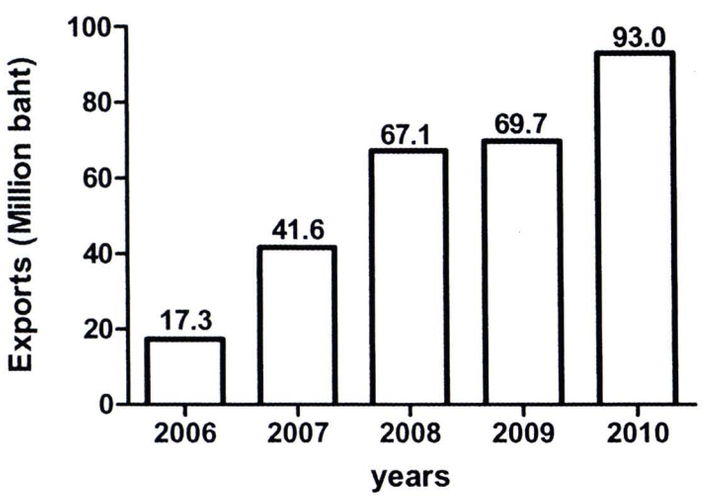
บทที่ 2 สำรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทั่วไปและความสำคัญ

เงาะ (rambutan) เป็นไม้ผลเขตร้อนชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nephelium lappaceum* L. อยู่ในลำดับ Spindales และ วงศ์ Sapindaceac ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับลำไย (longan) และลิ้นจี่ (lychee) เงาะมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศอินโดนีเซียและมาเลเซีย (Wills และคณะ, 1981) เงาะมีอายุนานหลายปี เจริญเติบได้ดีในสภาพอุณหภูมิระหว่าง 22-35 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำฝน 2,000-3,000 มิลลิเมตร/ปี มีการกระจายตัวของฝนสม่ำเสมอ สภาพพื้นที่มีความชื้นสูง 75-85 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องการสภาพแห้งแล้งก่อนการออกดอกติดต่อกัน 21-30 วัน ไม่ชอบสภาพหนาวเย็น ชอบดินร่วนเหนียว มีความอุดมสมบูรณ์สูง ค่าความกรด-ด่างของดิน 5.0-6.5 มีการระบายน้ำดี ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มปลูกจนเริ่มให้ผลผลิตมีอายุตั้งแต่ 4 ปีขึ้นไป เงาะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตั้งแต่ออกดอกจนผลแก่ใช้เวลาประมาณ 130-160 วันและเงาะนำมาทำประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น รับประทานสด เงาะแช่น้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ทำแยม ไขของเงาะสามารถนำมาทำเป็นสบู่และเทียนไขได้ นอกจากนี้รากและเปลือกของเงาะยังสามารถนำมาทำยาสมุนไพรได้ด้วย (กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร, 2553) เงาะจัดเป็นผลไม้เศรษฐกิจชนิดหนึ่งซึ่งมีมูลค่าการส่งออกที่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นในช่วง 5 ปีที่ผ่านมานี้ ซึ่งจะเห็นได้จากมูลค่าการส่งออกเงาะสดที่มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วง 5 ปีที่ผ่านมานี้ ดังรูปที่ 2.1 โดยในปี 2553 มีปริมาณการส่งออก 7,822 ตัน มูลค่าถึง 93.0 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) ประเทศคู่ค้าที่สำคัญได้แก่ มาเลเซีย ฮ่องกง และเวียดนาม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)



รูปที่ 2.1 สถิติการส่งออกเงาะผลสดประจำปี 2006 - 2010
ที่มา: ดัดแปลงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

เงาะจัดเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์ โดยคุณค่าทางอาหารของเนื้อเงาะ 100 กรัม (เฉพาะส่วนที่กินได้) มีดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีและวิตามินของเนื้อเงาะ

Proximates			**Minerals**		
Water	78.04	g	Calcium, Ca	22	mg
Energy	82	kcal	Iron, Fe	0.35	mg
Energy	343	kJ	Magnesium, Mg	7	mg
Protein	0.65	g	Phosphorus, P	9	mg
Total lipid (fat)	0.21	g	Potassium, K	42	mg
Ash	0.23	g	Sodium, Na	11	mg
Carbohydrate, by difference	20.87	g	Zinc, Zn	0.08	mg
Fiber, total dietary	0.9	g	Copper, Cu	0.066	mg
			Manganese, Mn	0.343	mg
Vitamins					
Vitamin C, total ascorbic acid	4.9	mg	Folate, DFE	8	mcg_DFE
Thiamin	0.013	mg	Vitamin B-12	0.00	mcg
Riboflavin	0.022	mg	Vitamin A, RAE	0	mcg_RAE
Niacin	1.352	mg	Retinol	0	mcg
Pantothenic acid	0.018	mg	Carotene, beta	2	mcg
Vitamin B-6	0.020	mg	Carotene, alpha	0	mcg
Folate, total	8	mcg	Cryptoxanthin, beta	0	mcg
Folic acid	0	mcg	Vitamin A, IU	3	IU
Folate, food	8	mcg			

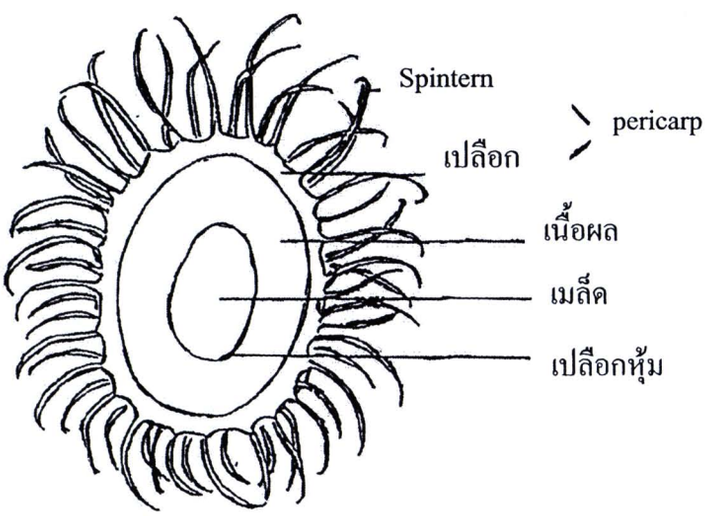
ที่มา: ดัดแปลงจาก USDA National Nutrient Database, Release 23 (2010)

2.2 แหล่งเพาะปลูกในประเทศไทย

แหล่งเพาะปลูกเงาะที่สำคัญ 5 อันดับแรกได้แก่ จันทบุรี ตราด นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และนราธิวาส ซึ่งคิดเป็น 87.73 เปอร์เซ็นต์ ของเนื้อที่เพาะปลูกเงาะทั้งหมดในประเทศไทย และให้ผลผลิตคิดเป็น 85.33 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตเงาะทั้งประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)

2.3 พันธุ์เงาะและลักษณะประจำพันธุ์ของเงาะในประเทศไทย

ผลเงาะมีลักษณะค่อนข้างกลมรี มีสีต่างๆ เช่น เหลือง แดง เป็นต้น ขนาดของผลไม่ใหญ่มากนัก มีความยาวประมาณ 3.5 - 8 เซนติเมตร บริเวณรอบๆ ของผลจะมีขนยาวบ้างสั้นบ้างขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความยาวของขนเงาะประมาณ 0.5 - 1.8 เซนติเมตร มีสีเดียวกับสีของผิวผล เปลือกหนาพอสมควร เนื้อในของเงาะจะอ่อนนุ่ม สีขาวใสหรืออมเหลืองอ่อน มีกลิ่นเฉพาะตัว รสหวาน หวานอมเปรี้ยว หรือเปรี้ยวอมหวานแตกต่างกันไปตามพันธุ์ เมล็ดมีลักษณะแบนยาวรีสีน้ำตาลอ่อน บางพันธุ์เมล็ดติดแน่นกับเนื้อแต่บางพันธุ์เมล็ดล่อน (กรมวิชาการเกษตร, 2531) เงาะสายพันธุ์ต่างๆ ที่สำคัญในประเทศไทยแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางโครงสร้างเงาะ

ที่มา : Landrigan (1996)

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบลักษณะของเงาะพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์เงาะ	ลักษณะผลและเมล็ด	เนื้อผลและรสชาติ
สีนวล	ผลขนาดใหญ่ ยาวรี สีเหลืองนวลอมแดงเรื่อๆ คล้ายสีชมพูอ่อนๆ ขนยาวสีเขียวนวล ไม่ถี่มากนัก เปลือกของผลอ่อนบาง เมล็ดยาวมากและเรียวจากฐานมาทางหัว มีเยื่อหุ้มเมล็ดหนามาก	เนื้อหนา สีขาวขุ่น กรอบล่อน รสชาติหวาน
สีชมพู	ผลขนาดกลางค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักเฉลี่ยผลละ 37.12 กรัม ผลที่ยังไม่แก่จัดจะเป็นสีเหลือง เมื่อผลแก่เต็มที่จะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมเหลือง ผิวเป็นมันสดใส มีขนยาว แต่เปลือกและขนอ่อนบอบช้ำได้ง่ายไม่ทนต่อการขนส่งและยังอ่อนแอต่อโรคราแป้ง	เนื้อผลมีลักษณะแห้งไม่แฉะ ล่อน รสชาติหวานกรอบ

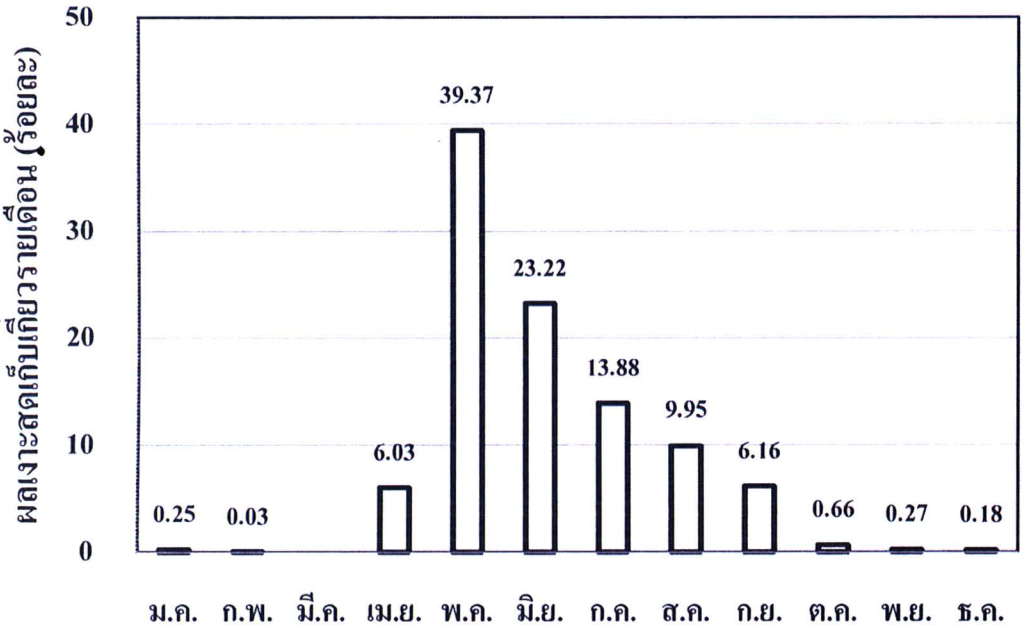
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบลักษณะของเงาะพันธุ์ต่างๆ (ต่อ)

พันธุ์เงาะ	ลักษณะผลและเมล็ด	เนื้อผลและรสชาติ
บางยี่ขัน	ผลขนาดใหญ่ค่อนข้างยาวแบน ด้านหัวและท้ายกว้างเกือบเท่ากัน มีโหนกใกล้ขั้วผล จำนวนผลต่อต้นน้อย ขนมีลักษณะเรียวเล็กสั้น สีแดงหรือเหลืองที่โคนและเขียวที่ปลายเมล็ดยาวรีจากท้ายถึงหัว ค่อนข้างแบน	เนื้อมีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ไม่แฉะแต่ไม่กรอบ
โรงเรียน	เงาะโรงเรียนหรือเงาะนาสาร เพราะถิ่นกำเนิดอยู่ในอำเภอนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นเงาะที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเนื่องจากมีคุณภาพดี ผลแก่เต็มที่มีสีแดงสด ขนบริเวณโคนมีสีแดงและที่ปลายมีสีเขียว เปลือกผลบาง ข้อเสียของเงาะพันธุ์โรงเรียนคือไม่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ หากขาดน้ำในช่วงติดผลอ่อนจะทำให้ผลแตกและร่วงหล่นเสียหายมากกว่าพันธุ์สีชมพู	เนื้อผลหนาแห้ง ไม่เละล่อนจากเมล็ด และมีรสชาติหวานอร่อย
ทองเมืองตราด	มีลักษณะคล้ายกับเงาะพันธุ์บางยี่ขันผสมกับเงาะพันธุ์โรงเรียน คือ ผลมีผิวสีเหลืองคล้ายกับเงาะพันธุ์บางยี่ขัน แต่ขนสีเขียว สำหรับเปลือกผลมีความหนา ทำให้ไม่เกิดผลแตก เมื่อผลแก่เปลือกจะไม่ดำ ผิวจะไม่มีแมลงเข้าทำลายเหมือนเงาะโรงเรียน และโดยทั่วไปผลเงาะค่อนข้างกลมรี มีสีผิวเปลือกต่างกัน เช่น เหลือง แดง เหลืองปนแดง เป็นต้น สำหรับเงาะพันธุ์ทองเมืองตราดเป็นเงาะที่ให้ผลผลิตช้ากว่าเงาะพันธุ์โรงเรียนเพราะเข้าสีช้ากว่าเงาะพันธุ์โรงเรียนประมาณครึ่งเดือน	ความล่อนของเนื้อผลคล้ายกับเงาะพันธุ์โรงเรียนคือผลเริ่มหวานตั้งแต่ยังมีสีเขียวความหวาน 19.4°Brix พอเริ่มเข้าสีจะหวานเท่ากับเงาะโรงเรียนคือ 19.5-19.6°Brix

ที่มา: ดัดแปลงจากพันธุ์พืชขึ้นทะเบียน (2545)

2.4 ดัชนีการเก็บเกี่ยวผลและวิธีการเก็บเกี่ยวเงาะ

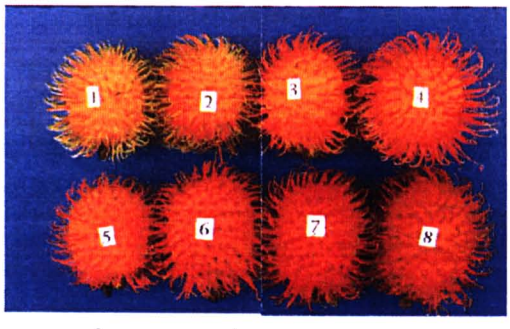
การเก็บเกี่ยวเงาะในภาคตะวันออกจะเก็บเกี่ยวประมาณปลายเดือนเมษายนถึงกรกฎาคม ผลผลิตออกมากที่สุดประมาณเดือนมิถุนายน ส่วนเงาะจากภาคใต้สามารถเก็บเกี่ยวผลได้ในเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน นอกจากนี้ในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม และเดือนตุลาคมยังสามารถเก็บเกี่ยวผลเงาะได้ในปริมาณไม่มากนัก ดังรูปที่ 2.3



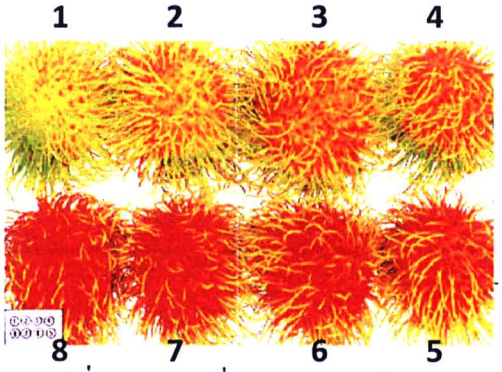
รูปที่ 2.3 ปริมาณผลผลิตเงาะเก็บเกี่ยวรายเดือนประจำปี 2553
ที่มา: ดัดแปลงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553)

สำหรับดัชนีในการเก็บเกี่ยวเงาะในประเทศไทยนั้นสามารถสังเกตได้หลายวิธีดังนี้

1. นับจำนวนวันหลังจากเงาะออกดอก จนผลแก่ใช้เวลาประมาณ 130-160 วัน (กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร, 2553)
2. การสังเกตระยะการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีขนของผลเงาะ (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2531) โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 8 ระยะตามอายุของผลเงาะ เช่น ผลเงาะสีชมพูวัยต่างๆกัน (ตารางที่ 2.3 รูปที่ 2.4 และ รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของเงาะพันธุ์สีชมพูในระยะต่างๆ
ที่มา: สมคิด โพธิ์พันธุ์ (2553)



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของเงาะพันธุ์โรงเรียนในระยะต่างๆ
ที่มา: สมคิด โพธิ์พันธุ์ (2553)

ตารางที่ 2.3 ลักษณะการเปลี่ยนสีตามระยะของผลเงาะพันธุ์สีชมพูและพันธุ์โรงเรียน

ระยะที่	ลักษณะของผลเงาะพันธุ์สีชมพู
1	ผลเงาะเริ่มเปลี่ยนสีได้ 10 วัน
2	ผลเงาะเริ่มเปลี่ยนสีได้ 13 วัน ระยะที่ 1 และ 2 นั้นเป็นผลเงาะที่มีคุณภาพด้อย
3	ผลเงาะที่หลังจากเริ่มเปลี่ยนสีได้ 16 วัน ผลเงาะที่มีคุณภาพดี
4 - 5	ผลเงาะที่หลังจากเริ่มเปลี่ยนสีได้ 19 วันและ 22 วัน ผลเงาะที่มีคุณภาพดีมากทั้งสีและรสชาติ สีผลไม่เปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น
6 - 7	ผลเงาะมีคุณภาพดีมาก เหมาะสำหรับตลาดภายในประเทศ ไม่เหมาะสำหรับการส่งออก
8	สีของผลจะเป็นสีแดงคล้ำ มีรสหวานมาก
ระยะที่	ลักษณะของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน
1 - 2	ผลเงาะมีสีเขียวในปริมาณมาก และคุณภาพด้อย
3 - 7	สีของผลเงาะเป็นสีเหลืองแดงถึงสีแดงส้ม ซึ่งเป็นระยะที่ผลเงาะมีรสชาติอร่อย อาจจะอนุมานได้ว่าเงาะโรงเรียนที่น่าจะส่งออก ควรเป็นผลที่ 3 ถึง 6 ทั้งนี้แล้วแต่ความต้องการของตลาดด้วย
8	ผลเงาะมีสีแดงคล้ำ มีรสหวานมาก ไม่เหมาะสำหรับการส่งออกไปต่างประเทศ

ที่มา: ดัดแปลงจาก สุรพงษ์ โกสิยะจินดา (2531) และ สมคิด โพธิ์พันธุ์ (2553)

3. องค์ประกอบทางเคมีของผลเงาะ

ผลเงาะในระหว่างการเจริญพัฒนามีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เมื่อเข้าสู่ระยะสุกแก่ มีปริมาณ Total soluble solids, Titratable acidity และ pH ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของผลเงาะ

องค์ประกอบทางเคมี	เงาะพันธุ์โรงเรียน	เงาะพันธุ์สีชมพู
Total soluble solids	20 เปอร์เซ็นต์	19 เปอร์เซ็นต์
Titratable acidity	0.3 เปอร์เซ็นต์	0.18 เปอร์เซ็นต์
pH	4.26	4.5

ที่มา: ดัดแปลงจาก Lam และ Kosiyachinda (1987)

วิธีการเก็บเกี่ยวผลผลิตควรใช้กรรไกร ตัดแต่งผลให้หล่นในตะกร้ารองรับหรือมีตาข่ายรองรับผลไม่ช้ำ และกิ่งสามารถแตกใหม่ได้เร็ว ไม่ควรใช้มือหัก ถ้าเงาะอยู่สูงควรใช้บันไดปีนเก็บ ไม่ควรใช้ไม้ไผ่ที่มีมีดขอกระชากให้หล่นลงพื้น เพราะถึงแม้ผลจะไม่ช้ำเนื่องจากมีขนรองรับอยู่ แต่ก็จะทำให้ขนช้ำเปลี่ยนเป็นสีดำไม่สวยงาม (จิรา ณ หนองคาย, 2531) สำหรับการปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว

หลังจากเก็บเกี่ยวเงาะจากต้นแล้วให้รีบนำมาไว้ที่ร่มโดยเร็ว และตัดแต่งช่อเงาะให้เป็นผลเดี่ยวๆ โดยตัดก้านให้ชิดผล คัดผลที่มีลักษณะไม่ดี เช่น เจริญเติบโตไม่เต็มที่ มีรอยช้ำ รอยแตก หรือรอยแผล และรอยตำหนิจากการทำลายของโรคและแมลงออกให้หมด แล้วบรรจุภาชนะเพื่อจำหน่ายต่อไป (กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร, 2553)

2.5 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยว

เงาะภายหลังจากเก็บเกี่ยวเงาะแล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีอายุไม่เกิน 3-4 วัน สาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลเงาะที่อุณหภูมิห้องมีอายุการวางขายสั้น คือเปลือกแห้ง ขนของผลเงาะเป็นสีดำอย่างรวดเร็ว (สุรพงษ์ โกสิยะจินดา, 2532) เพราะเปลือกและขนของเงาะเป็นส่วนที่อวบน้ำ และมีโครงสร้างของผิวเปลือกด้านนอกที่คล้ายกับ Trichome ที่เรียกว่า Spintern ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่เจริญมาจากชั้นของ Epidermis มาเป็นขนของเงาะ ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการคายน้ำออกจากผลิตผลได้เป็นอย่างดี (จริง แท้ ศิริพานิช, 2549) นอกจากนี้ขนเงาะจะมีปากใบมากกว่าผิวผลถึง 5 เท่า จึงทำให้ผลสูญเสียน้ำจากขนได้มากขึ้น (ประกายดาว ยิ่งสง่า, 2008) ขนเงาะที่มีการสูญเสียน้ำออกไปจะมีการดึงน้ำออกจากส่วนเปลือกมาแทนที่เพราะระบบท่อลำเลียงน้ำและอาหารของขนและเปลือกต่อเนื่องกัน แต่ไม่เชื่อมต่อกันกับส่วนเนื้อ (Landrigan, 1996) โดยลักษณะที่สังเกตได้ คือ การเปลี่ยนแปลงของสีขนไปเป็นสีน้ำตาล โดยเริ่มเกิดจากส่วนปลายขนไปสู่ส่วนของโคนขน (อรษา แกล้วเกษตรกรณ์, 2536) การสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะโครงสร้างของพืช สารเคลือบผิว รอยแผล อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนที่ของอากาศและความดันบรรยากาศ (สายชล เกตุษา, 2538) ยศวดี สมบูรณ์ (2527) รายงานว่า ถ้าเก็บรักษาผลเงาะไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ผลเงาะยังคงสภาพเหมาะแก่การขายได้นานถึง 9 วัน และกรมส่งเสริมการเกษตร (2534) แนะนำการเก็บรักษาเงาะที่เหมาะสมคืออุณหภูมิประมาณ 12-13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ จะเก็บรักษาผลเงาะสดได้นาน 14 วัน

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

ภายใต้ภาวะที่ส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียความชื้น ทำให้เปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ในกรณีเงาะพันธุ์ 'Jit Lee' เมื่อแช่เย็นมีการเปลี่ยนแปลงสีจากแดงเป็นน้ำตาลแดง และน้ำตาล ระหว่างเกิด chilling injury ปริมาณแอนโทไซยานินยังคงที่ แต่ pigments เปลี่ยนรูปเป็นไม่มีสี ขณะเดียวกัน epidermal cell เริ่มพัฒนาการเกิดสีน้ำตาล ขึ้นกับปริมาณแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในเนื้อเหยื่อ (O' Hare และคณะ, 1994) การเกิดสีน้ำตาลของผักและผลไม้เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) และพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ของสารประกอบประเภทฟีนอลิก โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องคือ ฟีนิลอนานิน แอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonia-lyase, PAL), พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase,

PPO) และ เปอร์ออกซิเดส (peroxidase, POD) (Maneenuam และคณะ, 2007) โดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจะกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอล (phenol) ให้เปลี่ยนไปเป็นควิโนน (quinone) จากนั้นควิโนนจะรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่กลายเป็นสารสีน้ำตาลเรียกรวมๆว่าเมลานิน (melanin) โดยปกติในพืชเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส อยู่ในคลอโรพลาสต์หรือในพลาสทิดอื่นๆ แยกต่างหากจากสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นสารตั้งต้นและสะสมอยู่ภายในแวคิวโอล เมื่อเซลล์พืชถูกทำลายลง เอนไซม์และสารตั้งต้นจึงมีโอกาสสัมผัสกันและเกิดปฏิกิริยา นอกจากการเกิดสีน้ำตาลสามารถเกิดขึ้นจากการเข้าทำลายของสัตว์หรือการเกิดบาดแผลเนื่องจากปัจจัยตามธรรมชาติแล้ว การเกิดสีน้ำตาลอาจเกิดขึ้นภายในพืชได้ นอกจากนี้การเกิดสีน้ำตาลยังอาจเกิดขึ้นได้ในสภาพอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป เช่น การเก็บรักษาผลสับปะรดที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury, CI) การเก็บรักษารักษาผลไม้ชนิดต่างๆ ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำเกินไป หรือคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไปก็อาจก่อให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะในสภาพดังกล่าวไม่เอื้ออำนวยต่อการมีชีวิตของเซลล์ ทำให้ในที่สุดเซลล์ของพืชตายลง ส่งผลให้เยื่อหุ้มต่างๆ เสื่อมคุณภาพ เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจึงมีโอกาสสัมผัสกับสารประกอบฟีนอลและเกิดปฏิกิริยาก่อให้เกิดสารสีน้ำตาลในทำนองเดียวกัน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) อีกทั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสที่อยู่ในเซลล์จะเพิ่มมากขึ้นในขณะผลสุก (Adams, 1991) จากการศึกษาของ ประกายดาว ยิ่งสง่า (2552) รายงานว่าบริเวณขนของเงาะพบกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส และเปอร์ออกซิเดสเกิดขึ้นสูงกว่าบริเวณผิวเปลือก ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้ขนเงาะเกิดสีน้ำตาลในอัตราที่สูงกว่า

2.5.2 การหายใจ

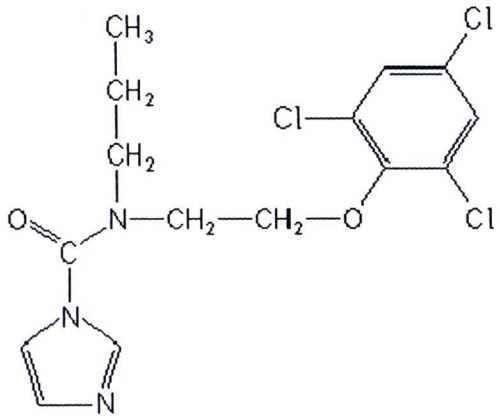
เงาะจัดเป็นผลไม้ในกลุ่ม non-climacteric fruit หลังการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจลดลงเรื่อยๆ (Lam และ Kosiyachinda, 1987) McLauchlan และคณะ (1994) รายงานว่า ที่อุณหภูมิ 0-20 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจของเงาะพันธุ์ Jit Lee ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะ เวลา 7 วันแรก และผลเงาะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจสูงขึ้นภายหลังจากวันที่ 7 ของการเก็บรักษา เนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคในขณะที่ Lam และ Kosiyachinda (1987) รายงานว่า เงาะพันธุ์โรงเรียน เงาะพันธุ์สีชมพู และเงาะพันธุ์ Seematjan มีอัตราการหายใจสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยการหายใจนี้มีความเกี่ยวข้องกับการแห้งเหี่ยวและการเกิดสีน้ำตาลของผล

2.5.3 การผลิตเอทิลีน

เงาะเป็นผลไม้ที่มีการผลิตเอทิลีนในระดับต่ำ ภายหลังการเก็บเกี่ยวเงาะผลิตเอทิลีนได้น้อยกว่า 0.04 µl/kg.hr อย่างไรก็ตามเงาะจะผลิตเอทิลีนได้สูงถึง 2-3 µl/kg.hr เนื่องมาจากการเข้าทำลายของเชื้อราที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อเงาะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เมื่อได้รับแก๊สเอทิลีนจากภายนอกปริมาณ 5 µl/kg.hr พบว่าไม่มีผลต่อการชราภาพของเงาะอย่างมีนัยสำคัญ (O'Hare และคณะ, 1994) ส่วน Lam และ Kosiyachinda (1987) รายงานว่า ในสภาวะที่เงาะผลิตเอทิลีนได้ในระดับปานกลางถึงสูงนั้น เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเกิดการแห้งเหี่ยวที่ผิวเปลือกและภายหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะที่อุณหภูมิสูง 26-32 องศาเซลเซียส การกระตุ้นทางกายภาพหรือการกระทบกระเทือนทำให้เกิดบาดแผลบนผลผลิตทำให้มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงขึ้น เช่น มันฝรั่ง แครอท แคนตาลูปและผัดกาด ซึ่งเอทิลีนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น เร่งให้เข้าสู่ความชราภาพ เร่งอัตราการหายใจให้เพิ่มสูงขึ้น กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์และทำเกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ (Reyes, 1996)

2.5.4 การเกิดโรค

ปัญหาหลักที่ทำให้ผลเงาะมีอายุการเก็บรักษาสั้น คือ การเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว (Ratanachinakorn และคณะ, 2003) โดยเชื้อราสาเหตุโรคผลเน่าระยะหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะที่สำคัญคือ *Colletotrichum* spp. *Lasiodiplodia* spp. *Gliocephalotrichum* spp. *Phomopsis* spp. และ *Phytophthora* spp. เชื้อราจะเข้าสู่พืชตั้งแต่ระยะแทงดอก แต่จะแสดงออกในระยะหลังการเก็บเกี่ยว โดยอาการที่แสดงออกจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อสาเหตุโรค ได้แก่ ผลเน่าสีน้ำตาลขอบแผลไม่ชัดเจน ผลเน่าสีน้ำตาลเริ่มจากขั้วผล ผลเน่าเป็นจุดสีดำขยายใหญ่ขึ้น ผลเน่าสีน้ำตาลไม่ปรากฏเส้นใยบนผลและผลเน่าสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ใน 2-3 วัน มีกลุ่มเส้นใยสีขาว ตามลำดับ (O'Hare, 1995) โรคผลเน่าระยะหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาผลเงาะได้นานจึงมีผลกระทบต่อการส่งออกอย่างมาก (นิพนธ์ วิสารทานนท์, 2542) การใช้สารเคมีเป็นวิธีการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคหลังการเก็บเกี่ยวได้ เช่น โพรคลอราซ (Prochloraz)



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของโพรคลอราซ

ที่มา: http://www.chinese-pesticide.com/fungicides/prochloraz.htm

โพรคลอราซมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราโดยสามารถยับยั้งการสังเคราะห์ ergosterol และสามารถระงับสปอร์ (antisporulant) ของเชื้อสาเหตุโรคได้ โพรคลอราซสามารถควบคุมเชื้อราได้เท่าๆ กับอิมาซาลีล สามารถใช้ควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อรา *Penicllium* ได้ดีเท่ากับบีโนมีลและอิมาซาลีส นอกจากนี้ยังใช้ควบคุมเชื้อรา *Penicllium* ที่ต้านทานต่อสารเคมีชนิดอื่น โดยใช้ความเข้มข้น 250 - 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังใช้ในการระงับสปอร์ของ *Penicllium* ได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่ากับบีโนมีลและอิมาซาลีส สารเคมีโพรคลอราซช่วยควบคุมโรคเน่าที่เกิดจาก *Alternaria* ได้ปานกลาง (ดนัย บุณยเกียรติ, 2549) นอกจากนี้ยังสามรถควบคุมโรคเน่า (anthracnose) และ โรคขั้วผลเน่า (stem-end rot) ของมะละกอและมะม่วง และควบคุมโรคเน่าจากเชื้อรา *Fusarium* และ *Geotrichum* และ *Rhizopus* ใน muskmelon (ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์, 2553)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 247711
เลขเรียกหนังสือ

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อชะลอการเสื่อมสภาพของผลเงาะ

2.6.1 การใช้อุณหภูมิต่ำ การใช้อุณหภูมิต่ำทั้งในกระบวนการ pre-cooling และการเก็บรักษา โดยการลดอุณหภูมิ (pre-cooling) มีความจำเป็นต่อผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเนื่องจากความร้อนมีผลในการกระตุ้นการเสื่อมสภาพของผลผลิตภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น กระตุ้นการหายใจ การผลิตก๊าซเอทิลีน และการสูญเสียน้ำ การลดอุณหภูมิมีหลายวิธี อย่างไรก็ตามพบว่าการลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำเย็น (hydro-cooling) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการลดอุณหภูมิ เนื่องมาจากน้ำเป็นตัวกลางในการนำความร้อนได้ดีที่สุด ซึ่งได้มาใช้กับผลผลิตหลายชนิด เช่น ข้าวโพดหวาน บร็อคโคลี จากการศึกษาของ Nampan และคณะ (2006) พบว่าการทำ hydro-cooling ผลเงาะพันธุ์โรงเรียนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถรักษาคุณภาพได้ดีกว่าการทำ hydro-cooling ที่อุณหภูมิ 2 และ 5 องศาเซลเซียส

สำหรับการใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษา ทำให้กระบวนการต่างๆ ทางชีวภาพช้าลง เช่น การลดการหายใจ ชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส และลดการสูญเสียวิตามินซี นอกจากนี้ยังชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และถ้าอุณหภูมิต่ำเพียงพอจะสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อราได้ อุณหภูมิสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผลไม้จำพวก non-climacteric fruit แต่สำหรับพวก climacteric fruit สามารถชะลอการสุกได้ นอกจากนี้ยังลดการตอบสนองของเนื้อเยื่อต่อก๊าซเอทิลีน (Wills และคณะ,1981)

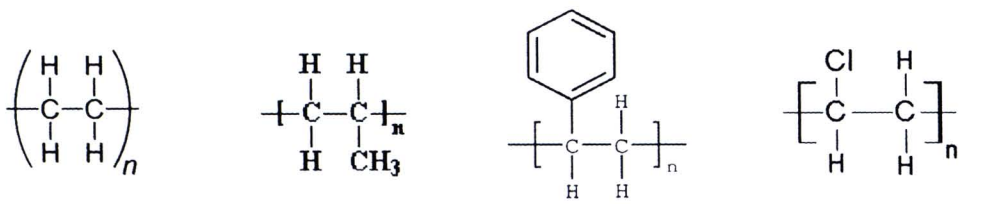
ผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดจากเขตร้อนหรือกึ่งร้อน มีโอกาสที่จะเกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง (chilling injury) ได้ง่าย ซึ่งถือเป็นความผิดปกติทางสรีรวิทยาอย่างหนึ่ง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิด chilling injury ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยที่สำคัญคือ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ และชนิดของพืช อาการโดยทั่วไปของ chilling injury คือ เกิดรอยบุ๋ม และมีสีผิดปกติ เนื้อเยื่อเกิดการฉ่ำน้ำ เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในส่วนของเนื้อภายใน โดยเกิดสีน้ำตาล เนื้อเยื่อเกิดความเสียหายเกิดการสุกที่ผิดปกติ เร่งอัตราการเสื่อมสภาพ เพิ่มความอ่อนแอต่อการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ (Morris, 1982)

2.6.2 การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษา

ความชื้นรอบๆผลผลิตมีความสำคัญต่อการเก็บรักษา เนื่องจากผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเกิดการสูญเสียน้ำได้ตลอดเวลา ความดันไอน้ำในผลค่อนข้างสูงเพราะฉะนั้นจึงมีการสูญเสียน้ำออกไปจากผลิตผลตลอดเวลาซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพบรรยากาศภายนอกว่ามีความชื้นมากน้อยเพียงใดถึงแม้อากาศภายนอกอิ่มตัวด้วยไอน้ำหรือความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 น้ำก็ยังมีโอกาสสูญเสียออกจากผลิตผลสู่บรรยากาศได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างการเก็บรักษาเงาะ ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักได้ และในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะความชื้นต่ำ ทำให้เซลล์เปลือกเกิดการเหี่ยวและเซลล์ epidermal ตายในที่สุด (Landrigan, 1996) สำหรับการเก็บรักษาเงาะในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าผลเงาะมีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 23 ในเวลาเพียง 90 นาที (Pantastico และคณะ, 1975)

2.7 บรรจุภัณฑ์ (package)

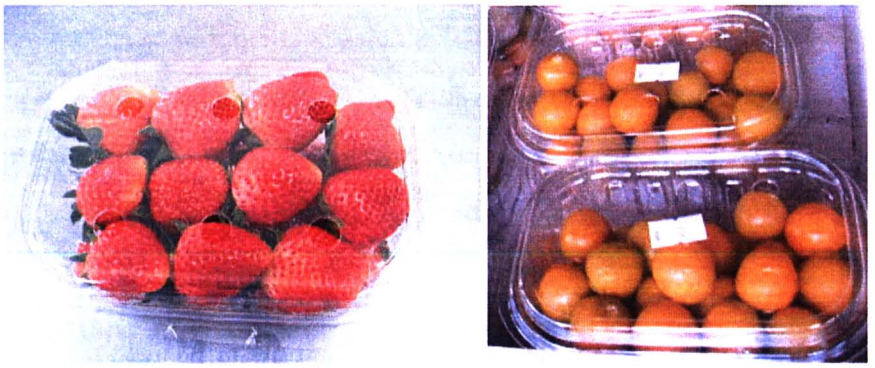
บรรจุภัณฑ์ หมายถึงวัสดุหรือสิ่งที่ใช้ในการรองรับสินค้าเพื่อการจัดการกับสินค้านั้นหรือเพื่อการขนส่งหรือเพื่อการวางขาย มักพบว่าภาชนะสำหรับผักและผลไม้มีหลายชนิดตั้งแต่ เข่ง ชะลอม polyethylene ไปจนถึงกล่องโฟมหรือตะกร้าพลาสติก บรรจุภัณฑ์ชนิดใดจะเหมาะสมกับผลผลิตชนิดใด ขึ้นอยู่กับความต้องการของผลิตผลนั้นๆ ตลอดจนลักษณะการขนส่งและการตลาด (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) พลาสติกเข้ามามีบทบาทในการบรรจุหีบห่อผลิตผลทางการเกษตรมากในปัจจุบัน เนื่องจาก คุณสมบัติที่ดีของพลาสติก กล่าวคือพลาสติกสามารถผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ ได้หลายรูปแบบ ตั้งแต่แบบที่มีความแข็งแรงสูงรับน้ำหนักได้มาก เช่น ลังส้ม ไปจนถึงฟิล์มแผ่นบางๆที่สามารถยืดหรือหดได้ สำหรับพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุผักและผลไม้ส่วนใหญ่ได้แก่ polyethylene, polypropylene, polystyrene และ polyvinyl chloride ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังแสดงรูปที่ 2.6 (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) พลาสติกเหล่านี้เมื่อพิจารณาถึงสมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ บรรจุภัณฑ์แบบแข็งตัว บรรจุภัณฑ์แบบกึ่งแข็งตัว และบรรจุภัณฑ์แบบอ่อนนุ่ม (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้าง polyethylene polypropylene polystyrene และ polyvinyl chloride
ที่มา: จริงแท้ ศิริพานิช (2549)

2.7.1 บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบแข็งตัว (Rigid Packaging)

บรรจุภัณฑ์แบบแข็งตัว เป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดที่มีความแข็งแรง คงรูปได้ดี ลำเลียงบนสายพานได้สะดวก ส่วนใหญ่ใช้เป็นภาชนะหมุนเวียนที่รับน้ำหนักมากๆ เช่น ลังส้มหรือลังขนาดใหญ่ มักทำจาก polyethylene (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549; ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)



รูปที่ 2.8 การบรรจุของสตรอเบอรี่และเสาวรสในกล่อง polyethylene terephthelate (PET)

2.7.2 บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบกึ่งแข็งตัว (Semi-Rigid Packaging)

บรรจุภัณฑ์แบบกึ่งแข็งตัว เช่น ขวดพลาสติกแบบขึ้นรูปด้วยการเป่า ถ้วยไอศกรีม นอกจากนี้ยังมีพวกที่มีลักษณะเป็นโฟม ทำจาก polystyrene ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุนเหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุกันกระแทก เช่น ถาดรองผลไม้ ตาข่ายป้องกันกันกระแทกเฉพาะผล และบรรจุภัณฑ์ ที่สามารถรักษาความเย็นของผลผลิตได้ดี เพราะโฟมมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนได้ดี บรรจุภัณฑ์พลาสติกกึ่งคงรู มีลักษณะใสในปัจจุบันมีใช้กันมากขึ้น โดยเฉพาะสำหรับการขายปลีก ส่วนใหญ่ทำเป็นรูปกล่องขนาดเล็กและมีฝาปิดในตัว โดยมากทำจาก polyester หรือ polyethylene terephthelate (PET) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งยอมให้น้ำและอากาศผ่านได้น้อย จำเป็นต้องเจาะรูให้อากาศถ่ายเทด้วย การบรรจุสตรอเบอรี่ ราสเบอรี่ แบลคเบอรี่ บลูเบอรี่ รวมทั้งมะเขือเทศขนาดเล็กในต่างประเทศเปลี่ยนมาใช้ภาชนะแบบนี้มากขึ้นตามลำดับ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549; ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

2.7.3 บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบอ่อนนุ่ม (Flexible Packaging)

ก. กระสอบ ใช้บรรจุผลิตผลสด ส่วนใหญ่ถักจากแถบพลาสติก polyethylene ชนิด high density หรือ polypropylene มักเป็นกระสอบโปร่ง ให้การถ่ายเทอากาศดี ในบางกรณียังใช้บรรจุเพื่อความสะดวกในการทำให้แห้งแบบ forced-air แทนการตากบนลานกว้าง หรือแขวนในโรงเรือน หรือสำหรับการขนส่งในระยะสั้นหรือการขายปลีก

ข. ถุง ถุงพลาสติกส่วนใหญ่ทำจาก polyethylene ซึ่งมี 2 ชนิดคือ low density polyethylene (LDPE) และ high density polyethylene (HDPE) ถุงที่ทำจาก LDPE มีความใสกว่า แต่ถุงที่ทำจาก HDPE มีความขุ่นมากและมีความแข็งแรงมากกว่า นอกจากนี้ยังมีการนำเอาถุงทำจาก polypropylene (PP) มาใช้เช่นกัน ถุงชนิดนี้มีความใสมากเป็นพิเศษ ถุงทั้ง 3 ชนิดยอมให้อากาศและน้ำผ่านได้น้อยมาก การใช้บรรจุผักและผลไม้จึงต้องเจาะรูให้อากาศถ่ายเทได้ ซึ่งอาจจะเป็นรูขนาดใหญ่ 0.5-2.0 เซนติเมตร

มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำภายในถุง และเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) ทำให้ผลิตผลเน่าเสียได้ง่าย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

ค. ฟิล์ม ฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุหีบห่อผักและผลไม้สำหรับการขายปลีก มีทั้งที่ทำจาก LDPE, HDPE, PVC และ PVDC แต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน การเลือกใช้ควรคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้คือ การหดตัว การยืดตัว การปิดผนึก การยอมให้อากาศและน้ำผ่าน ความใสความเงามัน และความง่ายในการพิมพ์ข้อความ นอกจากนั้นในฟิล์มชนิดเดียวกันอาจดัดแปลงให้มีคุณสมบัติแตกต่างกันได้ตามความหนาของฟิล์ม และตามกระบวนการผลิตฟิล์มให้มีโครงสร้างเคมีต่างกัน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของพลาสติกชนิดต่างๆ

ชนิดพลาสติก	อัตราการซึมผ่าน			ความใส	ทนต่อการฉีกขาด (g's)	ความเปราะ (g's)
	ไอน้ำ (กรัม/ตร.ม./วัน	O_2 (ลบ.ซม./ตร.ม./วัน)	CO_2 (ลบ.ซม./ตร.ม./วัน			
Polyethylene, LD	1.3	550	2900	ใส	100	400
Polyethylene, HD	0.3	600	450	ใส	30	100
Polypropylene	0.7	240	800	ใส	25	300
Polyester	0.7	14	16	ใส	40	100
Polyvinyl Chloride	4	150	970	ใส	90	20
Polystyrene	8	310	1050	ใส	-	1

ที่มา: ดัดแปลงจาก ปุ่น คงเกียรติเจริญ และสมพร คงเกียรติเจริญ (2541)

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร เรียกว่า "Active Packaging" หรือบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เป็นภาชนะที่ห่อหุ้มและปกป้องผลผลิตและสินค้าไม่ให้เกิดความเสียหายระหว่างการส่งสินค้า และการวางจำหน่ายแล้วยังได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพความสดใหม่ของผลผลิตและอาหารให้คงอยู่สภาพเดิมได้นาน ซึ่งบรรจุภัณฑ์แอคทีฟหน้าที่ควบคุมองค์ประกอบของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์โดยการสกัดกั้นการแพร่ของก๊าซต่างๆ ให้ผ่านเข้าออกจากบรรจุภัณฑ์ตามความต้องการ เพื่อให้เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลผลิตหรืออาหารนั้นๆ ให้คงความสดใหม่และเก็บไว้ได้นาน ซึ่งอาจทำได้ 2 วิธี (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2552)

1. **Sachet-based technology** คือ การใช้สารดูดหรือคายก๊าซ โดยบรรจุในซองเล็กๆ (packet หรือ sachet) และ sachet จะถูกใส่เพิ่มในบรรจุภัณฑ์ หลักของอาหาร ซึ่งใช้งานแพร่หลายในอาหารอบแห้งต่างๆ เช่น ขนมเค้ก
2. **Plastic packaging as media** การผสมสารดูดหรือคายก๊าซในพลาสติกหรือฟิล์มที่เป็นบรรจุภัณฑ์โดยตรงได้แก่ ฟิล์มที่มีสารผสมเพื่อยับยั้งหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ แบคทีเรียในอาหารหรือการใช้ฟิล์มพลาสติกผสมดูดออกซิเจนเป็นซีล (seal) ด้านในของฝาขวดเบียร์

สำหรับการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์แอคทีฟประเภทใดนั้น ต้องเลือกให้เหมาะกับอาหารที่ต้องการบรรจุ ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์แอคทีฟให้เหมาะกับอาหาร

ประเภทของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ	ประโยชน์การใช้งาน
ดูดหรือลดปริมาณออกซิเจน	อาหารทั่วไป และอาหารที่ผ่านการอบ
เพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์	อาหารที่เกิดราได้ง่าย
ควบคุมความชื้น	ผลิตผลจากพืชสวน และอาหารแห้ง
ดูดหรือลดเอทิลีน	ผลิตผลจากพืชสวน
เพิ่มเอทานอล	อาหารที่ผ่านการอบ

ที่มา: สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกไทย (2546)

การวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active packaging) โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้สดที่มีคุณสมบัติยอมให้ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหายใจผ่านเข้าออกได้สอดคล้องกับอัตราการสร้างก๊าซของผักและผลไม้ที่บรรจุอยู่ภายใน ทำให้เกิดสภาวะบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล หรือ Equilibrium Modified Atmosphere (EMA) ภายในบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้จะมีก๊าซออกซิเจนในช่วงร้อยละ 5-10 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 2-15 สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของผักและผลไม้และยืดอายุการเก็บรักษาเป็น 2-5 เท่า รวมทั้งรักษาความชื้นสัมพัทธ์ภายในบรรจุภัณฑ์ในอยู่ระหว่างร้อยละ 95-99 ผักและผลไม้จึงยังคงความสดอยู่ได้นาน นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์แอคทีฟโดย MTEC ยังได้ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพ (ดังตารางที่ 2.7) และทดสอบมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร จนสามารถใช้งานได้จริงในซูเปอร์มาร์เก็ตในประเทศและส่งออกไปญี่ปุ่นและทวีปยุโรป โดยมีราคาถูกกว่าบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ตารางที่ 2.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

ชนิดผักและผลไม้	อายุการเก็บรักษา				สภาวะการเก็บรักษา
	ชุดฟิล์มแอคทีฟ		ชุดควบคุม		
	ชนิดฟิล์ม	จำนวนวัน	ชนิดถุง	จำนวนวัน	
ผักคะน้า	High OTR	22	PE เจาะรู	6	อุณหภูมิ 5-7 °ซ ขนาดบรรจุ 500 กรัม ขนาดถุง 8 × 22 นิ้ว ปิดผนึก หัวท้าย
พริกขี้หนู	High OTR	36	PE ไม่เจาะรู	15	อุณหภูมิ 5-7 °ซ ขนาดบรรจุ 50 กรัม ขนาดถุง 4 × 4.5 นิ้ว ปิดผนึก หัวท้าย
โหระพา	High OTR	12	PE เจาะรู	6	อุณหภูมิ 10-12 °ซ ขนาดบรรจุ 200 กรัม ขนาดถุง 8 × 16 นิ้ว ปิดผนึก หัวท้าย
กล้วยไข่	High OTR	25	PE ไม่เจาะรู	5	อุณหภูมิ 5-7 °ซ ขนาดบรรจุ 500 กรัม ขนาดถุง 14 × 12 นิ้ว ปิดผนึก หัวท้าย

ที่มา: อรอนงค์ มหัคฆพงษ์ (2548)

2.8 การเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Modified atmosphere, MA)

สภาพบรรยากาศดัดแปลง (Modified atmosphere, MA) เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อยืดอายุการวางจำหน่ายของผลผลิตสดหรืออาหารพร้อมบริโภค โดยเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซที่อยู่รอบๆอาหาร (Kendra, 2010) ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การห่อด้วยฟิล์มพลาสติก การเก็บรักษาผลผลิตในถุงพลาสติก และการใช้ไขหรือสารเคลือบผิวกับผลิตผล ในสภาวะดังกล่าวจะมีการใช้ออกซิเจนและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ออกซิเจนที่มีอยู่ในปริมาณที่จำกัดในภาชนะเหลือน้อยลง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องมีระดับที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดอัตราการหายใจที่ต่ำสุด แต่ต้องไม่ทำให้เกิด

สำนักบรรณสารสนเทศ ห้องสมุดงานวิจัย

ความเสื่อมเสียแก่ผลิตผลนั้นๆ (สุมาลี ตันศิริยากุล และคณะ, 2528) Kader (1986) รายงานว่าการดัดแปลงสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

1. **Active modification** เป็นวิธีการผสมอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ ให้มีอัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนตามต้องการทันทีภายหลังการบรรจุผลผลิตเข้าไปในบรรจุภัณฑ์
2. **Passive modification** วิธีนี้อาศัยศักยภาพการหายใจของผลผลิต โดยก๊าซออกซิเจนที่มีปริมาณจำกัดในบรรจุภัณฑ์ จะเหลือน้อยลงและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการหายใจจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเกิดจุดสมดุล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้และคุณสมบัติการยอมให้ก๊าซผ่านเข้าออกของบรรจุภัณฑ์ ด้วย

การศึกษาผลของ CO_2 ความเข้มข้นร้อยละ 0.03 (ชุดควบคุม) 1 5 10 และ 15 ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะพันธุ์ทองเมืองตราด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาในสภาพที่มี CO_2 ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 ทำให้ผลเงาะมีคุณภาพดีกว่าการเก็บรักษาในสภาพอื่นๆ โดยการเก็บรักษาในสภาพดังกล่าวสามารถลดอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน การรั่วไหลของประจุ (ion leakage) การลดการสูญเสียน้ำหนักและเปลี่ยนสีของเงาะได้ดีกว่าชุดควบคุม (มานัส แจ่มจำรูญ, 2545) และการศึกษาผลของ O_2 ความเข้มข้นร้อยละ 21 (ชุดควบคุม) 1 3 และ 5 ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะพันธุ์ทองเมืองตราด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาในสภาพที่มี O_2 ความเข้มข้นร้อยละ 1 3 และ 5 มีการลดการสูญเสียน้ำหนักและเปลี่ยนสีของเงาะได้ดีกว่าชุดควบคุม และมีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 15 วัน ส่วนผลเงาะชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 12 วัน สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีของผลเงาะพบว่า การเก็บรักษาในสภาพที่มี O_2 ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีกว่าสภาพการเก็บรักษาอื่นๆ นอกจากนี้การเก็บรักษาในสภาพดังกล่าวยังสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกเงาะได้ดีที่สุด ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา (มานัส แจ่มจำรูญ, 2545) Dangini และ Prabawati (1989) ทำการบรรจุเงาะพันธุ์ Lebak bulus ในถุงโพลีเอทิลีน หนา 0.04 มิลลิเมตร โดยเจาะรูแล้วทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน พบว่าผลเงาะมีการสูญเสียน้ำหนักสด 4.24 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยกรดที่ไทเตรทได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) อยู่ในช่วง 0.26-0.38 เปอร์เซ็นต์ และ 17-19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในการเก็บรักษาเงาะพันธุ์ Mahalika บรรจุในถุงพลาสติกปิดผนึกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพันธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บได้นาน 12 วัน (Mendoza และคณะ, 1972) ในการเก็บรักษาเงาะพันธุ์ Jitlee เก็บรักษาในถุงพลาสติกหนา 0.056 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สีของเปลือกเงาะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเล็กน้อยในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา (Lee และ Leong, 1982) ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ ยศวดี สมบูรณ์ (2527) พบว่าสามารถเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียนและพันธุ์สีชมพูที่บรรจุในถุงพลาสติกพับปากถุงที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ได้นาน 9 วัน สูญเสียน้ำหนักไป 1.38 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Paull และ Chen (1987) พบว่าผลเงาะที่บรรจุในถุงกระดาษสีน้ำตาลเก็บที่

อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เปลือกเริ่มคล้ำและดำในวันที่ 8 แต่สภาพภายในยังคงเป็นที่ยอมรับถึงวันที่ 20 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ Ketsa และ Klaewkasetkorn (1995) ศึกษาการเก็บรักษาผลเงาะพันธุ์โรงเรียนในถุงโพลีเอทิลีน (15 ผล ต่อถุง) ที่เจาะรู 0 1 2 และ 3 รู เก็บรักษาที่ 10 และ 12 องศาเซลเซียส พบว่าเงาะทั้ง 2 อุณหภูมิเก็บรักษาแสดงอาการสะท้านหนาว ผลเงาะพันธุ์โรงเรียนที่เก็บเกี่ยวในระยะ 4-5 (เปลือกมีสีแดง ขนสีเขียว) ในสภาพ CO_2 ความเข้มข้น 1 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าผลเงาะที่เก็บรักษาในสภาพ CO_2 สูงสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และสามารถชะลอการเพิ่มของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ สภาพที่มี CO_2 ความเข้มข้น 10-15 และ 1เปอร์เซ็นต์ มีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 20 18 และ 15 วันตามลำดับ ในขณะที่สภาพอากาศปกติผลเงาะมีอายุการเก็บรักษา 8 วัน Somboonkaew (2001) พบว่าผลเงาะที่บรรจุในถุง low-density polyethylene (LDPE) และได้รับ CO_2:O_2 เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาในที่ทึบแสง อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บรักษาได้นาน 22 วัน ณัฐิยา เจริญผล(2532) พบว่า เก็บรักษาผลเงาะที่บรรจุในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 24 วัน จากรายงานของกรมวิชาการเกษตร (2551) ทำการทดสอบส่งผลเงาะสดบรรจุในถุง LDPE (low density polyethylene) และเก็บรักษาในตู้ขนส่งที่ควบคุมอุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส ไปยังสาธารณรัฐประชาชนจีนโดยใช้เวลาขนส่งทางเรือ 6-11 วัน เมื่อถึงปลายทางพบว่าคุณภาพผลเงาะยังคงสดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และการเก็บเงาะโรงเรียนในภาชนะ PE-1 (OTR = 7,000 cc/m^2/d) ทำให้มีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงทำให้ขนเงาะเป็นสีดำและเก็บได้ 12 วัน ส่วน PE-2 (OTR = 12,000 cc/m^2/d) สามารถเก็บเงาะได้นานสุด 18 วัน (Pongsai และคณะ, 2009) Ponrat และคณะ (2006) รายงานว่าการใช้ PVC และ LLDPE ห่อหุ้มผลเงาะสามารถลดการสูญเสียน้ำและความแน่นเนื้อของเปลือกผลได้ นอกจากนี้ การจุ่มเงาะในสาร ABA และ Salicylic acid สามารถชะลอการสูญเสียแอนโธไซยานินและยืดอายุการเก็บรักษาได้ (Siriphollakul และคณะ, 2006)