาขาโดยการเชื่อมต่อกันแบบอัลฟาที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 6 การแตกสาขาจะเกิดขึ้นเมื่อกลูโคสต่อกันยาวประมาณ 24-30 โมเลกุล (32) โดยทั่วไปพืชจะประกอบด้วยแป้งทั้ง 2 ชนิด โดยที่อัตราส่วนของอะมัยโลสและอะมัยโลเพคตินจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช เช่นในผลกล้วยหอมดิบจะมีปริมาณแป้งเฉลี่ยประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักผล โดยประกอบด้วย อะมัยโลส 20 เปอร์เซ็นต์ และ อะมัยโลเพคติน 80 เปอร์เซ็นต์ของแป้งทั้งหมด (33) เมื่อผลกล้วยสุกแป้งจะถูกไฮโดรไลซ์เปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลโดยที่กล้วยสุกจะเหลือแป้งอยู่ประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลซึ่งปกติมีอยู่ในกล้วยดิบ 1-2 เปอร์เซ็นต์อาจจะเพิ่มขึ้นได้สูง 15-20 เปอร์เซ็นต์ในกล้วยสุก (34)

เอนไซม์อะมัยเลสที่พบในธรรมชาติแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.แอลฟาอะมัยเลส (α-amylase) เป็นเอนไซม์ที่เจาะจงต่อการย่อยสลายพันธะไกลโคซิดิคของแป้งที่ตำแหน่ง แอลฟา-1,4 ในลักษณะตัดภายในสายโพลิเมอร์อย่างอิสระ (endosplitting amylase) ได้ผลผลิตเป็น glucan และ limit dextrin ที่มีหน่วยกลูโคสประมาณ 2-6 หน่วย และยังมี configuration เดิม (α-configuration)

2.เบตาอะมัยเลส (β-amylase) เป็นเอนไซม์ที่เจาะจงต่อการย่อยสลายพันธะไกลโคซิดิคของแป้งที่ตำแหน่ง แอลฟา-1,4 ในลักษณะตัดสายโพลิเมอร์อย่างเป็นระเบียบจากปลายด้านไม่มีหมู่รีดิวซ์เข้าสู่ภายในสายไปทีละ 1 หน่วยของมอลโตสหรือทีละ 2 หน่วยของ

กลูโคสและจะหยุดปฏิกิริยาที่พันธะที่มี แอลฟา-1,6 ดังนั้นผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาย่อยสลายแป้งจะเป็น glucan, limit dextrin และส่วนใหญ่เป็นมอลโตสที่มี configuration ต่างไปจากเดิมคือได้ β-maltose หรือ β-configuration

3.แกมมาอะมัยเลส (γ-amylase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายพันธะไม่ว่าจะเป็นพันธะไกลโคไลซีสที่เป็น α-1,4 , α-1,6 และ α-1,3 แต่จะช้ากว่า α-1,4 การตัดสายโพลิเมอร์จะเหมือนกับ เบตาอะมัยเลส แต่ตัดปลายสายเข้าไปทีละ 1 หน่วยของกลูโคส ดังนั้นผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นกลูโคสที่มี configuration ต่างไปจากเดิมคือ ได้ β-configuration หรือ β-glucose และส่วนของ glucan, limit dextrin

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.เพื่อศึกษาถึงผลของเอทธิลีนต่อการสูญเสียความแน่นเปลือก

2.เพื่อศึกษาถึงแอคติวิตีของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียความแน่นเปลือก ได้แก่ เซลลูโลส แอลฟาอะมัยเลส และเพคตินเมธิลเอสเตอเรส

3.เพื่อศึกษาถึงการใช้สารชนิดต่าง ๆ ที่มีผลยับยั้งการสูญเสียความแน่นเปลือก และการหลุดจากก้านผลของกล้วยหอมทอง

ขั้นตอนของงานวิจัย

1.การศึกษาถึงการสุกของผลกล้วยหอมทอง โดยการกระตุ้นการสุกด้วยการอบด้วยเอทธิลีนต่อการเปลี่ยนสีผิวของเปลือก การผลิตเอทธิลีนของกล้วยหอมทองทั้งผลกับการสูญเสียความแน่นเปลือก

2. ศึกษาถึงผลกระทบของสารที่ใช้ทาผลกล้วยหอมทองทั้งผล ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา คือการผลิตเอทธิลีนและความแน่นเปลือก

3. คัดเลือกสารที่ใช้ทาผลกล้วยหอมทองทั้งผลที่สามารถยับยั้งการผลิตเอทธิลีน และการสูญเสียความแน่นเปลือก เพื่อใช้ทาบริเวณก้านและเปลือกที่ติดอยู่กับก้านผล แล้วทำการศึกษาถึงผลกระทบของสารดังกล่าวต่อการเปลี่ยนแปลงดังนี้

3.1 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

- การเปลี่ยนสี

-การผลิตเอทธิลีน

-ความแน่นเปลือก

3.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี

-แอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส

-แอคติวิตีของเอนไซม์แอลฟาอะมัยเลส

-แอคติวิตีของเอนไซม์เพคตินเมธิลเอสเตอเรส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย