

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การเปลี่ยนแปลงของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวจากต้นแล้วยังมีชีวิต และเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆทาง สรีรวิทยา และทางเคมี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของ ผลไม้โดยตรง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของผลไม้จะพบ การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังนี้

**2.1.1 การสูญเสียน้ำ** ผลไม้โดยทั่วไปมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 80-85 หลังจากที่เกิดผลหลุดออกจากต้น ปริมาณน้ำบางส่วนเกิดการสูญเสียไประหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากการคายน้ำ ทำให้สูญเสียน้ำหนักสด และการเหี่ยวของผลไม้ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลง ของเซลล์ และเนื้อเยื่อต่างๆ ส่งผลให้ความสด ความกรอบลดลง มีความเหนียวหยาบเพิ่มขึ้น ผิววนอกย่น ทำให้คุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (สุนทร, 2539) ผลไม้ที่เก็บรักษาในสภาพที่มี อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการคายน้ำสูง และสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว สาเหตุของการสูญเสียน้ำเกิดจาก ความแตกต่างของความดันไอระหว่างความดันไภายในผล และความดันไอของสภาพแวดล้อม ซึ่งควบคุมโดยอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ดังนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และ ความชื้นสัมพัทธ์สูงจึงช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลไม้ได้ (จริงแท้, 2549)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำของผลไม้

1. ลักษณะโครงสร้าง ผลไม้แต่ละชนิดมีโครงสร้างไม่เหมือนกันแต่ส่วนของ พืชประกอบด้วยเนื้อเยื่อต่างชนิดกัน
2. สารเคลือบผิว ผลไม้มีสารประเภทไข (wax) เคลือบอยู่ผิววนอกตามธรรมชาติ พืชแต่ละชนิดจะมีสารเคลือบผิวหนาไม่เท่ากัน และต่างชนิดกัน
3. บาดแผล การเกิดบาดแผล การซ้ำของผลไม้ ทำให้ผิววนอกซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการ คายน้ำถูกทำลาย เนื้อเยื่อสัมผัสกับอากาศจึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น
4. อุณหภูมิและความชื้น ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ผลไม้จะ สูญเสียน้ำได้มาก ดังนั้นเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วควรทำการลดอุณหภูมิของผลไม้ทันที เพื่อลดการเหี่ยว และความเสี่ยงจากการเน่าเสีย

5. การเคลื่อนที่ของอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศโดยรอบผลไม้ เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น ยกเว้นกรณีที่อากาศนั้นมีความชื้นสูง หรืออิมมัวด้วยไอน้ำ

วิธีการควบคุมการสูญเสียน้ำ การลดการสูญเสียน้ำของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ทำได้โดยการควบคุมสภาพแวดล้อม หรืออาจใช้วิธีการป้องกัน เช่น การหีบห่อ การเคลือบผิว วิธีการควบคุมการสูญเสียน้ำ ทำได้ดังนี้

1. การลดอุณหภูมิ ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวจะมีความร้อนที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ และความร้อนที่ถูกปลดปล่อยจากผลไม้เอง จำเป็นต้องลดความร้อนอย่างรวดเร็ว เพื่อชะลอการทำงานของปฏิกิริยาทางเคมี และกิจกรรมของจุลินทรีย์

2. การใช้ภาชนะที่เหมาะสม โดยการบรรจุผลไม้ลงในภาชนะต่างๆ เช่น กล่องกระดาษ ลังไม้ แข่ง ถูพลาสติก และฟิล์มหุ้ม โดยพิจารณาจากความสามารถของภาชนะบรรจุ และชนิดของผลไม้ด้วย

**2.1.2 การนึ่ง หรือการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ** หลังการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษาของผลไม้ เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ เนื่องจากการเสื่อมสลายของผนังเซลล์ หรือของสารประกอบเพคตินที่เชื่อมระหว่างผนังเซลล์เข้าด้วยกัน ขณะที่ผลไม้ดิบ สารประกอบเพคตินที่เรียกว่า โปรเพคติน (protopectin) อยู่ในสภาพไม่ละลายน้ำ จึงสามารถเชื่อมต่อผนังเซลล์เข้าด้วยกัน ทำให้เซลล์ และเนื้อเยื่อเกาะตัวกันแน่น เมื่อผลไม้สุกเอนไซม์จะเปลี่ยน โมเลกุลของ โปรเพคตินซึ่งไม่ละลายน้ำ กลายเป็นกรดเพคติก (pectic acid) และเพคตินที่ละลายน้ำได้ (soluble pectin) ส่งผลต่อความแข็งแรง และการยอมให้สารผ่าน (permeability) ของโครงสร้างของผนังเซลล์ ทำให้เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ (สุนทรีย์, 2539 และจริงแท้, 2549)

### 2.1.3 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

2.1.3.1 การเปลี่ยนแปลงของแป้ง และน้ำตาล ผลไม้จะมีการสะสมอาหารในรูปของแป้งหรือน้ำตาล ในระหว่างการสุกปริมาณน้ำตาลในผลไม้เพิ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์หลักที่ย่อยแป้งเป็นน้ำตาล ได้แก่  $\alpha$ - และ  $\beta$ -amylase และ starch phosphorylase ซึ่ง  $\alpha$ -amylase ย่อยแป้งได้ เดกซ์ตริน โอลิโกแซคคาไรด์ มอลโตส และกลูโคส ส่วน  $\beta$ -amylase และ starch phosphorylase ย่อยได้มอลโตส ซึ่งทำให้ผลไม้มีรสหวานขึ้น

2.1.3.2 การเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ ผลไม้เมื่อยังอ่อนอยู่มีปริมาณกรดอินทรีย์ค่อนข้างสูง ซึ่งกรดอินทรีย์เป็นสารตัวกลางที่สำคัญในวัฏจักร Krebs ของกระบวนการหายใจ แต่หลังจากผลไม้เริ่มสุกจะมีปริมาณกรดลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรดถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจเช่นเดียวกับน้ำตาล

2.1.3.3 การเปลี่ยนแปลงสี หลังการเก็บเกี่ยวสีของผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการสุก และการเสื่อมสลาย สีที่เห็นเกิดจากรงควัตถุต่างๆที่มีอยู่ในเซลล์ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พวกที่ละลายน้ำ (water soluble) พบในแควคิวโอล ได้แก่ แอนโทไซยานิน และพวกที่ละลายในไขมัน (lipid soluble) พบใน เซ็น คลอโรพลาสต์เอ และบี ไลโคปีน และคาโรทีน สารสีเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้สีของผลไม้เปลี่ยนไป ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินเท่านั้น

แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นรงควัตถุในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) ของ แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidine) พบในแควคิวโอลของเซลล์ในส่วนต่างๆของใบ และผลของพืช มีอิทธิพลต่อสีที่ปรากฏค่อนข้างมาก ทำให้เกิดสีในช่วงสีแดง ชมพู ม่วง และน้ำเงิน ละลายได้ดีในตัวทำละลายมีขั้ว เช่น น้ำ และ แอลกอฮอล์

ชนิดและปริมาณของแอนโทไซยานินในผลไม้จะแตกต่างกัน บางชนิดมีแอนโทไซยานินเพียงชนิดเดียว เช่น ผลเสาวรศ และบางชนิดมีมากกว่า 20 ชนิด เช่น ผลองุ่น ความแตกต่างของชนิดของแอนโทไซยานินในผลไม้ ขึ้นอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาลที่มาเกาะกับแอนโทไซยานิดิน นอกจากนี้ยังพบว่ามีการดัดแปลง มาเกาะอยู่ด้วย ได้แก่ cinnamic caffeic และ acetic สำหรับปริมาณของแอนโทไซยานินในผลไม้โดยเฉลี่ยมีประมาณ 500 ไมโครกรัมต่อกรัม โดยแปรผันตั้งแต่ 160-4,000 ไมโครกรัมต่อกรัม (Gross, 1987)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินในผลไม้ส่วนใหญ่ พบว่ามีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพิ่มสูงมากเมื่อผลไม้เริ่มแก่ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อผลสุกเต็มที่ ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวแอนโทไซยานินอาจเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ผลทับทิม และสตอเบอรี่มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น และสีแดงขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากการสร้างแอนโทไซยานินขึ้นมาใหม่ การเก็บรักษาผลไม้ภายใต้บรรยากาศที่มี CO<sub>2</sub> สูงจะไปยับยั้งการเพิ่มขึ้นของแอนโทไซยานิน ทั้งนี้เพราะบรรยากาศที่มี CO<sub>2</sub> ไปทำให้ความเป็นกรด-ด่างของผลไม้สูงขึ้น

การสลายตัวของแอนโทไซยานินเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินในแควคิวโอล เมื่อโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปทำให้สีเปลี่ยนไปด้วย ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อายุของพืช อุณหภูมิ แสง ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจน เอนไซม์ ระเบิดฮอร์โมน วิตามินซี ปริมาณน้ำตาลในเซลล์ และสารเคมีที่ได้รับจากภายนอก เป็นต้น (จริงแท้, 2544)

2.1.3.4 การเปลี่ยนแปลงของวิตามินซี ภายหลังจากเก็บเกี่ยวปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid) มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก อาจสูญเสียได้จากการทำงานของเอนไซม์ เช่น ascorbic acid oxidase polyphenol oxidase และ peroxidase ที่มีอยู่ในผลิตผล และอาจเกิดจากออกซิเดชันที่ไม่ใช่เอนไซม์แต่มีโลหะ เช่น ทองแดง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามกรดซิตริกและกรดมาลิก จะยับยั้งการสลายตัวของ ascorbic acid ได้เพราะคุณสมบัติในการ chelate ไอออนของโลหะเอาไว้

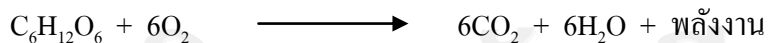
ในระหว่างการเก็บรักษาผลไม้อาจมีผลต่อการสลายตัวของวิตามินซี กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการสลายตัวของวิตามินซีมีมากขึ้น สำหรับองค์ประกอบของบรรยากาศในการเก็บรักษานั้น ออกซิเจนเร่งการสลายตัวของวิตามินซีมากขึ้น ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่ำ เช่น ร้อยละ 1.0 สามารถชะลอการสูญเสียของวิตามินซี แต่ถ้ามีมากจะเร่งการสูญเสียได้

## 2.2 การหายใจของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

การหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่พืชใช้พลังงานที่สะสมไว้ในรูปสารประกอบอินทรีย์ คือ คาร์โบไฮเดรต โดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมี คือ Adenosine triphosphate (ATP) เพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมภายในเซลล์ ทำให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นคุณภาพของการเก็บรักษา รวมทั้งผลิตผลภายหลังจากเก็บรักษาจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจ (จริงแท้, 2544)

2.2.1 ประเภทของการหายใจของผลไม้ อาจเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ การหายใจแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน

1. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic respiration) เป็นการหายใจที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกซิเดชันของน้ำตาลให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ซึ่งในปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้มีกรดอินทรีย์ต่างๆ เอนไซม์ และโคเอนไซม์ต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง สรุปเป็นสมการได้ดังนี้



2. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) เป็นการหายใจที่ไม่ใช้หรือใช้ออกซิเจนในปริมาณจำกัด ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นนี้เป็นการสลายน้ำตาลกลูโคสผ่านวิถีไกลโคไลซิส แต่กรดไพรูวิกจะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดแลกติกหรือสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ และเอซิทัลดีไฮด์ เป็นต้น

การวัดอัตราการหายใจวัดได้จากผลิตภัณฑ์ (product) ที่ได้จากการหายใจ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งวิธีการวัดทำได้ 2 ลักษณะ คือ ระบบปิด โดยการบรรจุผลไม้ที่ต้องการวัดลงในภาชนะปิด แล้ววัดปริมาณออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ในช่วงเวลาต่างๆ ส่วนระบบเปิด เป็นการผ่านอากาศไปบนผลไม้ที่เก็บไว้ในภาชนะจากนั้นคักเอา คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ออกมาจากการหายใจ หรืออาจใช้วิธีวัดความเข้มข้นของก๊าซทั้งก่อนเข้า และออกจากภาชนะ สำหรับหน่วยวัดอัตราการหายใจนิยมใช้เป็นหน่วยน้ำหนักของก๊าซที่ใช้หรือที่ผลิตได้ต่อหน่วยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ และเวลา คือ มิลลิกรัม  $\text{CO}_2$ / กก.ชม.

ผลไม้แต่ละชนิดมีอัตราการหายใจต่างกัน แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบ ภายในของผลไม้ ผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงหลังการเก็บเกี่ยว จะมีการเสื่อมเสียเร็วกว่าผลไม้ที่มี อัตราการหายใจต่ำ อัตราการหายใจของผลไม้วัดจากอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลไม้ ที่มีอัตราการหายใจต่ำสามารถเก็บไว้ในสภาพสดได้นานกว่า และมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้เกิดขึ้นเนื่องจากรอยแผล หรือรอยช้ำจากการเก็บเกี่ยว และการขนส่ง ซึ่งกระตุ้นให้มีการสร้างสารเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ คือ เพิ่มการซึมผ่านของผนังเซลล์ (cell permeability) ทำให้องค์ประกอบภายในเซลล์สูญเสีย โครงสร้าง (compartmentation) เร่งอัตราการหายใจ และการเสื่อมสลาย (senescence) ให้เกิดเร็วขึ้น เร่งการทำงานของเอนไซม์ทำให้ผลไม้นุ่มเร็ว

#### ตาราง 2.1 อัตราการหายใจของผลไม้บางชนิด

ประเภทของ อัตราการหายใจ	อัตราการหายใจสูงสุดที่ 25 °C (มิลลิกรัม $\text{CO}_2$ / กก.ชม.)	ชนิดของผลไม้
ต่ำ	5-20	ส้ม
ปานกลาง	20-100	เงาะ มังคุด มะละกอ
สูง	100-200	มะม่วง น้อยหน่า
สูงมาก	มากกว่า 200	ทุเรียน

ที่มา : จริงแท้ (2544)

ผลไม้สามารถจำแนกออกตามอัตราการหายใจได้ 2 กลุ่ม คือ

1) ผลไม้ประเภท Climacteric fruit เป็นกลุ่มผลไม้ที่บ่มแล้วสุก และจะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นขณะที่ผลไม้เริ่มสุก เมื่อมีกระบวนการสุกเกิดขึ้นจนถึงจุดที่มีอัตราการหายใจสูงสุด (อัตราการหายใจจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 2-3 เท่าของอัตราการหายใจต่ำสุดหรืออาจมากกว่านี้)

เรียกว่า Climacteric peak ผลไม้ประเภทนี้จะถูกเก็บมาจากต้นในระยะที่ผลแก่จัดซึ่งมีอัตราการหายใจลดลงถึงจุดต่ำสุด และเมื่อผลไม้เริ่มสุกอัตราการหายใจจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อสุกเต็มที่แล้วอัตราการหายใจจะลดต่ำลงจนเข้าสู่ระยะการเสื่อมสลาย (senescence)

2) ผลไม้ประเภท Non climacteric fruit เป็นกลุ่มผลไม้ที่บ่มแล้วไม่สุก และจะมีอัตราการหายใจที่เมื่อผลไม้เริ่มสุก โดยกระบวนการสุกจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ภายหลังการเก็บเกี่ยวออกจากต้น ดังนั้นจึงควรเก็บเกี่ยวผลไม้ในระยะที่มีคุณภาพเหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากผลไม้บางชนิดมีคุณภาพต่ำ อัตราการหายใจของผลไม้แบบ Non climacteric fruit จะค่อยๆ ลดลงตลอดเวลาจนเข้าสู่ระยะการเสื่อมสลาย (senescence)

ตาราง 2.2 ชนิดของผลไม้จำแนกตามลักษณะการหายใจ

ประเภทของผลไม้	ชนิดของผลไม้
Climacteric	แอปเปิล สาลี่ ท้อ กล้วย กีวี อะโวคาโด น้อยหน่า มะละกอ มะม่วง ทุเรียน ขนุน ฝรั่ง ละครุด สาเก มะเดื่อ เสาวรส บัวย แคนตาลูป พลับ
Non climacteric	ชมพู่ องุ่น สตรอเบอรี่ เชอรี่ บลูเบอรี่ ส้ม มะนาว ลำไย ฝรั่ง มังคุด ลิ้นจี่ ลำไย มะไฟ ลองกอง มะเฟือง มะกอก มะม่วงหิมพานต์ กลางสาต เงาะ

ที่มา : จริงแท้ (2544) และสุนทรี (2539)

**2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผลไม้** ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผลไม้ ได้แก่ อุณหภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีน และการเกิดบาดแผล ซึ่งหากสามารถควบคุมให้เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิด จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และทำให้ผลไม้มีคุณภาพดีใกล้เคียงกับเมื่อเก็บเกี่ยวมาใหม่

1. อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลกระตุ้นให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เกิดได้ในเร็ว โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดเร็วขึ้นประมาณ 2 เท่า สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การหายใจของผลไม้ลดต่ำลง จะลดการใช้สารอาหารสะสมที่มีอยู่ในผล และชะลอการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในเซลล์ แต่ในผลไม้บางชนิด โดยเฉพาะผลไม้เขตร้อนหรือเขตกึ่งร้อน การลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 10-12 องศาเซลเซียส อาจมีผลให้อัตราการหายใจสูงขึ้น ลักษณะนี้เป็นอาการผิดปกติเรียกว่า chilling injury หรืออาการสะท้านหนาว (จริงแท้, 2544)

2. คาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศปกติมีอยู่เพียงร้อยละ 0.03 แต่ภายในผลไม้บางชนิดมีมากถึงร้อยละ 10 ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจ อัตรา

การเข้าออกของก๊าซ และองค์ประกอบของบรรยากาศในขณะที่เก็บรักษา กรณีที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงมากจะไปยับยั้งการหายใจของผลไม้ได้ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าคาร์บอนไดออกไซด์ไปยับยั้งปฏิกิริยา decarboxylation ต่างๆ ในกระบวนการหายใจ

3. เอทิลีน อิทธิพลของเอทิลีนต่อการหายใจนั้น กล่าวได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ผลไม้ประเภท climacteric ความเข้มข้นของเอทิลีนมีผลทำให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับผลไม้ประเภท non-climacteric เอทิลีนความเข้มข้นสูงจะมีผลอย่างมากต่อการกระตุ้นให้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น

4. การเกิดบาดแผล เนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของพืช ที่เกิดบาดแผล เกิดรอยขีด จะมีผลให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการหายใจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด และความรุนแรงของบาดแผล (สุนทรี, 2539)

### 2.3 การเน่าเสียของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

การเน่าเสียของเนื้อเยื่อผลไม้ส่วนใหญ่เกิดจากจุลินทรีย์โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปัจจัยภายในผลไม้ และความสามารถของจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในผลไม้นั้น (Brackett, 1987) ปัจจัยที่มีผลต่อการเน่าเสียของผลไม้โดยจุลินทรีย์ มีดังนี้

1. ความเป็นกรดของผลไม้ ความเป็นกรดของผลไม้มีผลต่อชนิดและความสามารถในการเจริญของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา ผลไม้ส่วนใหญ่มีค่าพีเอชต่ำกว่า 4.6 สภาวะนี้สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ผลิตสารพิษ อย่างไรก็ตามผลไม้บางชนิดมีค่าพีเอชสูงกว่า 4.6 อาจทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดี โดยเฉพาะแบคทีเรีย

2. ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Water activity,  $a_w$ ) ผลไม้ส่วนใหญ่มีปริมาณความชื้นสูง มีค่า  $a_w$  อยู่ระหว่าง 0.97-0.99 ซึ่งสภาวะนี้เหมาะแก่การเจริญของจุลินทรีย์มาก โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ที่ค่า  $a_w$  อย่างน้อย 0.90 ยีสต์สามารถเจริญได้ที่ค่า  $a_w$  อย่างน้อย 0.87 และเชื้อราสามารถเจริญได้ที่ค่า  $a_w$  อย่างน้อย 0.80 (Robertson, 1993)

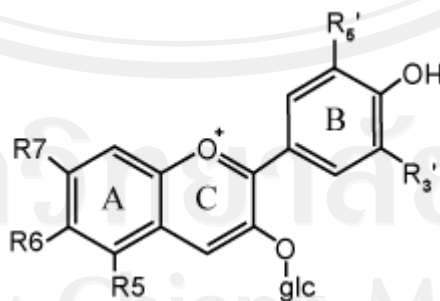
### 2.4 สารแอนติออกซิแดนซ์ที่สำคัญในผลไม้

สารแอนติออกซิแดนซ์ (antioxidant) หรือสารต้านอนุมูลอิสระ คือสารที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่มีผลในการทำลายองค์ประกอบของเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย สารแอนติออกซิแดนซ์ที่พบได้ในผลไม้ ได้แก่ phenolic compounds, amino acid, ascorbic acid, carotenoids, flavonoids, melanoidin, organic acid, tannins, quercetin และ tocopherols เป็นต้น (Huang *et al*, 1992) สารต้านอนุมูลอิสระมีอยู่

มากมายหลายชนิด แต่ที่มีความสำคัญ และพบมากในผลไม้ มีอยู่ 3 ชนิด คือ สารประกอบฟีนอล สารแอนโทไซยานิน และสารเคอร์ซีทิน ซึ่งแต่ละชนิดมีความสำคัญพอสรุปได้ ดังนี้

**2.4.1 สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds)** สารประกอบฟีนอลมีสมบัติเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) ที่มีจำนวน hydroxyl group อย่างน้อยหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่งหมู่ในโมเลกุล สามารถละลายในน้ำได้ ส่วนใหญ่ สารประกอบฟีนอลมักรวมอยู่กับน้ำตาลในรูปสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) สารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก และแทนนิน เป็นต้น ประโยชน์ของสารประกอบฟีนอลในการรักษาโรค เช่น ช่วยยับยั้งการแข็งตัวของเกล็ดเลือด ต่อต้านการอักเสบ และบวม รักษาแผลในกระเพาะอาหาร ต่อต้านการแพ้จากการหลังฮีสตามีน และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Mullen, W. *et al.*, 2006)

**2.4.2 สารแอนโทไซยานิน (anthocyanins)** เป็นรงควัตถุที่อยู่ในกลุ่มสารประกอบฟลาโวนอยด์ พบในผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล กระจับปี่ องุ่น ทับทิม และผลไม้ประเภทเบอร์รี่ เป็นต้น สามารถละลายน้ำได้ จะมีสีแดงที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำ และมีสีม่วงหรือน้ำเงินที่ pH เป็นกลางหรือเป็นด่าง (Mazza *et al.*, 2004) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นฟลาวิลเลียมแคทไอออน (flavylium cation) หรือเกลือของ 2-phenylbenzopyrylium ประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม จัดเรียงตัวในระบบ 3 วง เรียกว่า A B และ C โดยวง A และ B เป็นวงเบนซีน เรียกว่า วงฟีนิล (phenyl ring) ส่วนวง C เป็นแลคโตน (lactone ring) และแอนโทไซยานินเป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ของแอนโทไซยานิดิน (ภาพ 2.1) สารแอนโทไซยานินมีสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคมะเร็ง ชะลอความแก่ บำรุงสมอง และลดระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวานได้อีกด้วย (Zhao, C. *et al.*, 2004)

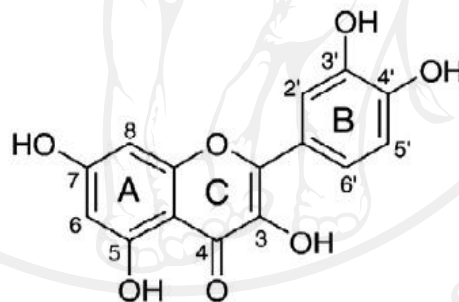


ภาพ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานิน (Cell biology olm, 2011)



**2.4.3 สารเคอร์ซีทิน (quercetin)** เป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ พบในแอปเปิล ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ และหัวหอม สารเคอร์ซีทินทำหน้าที่เป็นตัวดักจับไอออนของโลหะไว้ในโมเลกุล โดยโครงสร้างของสารเคอร์ซีทินมีตำแหน่ง (binding site) ที่สามารถดักจับไอออนของโลหะ เช่น ทองแดงได้ 3 บริเวณ คือ บริเวณ 3', 4'-dihydroxy ของวงแหวน B บริเวณ 3-hydroxy, 4-keto ของวงแหวน C และบริเวณระหว่างตำแหน่ง 5-hydroxy ของวงแหวน A กับตำแหน่ง 4-keto ของวงแหวน C (ภาพ 2.2)

มีรายงานการวิจัยพบว่าสารเคอร์ซีทิน สามารถช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจ ช่วยให้การทำงานของหลอดเลือดหัวใจเป็นปกติ ระบบการไหลเวียนเลือด และการทำงานของหัวใจดีขึ้น การเสริมสารเคอร์ซีทินช่วยลดความดันโลหิตในสัตว์ที่มีความดันโลหิตสูง ให้ฤทธิ์ในการป้องกันการอักเสบ ป้องกันแบคทีเรีย และไวรัส ช่วยป้องกันอาการแพ้ ป้องกันการแข็งตัวของเลือด ป้องกันการเกิดออกซิเดชันในหลอดเลือด และป้องกันหลอดเลือดเลี้ยงสมองอุดตันได้ (Chen C. *et al.*, 2010) ด้วยหน้าที่ และคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าว จึงทำให้สารเคอร์ซีทินเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ที่มีความสำคัญ



ภาพ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของสารเคอร์ซีทิน (Chen C. *et al.*, 2010)

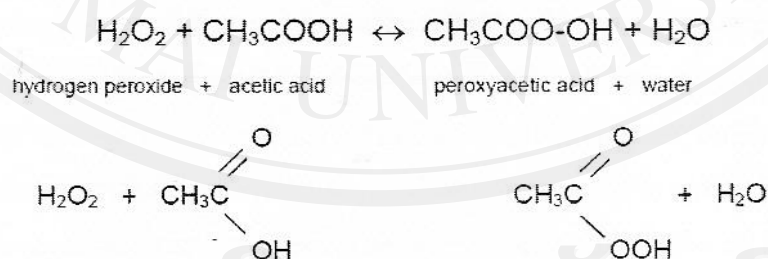
## 2.5 การใช้สารเคมีในการควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ในผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

การใช้สารเคมีเพื่อช่วยในการควบคุมจุลินทรีย์ในผลไม้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำความสะอาด ทำลายหรือลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และความปลอดภัยของผู้บริโภค การใช้สารเคมีเป็นอีกกรรมวิธีหนึ่งที่จะช่วยชะลอการเสื่อมเสีย และรักษาคุณภาพของผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษา

**2.5.1 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเกลือซัลไฟต์** สารประกอบซัลไฟต์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ โพแทสเซียมไบซัลไฟต์ โซเดียมเมตาซัลไฟต์ และโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ เป็นต้น (ศิวาพร, 2546) ความเป็นกรด-ด่าง ชนิดของจุลินทรีย์ ความเข้มข้นของสาร และระยะเวลาในการสัมผัส เป็นปัจจัยที่กำหนดประสิทธิภาพของสารชนิดนี้

เมื่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเกลือซัลไฟต์ละลายน้ำ จะได้กรดซัลฟิวรัส ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) ไบซัลไฟต์ไอออน ( $\text{HSO}_3^-$ ) และซัลไฟต์ไอออน ( $\text{SO}_3^{2-}$ ) ซึ่งเป็น Free  $\text{SO}_2$  ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Fleet, 1994) ซึ่งอัตราส่วนที่เกิดจะขึ้นกับความเป็นกรด-ด่างของอาหาร สำหรับประสิทธิภาพของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเกลือซัลไฟต์ ขึ้นกับปริมาณกรดซัลฟิวรัสที่เกิดขึ้น และต้องอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว ยิ่งปริมาณกรดซัลฟิวรัสเกิดขึ้นมากเท่าใดความสามารถในการยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นด้วย กรดซัลฟิวรัสที่เกิดขึ้นนี้มีผลต่อผนังเซลล์ และการทำงานของเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ เป็นสาเหตุให้การเจริญของจุลินทรีย์ถูกยับยั้งหรือทำลายไป สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีกว่ายีสต์และรา โดยที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากัน จะต้องใช้โซเดียมซัลไฟต์ในปริมาณที่มากกว่า เพื่อยับยั้งการเจริญของยีสต์และรา ประสิทธิภาพของสารตัวนี้จะดีที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.0 ในกรณีของการใช้สารประกอบซัลไฟต์ในการเป็น Sanitizing agent เพื่อลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งใช้ร่วมกับกรดซิตริก โดยละลายในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทั้งนี้กรดจะเป็นตัวดึงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้ต่ำลง ทำให้ความสามารถในการยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น (คลินิกเทคโนโลยี, 2554)

**2.5.2 กรดเปอร์แอกซีติก (Peracetic acid, PAA)** กรดเปอร์แอกซีติกเป็นสารในกลุ่มของออร์แกนิกเปอร์ออกไซด์ มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_3$  เกิดจากปฏิกิริยาของกรดแอกซีติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ในสารละลายทำให้มีโมเลกุลของออกซิเจนเพิ่มขึ้นมาอีก 1 อะตอม ในรูปของเปอร์ออกไซด์ในโมเลกุลของกรดแอกซีติก (ภาพ 2.3)



ภาพ 2.3 ปฏิกิริยาการเกิดกรดเปอร์แอกซีติก (Enviro Tech Chemicals, 2010)

กรดเปอร์แอกซีติกนำมาใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรค (disinfectant) สำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยาประเทศสหรัฐอเมริกา (USFDA) ได้อนุญาตให้ใช้กรดเปอร์แอกซีติกเป็นสารฆ่าเชื้อโรคที่สามารถสัมผัสกับอาหารได้โดยตรงในน้ำล้างผัก และผลไม้ในระหว่างขั้นตอนการทำความสะอาดโดยการล้างหรือแช่ ความเข้มข้นที่ใช้จะอยู่ในช่วง 85-300 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนั้นยัง

มีความเป็นพิษต่ำ และมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีชนิดอื่น เช่น คลอรีน และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ เป็นต้น กลไกการทำลายจุลินทรีย์เป็นผลมาจากการออกซิไดส์ ที่รุนแรงร่วมกับค่าพีเอชต่ำ โดยสารออกซิไดส์จะไปออกซิไดส์เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย และสปอร์ของยีสต์และรา (Soliva-Fortuney and Martin-belloso, 2003)

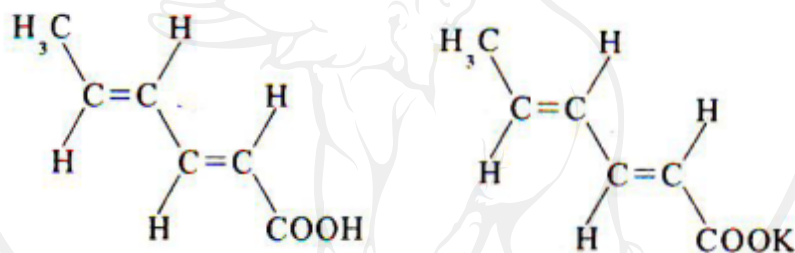
สำหรับปริมาณการใช้กรดเปอร์แอสติกนั้น มีการศึกษาในด้านความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมกับผัก และผลไม้หลายชนิด เช่น การศึกษาของ Mari *et al.* (2004) ได้ทดลองใช้สารละลายกรดเปอร์แอสติก เพื่อชะลอการเสื่อมเสียในระหว่างการเก็บรักษาเชอร์รี่ แอปริคอต และลูกพีท พบว่าการแช่สารละลายกรดเปอร์แอสติกที่ความเข้มข้น 125 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 1 นาที ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 5 วัน และการศึกษาของ Juan *et al.* (2009) ใช้สารละลายกรดเปอร์แอสติก ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ล้างแตงกวา มะเขือเทศ และพริกหวานสด พบว่าให้ประสิทธิภาพดีในการชะลอการเสื่อมเสีย นอกจากนี้ Isabelle *et al.* (2009) ได้ศึกษาการเก็บรักษาแครอทสด โดยการใช้กรดเปอร์แอสติกร่วมกับสภาวะแบบตัดแปลงบรรยากาศที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ใช้ความเข้มข้น 80 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชะลอการเสื่อมเสียได้เช่นกัน

**2.5.3 กรดอินทรีย์** กรดอินทรีย์ที่พบได้ในผัก และผลไม้ตามธรรมชาติ ในเบื้องต้นจะสามารถยับยั้งยีสต์และรา กรดอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่มักพบตามธรรมชาติ ได้แก่ กรดแอสติก ซิตริก มาลิก ทาร์ตาริก และเบนโซอิก กลไกการทำงานของกรดอินทรีย์จะไปลดความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภายในเซลล์จุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ต่างๆ จะดูดซึมโมเลกุลของกรดอินทรีย์ที่ไม่แตกตัวเข้าไปภายในเซลล์หรือไปทำลายการขนส่งซีสเตรด โดยไปเปลี่ยนแปลงการซึมผ่านของสารที่เยื่อหุ้มเซลล์ (Beuchat, 2000) ซึ่งประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ของกรดอินทรีย์ ขึ้นกับชนิดของกรดอินทรีย์ที่ใช้ สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสเพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะใช้เวลาประมาณ 5-15 นาที แต่การใช้กรดอินทรีย์อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผัก และผลไม้บางชนิด เนื่องจากมีสมบัติในการเป็นสารให้กลิ่น และรสชาติ

การศึกษา และเปรียบเทียบการใช้กรดอินทรีย์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 จำนวน 3 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดแอสติก และกรดแลคติก ร่วมกับการใช้น้ำไอโซนความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์ในเห็ด enoki ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน พบว่าการใช้กรดซิตริกร่วมกับน้ำไอโซนมีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำไอโซนความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว โดยสามารถลดจำนวน *E. coli* 0157:H7 และ *L. monocytogenes* ได้ 2.26 และ 1.32 log cfu ตามลำดับ (Yuk *et al.*, 2007) นอกจากนี้การศึกษากการใช้กรดซิตริกเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลลำไยสดหลัง

การเก็บเกี่ยว โดยจุ่มผลลำไยลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน พบว่าช่วยชะลอการเน่าเสีย การสูญเสียน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (รุ่งทิพา, 2548)

**2.5.4 กรดซอร์บิก และเกลือซอร์เบท (Sorbic acid and sorbates)** เป็นสารประกอบที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากไม่ทำให้เกิดกลิ่นรส และสีของอาหารเปลี่ยนแปลง (ภาพ 2.4) เกลือของกรดชนิดนี้ที่นิยมใช้ได้แก่ แคลเซียมซอร์เบท โซเดียมซอร์เบท และโพแทสเซียมซอร์เบท โดยเฉพาะโพแทสเซียมซอร์เบทจะนิยมใช้มากที่สุด กรดซอร์บิกเป็นสารประกอบวงสี่เหลี่ยมหรือเป็นเกล็ด มีการละลายได้ร้อยละ 0.16 ที่ 20 องศาเซลเซียส เกลือโพแทสเซียมซอร์เบทละลายน้ำได้ร้อยละ 58.2 ที่ 20 องศาเซลเซียส โดยการละลายของกรด และเกลือของสารชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

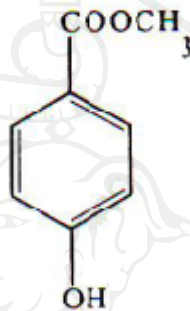


ภาพ 2.4 โครงสร้างของกรดซอร์บิก และโพแทสเซียมซอร์เบท (ศิวาพร, 2546)

กรดซอร์บิก และเกลือซอร์เบทสามารถทำลายหรือยับยั้งการเจริญของยีสต์ รา ได้ดีกว่าแบคทีเรีย โดยไปมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ และผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ รวมทั้งมีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์ นอกจากนี้การศึกษาทดลองยังพบว่ากรดซอร์บิก และเกลือซอร์เบทสามารถยับยั้งการสร้างสปอร์ของเชื้อ *Clostridium botulinum* และ *Bacillus spp.* ได้ เชื้อราที่สามารถยับยั้งการเจริญ และการทำงาน ได้แก่ *Aspergillus*, *Fusarium* และ *Trichoderma sp.* เป็นต้น กรดซอร์บิก และเกลือซอร์เบทมีประสิทธิภาพดีในรูปที่ไม่แตกตัวหรือในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูง ประสิทธิภาพของสารนี้สูงสุดในช่วงความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.5 และเมื่อความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของสารดังกล่าวจะลดลง (ศิวาพร, 2546)

สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมใช้ในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ได้แก่ เครื่องดื่มชนิดต่างๆ น้ำผลไม้ แยม ฟรุ้ตสลัด ผลไม้แห้ง ผักแห้ง และผักดองต่างๆ เป็นต้น โดยกำหนดให้ใช้โพแทสเซียมซอร์เบทได้ไม่เกิน 1,000-2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2547)

**2.5.5 เมทิลพาราเบน (Methyl paraben)** เป็นสารที่มีความเสถียรใช้ในการป้องกัน และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร และยา มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของยีสต์และรา ได้สูงกว่าเบนทิลเรียว (ภาพ 2.5) สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมใช้เมทิลพาราเบนในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ได้แก่ เครื่องดื่มชนิดต่างๆ น้ำผลไม้ แยม ฟรุตสลัด ผักดองต่างๆ เป็นต้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 ได้กำหนดปริมาณเมทิลพาราเบนให้ใช้ได้สูงสุดไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



ภาพ 2.5 โครงสร้างของเมทิลพาราเบน (ศิวาพร, 2546)

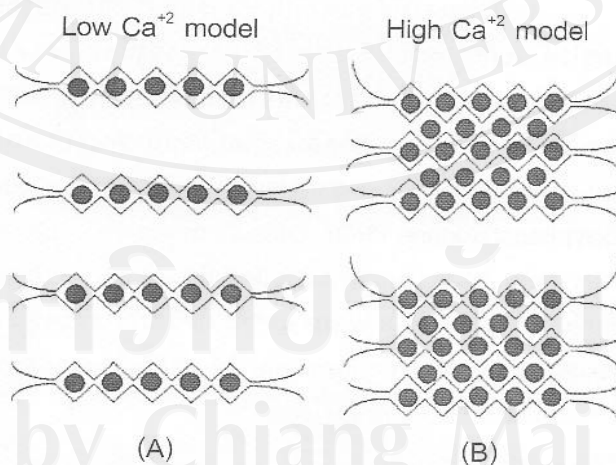
จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารนอมอาหารร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 3 5 และ 10 องศาเซลเซียส ในการควบคุมเชื้อราของผลลำไยพบว่า การแช่ในสารละลายผสมกรดซอร์บิก และโพแทสเซียมซอร์เบทร่วมกับกรดซิตริก สามารถชะลอการเกิดโรคได้ดีกว่าการแช่ผลลำไยในสารละลายผสมระหว่างกรดซอร์บิกกับเมทิลพาราเบน และสารละลายผสมระหว่างเมทิลพาราเบนกับกรดซิตริก นอกจากนี้สารละลายที่ประกอบด้วยกรดซิตริก สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกลำไยได้ดีกว่าสารละลายชนิดอื่นๆ และผลลำไยที่ผ่านการแช่ในสารละลาย แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด (สุเมธี, 2548) สอดคล้องกับผลการศึกษาประสิทธิภาพของโพแทสเซียมซอร์เบทในการยับยั้งเชื้อราเขียวของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง โดยจุ่มในสารละลายโพแทสเซียมซอร์เบทความเข้มข้นร้อยละ 4.0 เป็นเวลา 5 นาที พบว่าสามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราเขียวบนผลส้มได้ดี (วาสนา, 2547)

## 2.6 การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในกระบวนการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลไม้

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ และเนื้อเยื่อ และยังรวมอยู่กับสารประกอบเพคตินใน middle lamella แคลเซียมทำให้เกิด cross link ช่วยทำให้โครงสร้างของเซลล์แข็งแรง การได้รับแคลเซียมจากภายนอกไม่เพียงช่วยเพิ่มปริมาณแคลเซียมภายในผล แต่แคลเซียมยังมีผลต่อความแข็งแรงของผนังเซลล์ ทำให้เซลล์ไม่บอบช้ำง่าย และส่งผลให้การเข้าทำลายของจุลินทรีย์น้อยลง (Conway et al., 1993)

การเปลี่ยนแปลงความกรอบหรือเนื้อสัมผัสของผลไม้ เกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการ ประการแรก คือ การสูญเสียน้ำโดยกระบวนการหายใจ และการคายน้ำ เป็นผลให้ความดันเต่งภายในเซลล์ลดลงซึ่งสามารถชะลอได้โดยการควบคุมอุณหภูมิของผลไม้ให้ต่ำลง เพื่อลดอัตราการหายใจ และการคายน้ำ อีกประการหนึ่ง คือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารประกอบเพคตินที่ผนังเซลล์ในระหว่างกระบวนการสุกเป็นเหตุให้ผนังเซลล์อ่อนแอ และไม่จับตัวกันแน่นเหมือนเดิม (รัชฎา และนันทวี, 2548) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพคตินมีสาเหตุหลักมาจากการสลายตัวของสารประกอบเพคตินโดยเอนไซม์

การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นอีกกรรมวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ โดยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยปรับปรุงความกรอบของเนื้อผลไม้ได้ โดยช่วยให้เนื้อเยื่อมีความแข็งแรง โดย  $Ca^{2+}$  สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคตินบริเวณ middle lamella และผนังเซลล์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม (crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) บนสาย polygalacturonides และประจุคู่ของ  $Ca^{2+}$  โดย  $Ca^{2+}$  ทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิลบนสาย polygalacturonides สายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสาย polygalacturonides อีกสายหนึ่งเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า egg-box model (ภาพ 2.6) เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมแพคเตท ที่ไม่ละลายน้ำ (รัชฎา และนันทวี, 2548) ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้มีความแตกต่างกัน โดยทั่วไปความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่างร้อยละ 0.1 ถึง 1 หากใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมสูงเกินไปอาจมีผลทำให้เกิดรสขมในผลไม้ได้ (Soliva – Fortuny and Martin – Bellose, 2003)



ภาพ 2.6 โครงสร้าง Egg-box model

เมื่อมีปริมาณแคลเซียมอ่อนต่ำ (A) และสูง (B) (Grant *et al.*, 1973)

การศึกษาการใช้เคลือบเคลือบผลไม้เพื่อช่วยรักษาความแน่นเนื้อของผลไม้ ในระหว่างการเก็บรักษา เช่น Fusheng *et al.* (2011) ได้ศึกษาการแช่ผลสตรอเบอรี่ในสารละลายเคลือบเคลือบผลไม้ ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 4.0 ตามลำดับ นาน 15 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่าเคลือบเคลือบผลไม้ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมและช่วยรักษาความแน่นเนื้อได้ดี นอกจากนี้ยังพบการใช้เคลือบเคลือบผลไม้ร่วมกับสารเคลือบผิว เช่น การศึกษาของ Pilar *et al.* (2008) ศึกษาการใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ร่วมกับเคลือบเคลือบผลไม้ ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ในการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่สดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70-75 เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าช่วยชะลอการสุกและการเจริญของเชื้อราได้

## 2.7 การใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้กับผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว

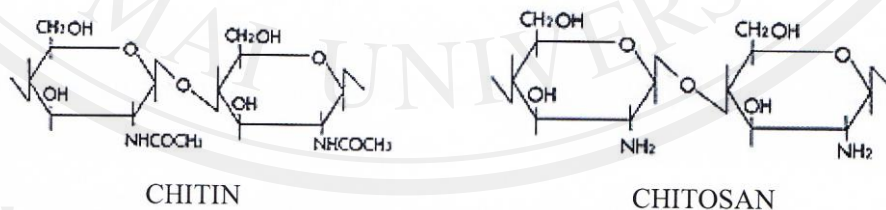
ผลไม้มีสารเคลือบผิวตามธรรมชาติ ภายหลังการเก็บเกี่ยว และในระหว่างการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวสารเคลือบผิวบางส่วนอาจหายไป ส่งผลต่อการสูญเสีย น้ำ และมีการแลกเปลี่ยนก๊าซมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวที่ได้จากธรรมชาติ หรือจากสารสังเคราะห์เพื่อทดแทนสารเคลือบผิวตามธรรมชาติ การเคลือบผิวเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลหม่อน โดยมีจุดประสงค์สำคัญ คือ ช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลิตผลลงได้ ร้อยละ 30-50 ลดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ ซึ่งช่วยชะลออัตราการหายใจ นอกจากนี้การเคลือบผิวยังทำให้ผลิตผลมีความมันวาวดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสารเคลือบผิวที่สามารถบริโภคได้ (edible coating) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตผล และทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากขึ้น ตัวอย่างสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ มีดังนี้ (คณัย และนิธิยา, 2548)

1. แป้ง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธัญพืช เช่น ข้าว และข้าวโพด นอกจากนี้ยังได้จากรากและลำต้นใต้ดินของพืช เช่น แห้ว มันฝรั่ง มันสำปะหลัง เป็นต้น
2. น้ำมันพืช เป็นน้ำมันที่สกัดจากพืช เช่น ถั่วเหลือง งา ทานตะวัน เป็นต้น
3. โปรตีน เช่น เจลาติน ปกติละลายได้ดีในน้ำร้อน และมีสภาพเป็นเจลใสยืดหยุ่นได้ดี
4. สารสกัดจากสาหร่ายทะเล เช่น วุ้น ซึ่งละลายได้ดีในน้ำร้อน เมื่อใช้เคลือบผิวผักและผลไม้จะมีลักษณะเป็นแผ่นใสหุ้มอยู่ด้านนอก
5. สารสกัดจากสัตว์ เช่น ไคโตซาน ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พบในเปลือกกุ้ง

ข้อดีของการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคนได้

1. มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับแว็กซ์ หรือแผ่นพลาสติกที่ใช้ห่อผักและผลไม้ชนิดต่างๆ
2. สามารถล้างออก หรือบริโภคได้เลย
3. สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ในกลุ่มแป้ง เซลลูโลส เพคติน วุ้น และกัม ช่วยชะลออัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซได้
4. สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ในกลุ่มไขมัน มีสมบัติในการชะลอการเคลื่อนที่ของน้ำภายในผลิตภัณฑ์ จึงช่วยลดการสูญเสียน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์เหี่ยวช้าลง
5. สารเคลือบผิวจากไคโตซาน สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนสี และยับยั้งการเจริญของเชื้อรา

**2.7.1 ไคโตซาน (Chitosan)** คือ โพลีเมอร์ธรรมชาติชนิดหนึ่งซึ่งผลิตได้จากของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล คือ เปลือกกุ้ง และปู ไคโตซานนำไปใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม และเครื่องสำอางอย่างแพร่หลาย ไคโตซานเป็นสารประกอบพอลิคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลสที่มีโมเลกุลเป็นสายโซ่ยาวของ (1-4) linked glycans (ภาพ 2.7) ไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000 ถึง 1,000,000 ดาลตัน และระดับการเกิดปฏิกิริยา deacetylation ตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไป ส่วนใหญ่กรดของไคโตซานที่มีจำหน่ายในท้องตลาดประกอบด้วย glucosamine ร้อยละ 75 ถึง 95 และ N-acetylglucosamine ร้อยละ 5 ถึง 25 ไคโตซานส่วนใหญ่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นกรดเจือจางที่มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) น้อยกว่า 6.0 (Filar and Wirick, 1978) เช่น กรดแอสซิดิก และกรดฟอร์มิก (ประภัสสร, 2544)



ภาพ 2.7 โครงสร้างของไคติน และไคโตซาน (France-Chitine, 2011)

ไคโตซานมีคุณสมบัติถูกย่อยสลายได้ตามกระบวนการทางชีวภาพ (biodegradable) ไม่ระคายเคือง (nonirritant) และไม่เป็นพิษ (nontoxic) ต่อมนุษย์ (อภิตา และคณะ, 2551) ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น linear polyelectrolyte ที่เกิดปฏิกิริยากับหมู่ hydroxyl (-OH) และหมู่ amino (-NH<sub>2</sub>) ถ้าพบหมู่อะมิโนจำนวนมาก จะทำให้ไคโตซานเกิดปฏิกิริยากับระบบที่เป็นประจุลบ ส่งผลให้ลักษณะทางเคมีฟิสิกส์ของไคโตซานเปลี่ยนแปลงได้ ในโตรเจนในโครงสร้างของไคโตซาน มักอยู่



ในรูป aliphatic amino group ทำให้ปฏิกิริยาทั่วไปเหมือนกับ amine เช่น N-acetylation และ Schiff reaction คุณสมบัติทางหน้าที่ของไคโตซานเกือบทั้งหมดขึ้นกับความยาวของสายโพลีเมอร์ ความหนาแน่นของประจุ และการกระจายประจุ นอกจากนี้ยังมีหลายการศึกษาที่แสดงว่าการเกิดเกลือ น้ำหนักโมเลกุล และ degree of deacetylation มีผลมากเทียบเท่ากับความเป็นกรดต่างของไคโตซาน

เนื่องจากไคโตซานมีมวลโมเลกุลสูง โครงสร้างโมเลกุลเป็นเส้นตรง ไม่แตกแขนง ทำให้ไคโตซานเป็นตัวให้ความหนืดที่ดีในสถานะที่เป็นกรด ปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานกับ multivalent anion เป็นผลให้เกิด crosslinking ระหว่างโมเลกุลของไคโตซาน รังเหที่ที่เกิดขึ้นสามารถเก็บน้ำได้มากกว่าร้อยละ 95 การเกิด crosslinking สามารถทำได้ในสถานะกรด กลางหรือด่าง ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ฟิล์มที่เตรียมโดยการระเหยน้ำออก สารละลายไคโตซานจะเป็นเจลบางๆ ที่มีปริมาณน้ำน้อยกว่าเจลชนิดอื่น ในด้านอาหารจากการศึกษาทดลองในสัตว์ พบว่าสัตว์แต่ละชนิดมีความสามารถในการย่อยไคติน และไคโตซานที่แตกต่างกันออกไป สมบัติของไคโตซานในด้านการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย และรา เป็นจุดเด่นสำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร มีรายงานว่าไคโตซานมีคุณสมบัติเป็นตัวยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรครากับพืช และก่ออันตรายกับผู้บริโภค อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสีย น้ำ และชะลอการสุกของผลไม้ได้ (Liu *et al.*, 2001)

#### คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน

1. ลักษณะทางกายภาพของไคโตซาน คือ ไม่มีกลิ่น มีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ดสีขาวหรือครีม ไคโตซานอาจเกิดเส้นใยในระหว่างการตกตะกอน และดูดซับใยฝ้าย (cotton fiber) ไคโตซานสามารถดูดซับความชื้นจากบรรยากาศได้ โดยปริมาณที่ดูดซับขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้น และอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับความชื้นของอากาศในสิ่งแวดล้อม แม้ว่าไคโตซานจะมีคุณสมบัติดูดความชื้น (hygroscopic) แต่ผงไคโตซานก็มีความคงตัวที่อุณหภูมิห้อง และควรเก็บในภาชนะปิดสนิทที่อุณหภูมิ 2 ถึง 8 องศาเซลเซียส

2. การละลาย (Solubility) ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ในสารละลายด่างหรือตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อน กรดที่นิยมใช้ได้แก่ กรดแอสซิดิก กรดแลคติก และกรดฟอร์มิก สารละลายไคโตซานที่ได้จะมีลักษณะเหนียวข้น ใสมีรูปแบบการไหลเป็น Non-newtonian โดยหุ่จะมีของไคโตซานจะแตกตัวอยู่ในรูปของประจุบวกที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการแตกตัว (pKa) อยู่ในช่วง 6.3-7.0 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคตินหรือไคโตซานเนื่องจาก ทั้งไคติน และไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าตัดส่วนของ

N-acetyl-D-glucosamine มากกว่า คือมีค่า Degree of deacetylation ต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคตินแต่ถ้าสัดส่วนของ D-glucosamine มากกว่า คือมีค่า Degree of deacetylation สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

3. ความหนืด (Viscosity) ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น Degree of deacetylation, น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ionic strength ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนั้นชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายจะมีผลทำให้สารละลายไคโตซานมีความหนืดที่แตกต่างกัน

4. การเสื่อมสลาย (Degradation) ของไคโตซาน โอลิโกเมอร์หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ของไคโตซานคือ chito-oligosaccharide ส่วน monomer หรือ monosaccharide คือ D-glucosamine

- การเสื่อมสลายโดยกรด (Acid hydrolysis)
- การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานโดยกรด จะเป็นแบบสุ่ม (random) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ oligomer ขนาดต่างๆ และ monomer ขึ้นกับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดของพอลิเมอร์
- การเสื่อมสลายโดยด่าง (Alkaline hydrolysis) การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุล polysaccharides ในด่างจะเริ่มจากตรงปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล การเสื่อมสลายแบบนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า peeling reaction
- การเสื่อมสลายโดยการสั่นของคลื่นเสียง (Degradation by sonication) การเสื่อมสลายโดยการสั่นของคลื่นเสียงร่วมกับการใช้กรด ทำให้ได้ oligomer ที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกันมากกว่าการเสื่อมสลายโดยใช้กรดเพียงอย่างเดียว
- การเสื่อมสลายโดยเอนไซม์ (Enzyme degradation) การเสื่อมสลายโดยเอนไซม์มีข้อดีคือ มีความจำเพาะเจาะจงมากกว่า การใช้สารเคมีโดยเอนไซม์ chitosanase (EC3.2.132) สามารถย่อยสลายสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานแบบสุ่มตรงตำแหน่งพันธะ  $\alpha$ -1,4-linkage ได้เป็น chito oligosaccharide (ภาวิดี และคณะ, 2544)

2.7.2 เจลาติน (Gelatin) เป็นสารที่ไม่มีอยู่ในธรรมชาติโดยตรงแต่ได้มาจากการแปรรูปคอลลาเจน (collagen) ที่มีอยู่ในผิวหนัง กระดูก รวมทั้งเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ โดยการใช้ความร้อน และใช้สารช่วยอื่น เช่น กรดหรือด่าง ทำให้โครงสร้างคอลลาเจนถูกเปลี่ยนแปลงเป็นสารเจลาติน เจลาตินประกอบด้วย ไกลซีน (glycine) โพรลีน (proline) และ 4-hydroxyproline residues

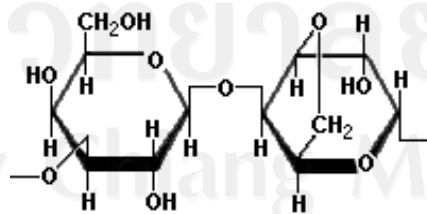
กรรมวิธีในการผลิตเจลาตินสามารถเตรียมได้โดยใช้วัตถุดิบหลายชนิด ขั้นตอนการเปลี่ยนคอลลาเจนเป็นเจลาตินทำได้ทั้งการแช่ในสารละลายกรด และสารละลายด่าง ทำให้เจลาตินที่ได้มีสมบัติแตกต่างกัน และสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามวิธีการเตรียม คือ เจลาติน A เตรียมจากหนังของหมู และผ่านขบวนการเตรียมด้วยกรด และเจลาติน B เตรียมจากกระดูก และหนังของสัตว์ และผ่านขบวนการเตรียมด้วยด่าง ซึ่งเจลาตินทั้ง 2 ชนิดจะมีคุณสมบัติที่ต่างกัน (ตาราง 2.3) โดยเจลาตินที่ได้จากกระดูกสัตว์จะให้ฟิล์มที่แข็งแรงแต่ค่อนข้างเปราะ ส่วนเจลาตินที่ได้จากหนังหมูจะช่วยให้ฟิล์มยืดหยุ่น

ตาราง 2.3 สมบัติของเจลาติน A และเจลาติน B

สมบัติของเจลาติน	เจลาติน A	เจลาติน B
วัตถุดิบ	หนังหมู และกระดูก	กระดูก และหนังสัตว์
สารละลายที่ใช้เตรียมเจลาติน	กรด	ด่าง
ความหนืด	2.0-7.5	2.0-7.5
ค่าพีเอช	3.8-6.0	5.0-7.4
เถ้า (ร้อยละ)	0.3-2.0	0.05-2.0

ที่มา: Proppe (1997) และ Johnson and Peterson (1974)

**2.7.3 วุ้น (Agar)** เป็นสารประกอบ hydrocolloids ได้จากการสกัดสาหร่ายแดง *Gracilaria* หน่วยย่อยพื้นฐานของวุ้นเป็นสารประกอบ Polysaccharide กลุ่ม Galactose วุ้นประกอบด้วย agarose และ agaropectin ซึ่ง agarose เป็นโพลีแซคคาไรด์ประกอบด้วย 1,4 linked 3,6-anhydro-L-galactose และ 1,3 linked b-D-galactose เรียงสลับกันไป (ภาพ 2.8) ส่วน agaropectin เป็นโพลีแซคคาไรด์ซัลเฟตที่มีโครงสร้างเหมือน agarose แต่ 3,6-anhydro-L-galactose บางโมเลกุลถูกแทนที่ด้วยซัลเฟตประมาณร้อยละ 5-8



ภาพ 2.8 โครงสร้างพื้นฐานของวุ้น (scientific psychic, 2011)

วุ้นไม่ละลายในน้ำเย็น ละลายได้อย่างช้าๆ ในน้ำร้อน ละลายได้ดีที่ความเข้มข้นไม่เกิน ร้อยละ 4 ในน้ำเดือด วุ้นมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ให้สารคงรูปที่มีลักษณะแข็ง ยืดหยุ่น เรียกว่า เจล เมื่อเจลได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 85 องศาเซลเซียส ก็จะหลอมละลายอยู่ในรูปของเหลว แต่สามารถย้อนกลับมาอยู่ในรูปเจลอีกครั้ง เมื่ออุณหภูมิประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส วุ้นเกิดเจลได้ที่ความเข้มข้นต่ำเพียงร้อยละ 0.04 โดยไม่ต้องอาศัยสารอื่นๆช่วย ในการเกิดเจล ซึ่งการเกิดเจลแบบนี้ เรียกว่า physical gels (นิธิยา, 2549)

บทบาทของสารเคลือบผิวที่บริโกลได้ต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้

การใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ร่วมกับแคลเซียมกลูโคเนตความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 ในการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่สด ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 70-75 เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าสามารถช่วยชะลอการสุก และการเจริญของเชื้อราได้ Pilar *et al.* (2008) และการศึกษาการพัฒนาสูตรฟิล์มเคลือบบริโกลได้ที่ประกอบด้วยเจลาติน และ ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2.0 และ 1.5 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ได้นานอย่างน้อย 21 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 โดยไม่ทำให้เกิด กลิ่น และรสชาติผิดปกติ (อภิตา และคณะ, 2551)

การศึกษาศาเคลือบผิวที่ประกอบด้วยวิตามินอีความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ร่วมกับ เจลาตินความเข้มข้นร้อยละ 1.0 2.0 และ 3.0 ตามลำดับ และการเคลือบผิวด้วยสารละลายวุ้น ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 2.0 และ 3.0 ตามลำดับ ในการเคลือบผิวชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ พบว่าช่วย ชะลอการเสื่อมคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยผลชมพู่ชุดที่ เคลือบด้วยสารละลายวุ้นความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ที่มีการเติมวิตามินอีร้อยละ 1.0 มีอายุการเก็บ รักษาที่นานที่สุดคือ 12 วัน ส่วนชุดที่เคลือบด้วยสารละลายวุ้นความเข้มข้นร้อยละ 2.0 และ 3.0 ที่มี การเติมวิตามินอีความเข้มข้นร้อยละ 1.0 มีอายุการเก็บรักษาสั้นที่สุด คือ 8 วัน (ณภัทร, 2550)

การศึกษาศาเคลือบผิวที่ประกอบด้วยไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และ 2.5 เคลือบผิวผลมะม่วง ร่วมกับการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนัก พบว่าจะให้ประสิทธิภาพ ในการต่อต้านจุลินทรีย์ โดยสามารถลดการเน่าเสียของผลมะม่วงได้ถึงร้อยละ 85 เมื่อเก็บรักษา เป็นเวลา 9 วัน (วารินทร์ และภาสุรี, 2549)

การศึกษาแอปเปิลพันธุ์ Jonagold ที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1.0 หลังจากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60-70 เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าสามารถชะลอการสุก อัตราการหายใจ และไม่มีกลิ่นผิดปกติเกิดขึ้น (Gemma and Du, 2003)

ศึกษาการใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1.0 เคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา มะเฟือง โดยสามารถเก็บได้นาน 21 วัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (เบญจมาพร และคณะ, 2551)

ศึกษาการใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และ 2.5 เคลือบผิวผลละมุดร่วมกับการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก พบว่า สามารถลดการเน่าเสียของผลละมุดลงได้ถึงร้อยละ 85 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน (วารินทร์ และภาสุรี, 2549)

ปัจจุบันการปรับปรุงคุณภาพของผัก และผลไม้แปรรูปพร้อมบริโภคในระหว่างการเก็บรักษานั้น เริ่มมีการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากขึ้น และมีการศึกษาค้นคว้าอย่างกว้างขวาง ได้มีรายงานการศึกษาการเคลือบมะละกอดิบเส้นพร้อมบริโภคด้วยไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.25 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส นาน 9 วัน พบว่า ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.25 สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ ความแน่นเนื้อ การสูญเสียน้ำหนัก และการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อ *E. coli* ที่ปนเปื้อนให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (เพียงใจ และคณะ, 2551) ส่วนการศึกษาการเคลือบผิวมะม่วงหั่นชิ้นพร้อมบริโภคด้วยไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 และ 2.0 ตามลำดับ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์ พบว่า สามารถยืดอายุการเก็บรักษา ชะลอการเปลี่ยนสีน้ำตาล ชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณวิตามินซี อีกทั้งยังยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดี โดยที่ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2.0 เป็นความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด (Chien P.J. *et al.*, 2007)

## 2.8 การใช้ภาชนะบรรจุหรือวัสดุรองรับสำหรับการบรรจุผลไม้

การเลือกใช้ภาชนะบรรจุมีบทบาทสำคัญในการรักษา และชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลไม้สด ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากภายนอก ให้ความสะดวกในการขนส่ง และการจำหน่าย การใช้ภาชนะบรรจุมีประโยชน์หลายประการ ได้แก่ ป้องกันไม่ให้ผลิตผลเสียหายอันเนื่องมาจากการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ชะลอการสูญเสียน้ำ โดยพบว่าผลิตผลที่อยู่ในภาชนะจะมีการสูญเสียน้ำน้อยกว่าผลิตผลที่ไม่ได้บรรจุในภาชนะ (ปุ่น และสมพร, 2541) บางครั้งมีการใช้แผ่นพลาสติกห่อผลิตผลก่อนนำไปใส่ในภาชนะบรรจุหรือการใช้แผ่นพลาสติกรองไว้ในภาชนะบรรจุก่อนที่จะใส่ผลิตผลลงไปจะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำได้ อีกทั้งช่วยลดการสัมผัสระหว่างกระบวนการขนส่ง เคลื่อนย้าย ขนถ่าย การเลือกใช้วัสดุที่ให้ผลในการป้องกันเพียงพอ และลดการสูญเสียบัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้ภาชนะบรรจุ และวัสดุรองรับได้แก่ รูปทรง ขนาด น้ำหนัก ความเปราะบางคุณสมบัติ ราคา และการใช้ประโยชน์ (สุพจน์, 2553)

ลักษณะความรุนแรงทางกายภาพที่พบระหว่างการขนส่ง ซึ่งมีผลกับคุณภาพของผลไม้ อาจเกิดจากการกดทับ ซึ่งเกิดจากบรรจุภัณฑ์ซึ่งไม่แข็งแรงมากพอ จะทำให้ผลไม้บอบช้ำง่าย หรือการกดทับเกิดเนื่องจากการบรรจุผลไม้มากเกินไป และการจัดวางไม่เหมาะสม มีการเรียงซ้อนกัน

หลายชั้นทำให้สินค้าที่อยู่ข้างล่างได้รับความเสียหาย การกระทบกระช่วนระหว่างการขนส่งกล่องผลไม้ อาจถูกโยนหรือกระทบกับกล่องผลไม้กล่องอื่น หรือตกกระทบพื้น นอกจากนี้การสัมผัสเพื่อนที่ เกิดจากการสัมผัสเพื่อนของพาหนะที่ใช้ขนถ่ายระหว่างการขนส่ง ทำให้เกิดการเสียดสีระหว่าง ผลไม้ด้วยกัน หรือการเสียดสีระหว่างผลไม้กับบรรจุภัณฑ์ ก่อให้เกิดรอยขีด และส่งผลให้ผลไม้ เกิดการเน่าเสียได้ (จิราภา, 2554)

### 2.8.1 ชนิดบรรจุภัณฑ์สำหรับผลไม้

1. แข็งไม้ เป็นบรรจุภัณฑ์พื้นบ้านที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในประเทศ เนื่องจาก ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย แข็งสามารถ บรรจุผลิตผลเกษตรได้ทุกชนิด กันน้ำ และช่วยระบาย อากาศได้ มีรูปทรงหลายแบบเช่น แบบปากกว้าง หรือแบบสอบเรียวลง บรรจุผลิตผลได้ตั้งแต่ 15–25 กิโลกรัม แข็งมีข้อเสียคือ มีโครงสร้างไม่แข็งแรง ทำให้ผลิตผลได้รับการกระทบกระเทือน ง่าย นอกจากนี้เข็งยังอาจทำลายผิวของผลไม้ โดยเฉพาะผลไม้ที่มีผิวบาง การจัดเรียงเพื่อขนส่งทำ ได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่นิยมใช้เข็งสำหรับบรรจุสินค้าเพื่อการส่งออก

2. กล่องกระดาษลูกฟูก เป็นภาชนะที่นิยมใช้บรรจุผลิตผลเกษตรเพิ่มขึ้นใน ปัจจุบัน แบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ แบบฝากล่องสวมทับตัวกล่อง และแบบธรรมดา ขนาด ความจุ และความแข็งแรง แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัสดุ และโครงสร้างที่ใช้ ดังนั้นการ เลือกใช้กล่องแบบใดจึงขึ้นอยู่กับประเภท และน้ำหนักของสินค้าเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับวิธีการลำเลียง และขนส่งอีกด้วย รูปแบบของกล่องกระดาษลูกฟูก เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ กล่องกระดาษลูกฟูกได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถออกแบบได้หลากหลายเพื่อความ เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆ กล่องรูปแบบต่างกันจะมีความสามารถรับน้ำหนักได้ต่างกัน อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกับความแข็งแรงของกล่องก็คือ รูที่เจาะเพื่อระบายอากาศ เนื่องจากการเจาะรู เป็นส่วนสำคัญสำหรับบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้ การเจาะรูจะส่งผลให้ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ ลดลง ดังนั้นจึงไม่ควรเจาะรูให้มีพื้นที่รูเกินกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ทั้งหมด รูไม่ควรอยู่ใกล้กัน และ อยู่ใกล้มุมกล่อง และรูควรมีรูปร่างกลม ขนาดเล็ก จะช่วยให้บรรจุภัณฑ์แข็งแรงมากกว่ารูปร่างรี ขนาดเล็ก กล่องกระดาษลูกฟูกมีข้อดีคือ มีผิวเรียบไม่ทำความเสียหายกับผลิตผล และช่วยป้องกันการ กระทบกระเทือน นอกจากนี้ยังสามารถพิมพ์รายละเอียดของสินค้าเพื่อดึงดูดความสนใจ ช่วยรักษา ลังแวดล้อมโดยสามารถนำกลับมาเข้าขบวนการผลิตใหม่ได้ ข้อเสียของกล่องกระดาษลูกฟูกคือ ต้องระมัดระวังเรื่องความชื้น การระบายอากาศ ระบายได้เฉพาะบริเวณที่มีการเจาะรู ในการใช้ กล่องกระดาษลูกฟูกอาจมีการประยุกต์ใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกในรูปแบบของการจัดเป็นไส้ เพื่อ ป้องกันการสัมผัสโดยตรงของผลไม้ และยังช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่ตัวกล่องลูกฟูก และช่วย ป้องกันความเสียหายจากการกระทบ

3. ภาชนะพลาสติกแบบคงรูป พลาสติกเข้ามามีบทบาทกับบรรจุภัณฑ์ผลไม้มากขึ้นเนื่องจาก คุณสมบัติเด่นของพลาสติกคือ ความแข็งแรง ทนทาน วางซ้อนได้ดี ทนต่อความชื้น ผิวภายในเรียบไม่ทำลายผลผลิต ทำความสะอาดง่าย นำกลับมาใช้ได้ใหม่ แต่พลาสติกมีราคาค่อนข้างแพงจึงเหมาะสมควรกับการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน นอกจากนี้ยังมีลักษณะเป็นโฟมทำจากโพลิสไตรีน (PS) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุนเหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุกันกระแทก

4. โฟม เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภทหนึ่ง ที่ผ่านปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ โดยพลาสติกที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตโฟมมีหลายชนิด เช่น โพลีเอทิลีน (PE) โพลิสไตรีน (PS) เป็นต้น ชนิดที่นิยมที่สุดคือ โพลิสไตรีนที่ขยายตัวแล้ว (expanded polystyrene) หรือเรียกย่อๆ ว่า EPS เนื่องจากโฟมมีคุณสมบัติเด่นเหนือวัสดุอื่นตรงที่มีความหนาแน่นต่ำ มีความยืดหยุ่นป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี อีกทั้งขึ้นรูปให้เป็นรูปทรงต่างๆ ได้ง่าย ซึ่งใช้เงินทุนไม่สูงมากนัก ดังนั้นบรรจุภัณฑ์โฟม จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โฟมแบ่งออกได้เป็นหลายชนิดตามลักษณะรูปทรง สำหรับโฟมที่นิยมใช้กับผลไม้คือ โฟมชนิดถาดแบน ซึ่งเวลาใช้จะมีการห่อรัดด้วยฟิล์มยืดใสที่ทำมาจากโพลีไวนิลคลอไรด์ เพื่อป้องกันฝุ่น ละออง และช่วยเก็บรักษาความสดของผลผลิตได้ (จิราภา, 2554)

## 2.9 หม่อน และการใช้ประโยชน์จากผลหม่อน

หม่อน (Mulberry) เป็นพืชในตระกูล *Maraceae* และมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Morus spp.* เป็นไม้ยืนต้นจำพวกไม้พุ่ม มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเขตกึ่งหนาว พันธุ์หม่อนที่นิยมปลูกในประเทศไทยคือ พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์บุรีรัมย์ 60 พันธุ์นครราชสีมา 60 และพันธุ์ศรีสะเกษ 33 หม่อนจัดเป็นไม้ผลในกลุ่ม hard wood ตาดอกเป็นชนิดदारวม ส่วนลักษณะของดอกเป็นทั้งแบบดอกที่มีเกสรตัวผู้ และตัวเมียแยกกันคนละต้น หรือบางพันธุ์อาจเป็นดอกที่มีเกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกัน การพัฒนาของผลหม่อนจะเริ่มจากดอกของหม่อนที่แตกออกมาพร้อมกับใบ จากนั้นจะบานออกหลังจากแตกช่อใบพร้อมช่อดอกประมาณ 8-12 วัน สีของผลหม่อนจะเริ่มจากสีเขียว ขาว ชมพูแดง และมีสีแดงเข้มถึงสีม่วงดำทั้งผล ผลหม่อนจะมีช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่สั้นเพียง 3 เดือน ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนของทุกปีเท่านั้น (ปัทมาภรณ์, 2546) นอกจากนี้หม่อนจะมีผลให้เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูกลางแล้ว ยังสามารถบังคับให้หม่อนติดผลนอกฤดูกลางได้โดยการริดใบ ตัดยอด และโน้มกิ่ง ระยะเวลาการโน้มกิ่งจะอยู่ในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนมกราคม (วสันต์, 2546)

หม่อนเป็นผลไม้ที่มีสัดส่วนความเปรี้ยว และหวานที่สมดุลกัน ผลหม่อนสุกที่ใช้บริโภค เป็นผลไม้มีอีกชื่อหนึ่งว่า หม่อนผลสด หม่อนพันธุ์เชียงใหม่เป็นพันธุ์หม่อนที่นิยมปลูกเพื่อการ บริโภคสด และการแปรรูป มีลักษณะเด่น คือ ผลขนาดใหญ่ อวบน้ำ รสชาติหวานกลมกล่อม อีกทั้งขยายพันธุ์ได้ง่าย และยังสามารถกำหนดเวลาการให้ผลผลิตได้โดยการบังคับให้ออกดอก นอกฤดูปลูก หม่อนพันธุ์เชียงใหม่มีการปลูกกระจายทั่วไปทางภาคเหนือตอนบน และในหมู่บ้าน ชาวไทยภูเขา ให้ผลผลิตผลหม่อนประมาณ 600-700 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และเมื่อมีอายุมากขึ้นจะ ให้ผลผลิตไม่ต่ำกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ส่วนหม่อนพันธุ์ที่เก็บผลผลิตไปหม่อนไปใช้ในการ เพาะเลี้ยงตัวหนอนไหม ได้แก่ หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์ศรีสะเกษ 33 ใบหม่อนมีลักษณะ นุ่ม เหนียว และทนทานต่อโรค โดยให้ผลผลิตใบหม่อนประมาณ 4,300 และ 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ ต่อปี ตามลำดับ (วสันต์, 2546)

การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวผลหม่อนสุกพันธุ์เชียงใหม่ พบว่าผลหม่อนในฤดูจะมี คุณภาพทางเคมีมากกว่าผลหม่อนนอกฤดู โดยผลหม่อนห้าม (สีแดงร้อยละ 50 และสีม่วงดำ ร้อยละ 50) และผลหม่อนสุก (สีม่วงดำทั้งผล) มีคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส เหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อบริโภคผลสดมากที่สุด (ปัทมาภรณ์, 2546)

การเก็บเกี่ยวผลนับเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกิจกรรมภายในสวน ก่อนเข้าสู่กระบวนการ เก็บรักษาผล การขนส่ง และการตลาด เนื่องจากผลหม่อนมีผลขนาดเล็ก และมีระยะเวลาการสุก ของผลไม่พร้อมกัน แต่เป็นการค่อยๆ สุกทีละผล ทำให้ต้องเก็บเกี่ยวผลผลิตเป็นระยะเวลานานเป็น เดือน อีกทั้งผลหม่อนเป็นผลไม้ที่มีผิวบาง และบอบช้ำง่าย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลหม่อนจึงต้องใช้ ความระมัดระวัง การเก็บเกี่ยวผลหม่อนเพื่อรับประทานผลสด จะเก็บเมื่อผลหม่อนเริ่มเปลี่ยนสีจาก สีแดงเป็นสีแดงดำโดยการใช้มือเก็บทีละผล หลังจากนั้นนำมาบรรจุในกล่องกระดาษโดยเรียงเป็น ชั้นๆ ไม่เกิน 2 ชั้นเพื่อรอการขนส่ง และจำหน่ายต่อไปหากไม่สามารถขนส่งได้ทันทีควรเก็บไว้ใน ห้องเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือหากต้องการเก็บรักษาผลหม่อนได้เป็นระยะเวลานาน 2-3 วัน โดยที่คุณภาพของผลหม่อนยังคงเดิม คือ มีรสชาติหวานอมเปรี้ยว โดยมีปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 8-10 องศาบริกซ์ และมีปริมาณกรด 1.7-2.0 กรัมต่อลิตร มีสีแดงอมม่วง หรือดำ ควรเก็บในระยะที่มีผลสีแดงเข้มแล้วนำมาใส่ในภาชนะที่โปร่งวางซ้อนกันไม่สูงมากนัก

มีรายงานการวิจัยพบว่า หม่อนผลสดมีสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) สารประกอบ ฟีนอล (phenolic compounds) และสารเคอร์ซีทิน (quercetin) ที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) โดยผลหม่อนสุกมีปริมาณสารต่างๆสูงกว่าผลหม่อนห้าม ผลหม่อนสุกสดมีปริมาณ สารแอนโทไซยานินเท่ากับ 2,940.70 ไมโครกรัมต่อกรัม สารประกอบฟีนอลเท่ากับ 3,716.24 ไมโครกรัมต่อกรัม (สงกรานต์, 2551) และปริมาณเคอร์ซีทินเท่ากับ 3.42 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม



ในผลหม่อนสุกแห้งมีอยู่ 17.63 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (วสันต์, 2546) สารประกอบฟีนอลมีสมบัติในการยับยั้งการแข็งตัวของเกล็ดเลือด ต่อต้านการอักเสบและบวม และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ผลหม่อนยังมีสรรพคุณทางด้านยาสมุนไพร เช่น รักษาโรคไขข้ออักเสบ โรครูมาติก โรคโลหิตจาง ซาตามแซนซา นอนไม่หลับ บำรุงหัวใจ บำรุงโลหิต บำรุงไต บำรุงสายตา ลดการอักเสบของลำคอ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน รวมไปถึงโรคมะเร็ง (Du *et al.*, 2008) ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลหม่อน พบว่ามีคาร์โบไฮเดรต 21.35 กรัมต่อ 100 กรัม เหล็ก 43.48 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และวิตามินบี 1 50.65 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมต่อน้ำหนักแห้ง (วสันต์, 2546)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลหม่อน

การศึกษาคุณภาพของผลหม่อนในประเทศไทย มีรายงานว่าผลหม่อนสุกพันธุ์เชียงใหม่มีสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารแอนโทไซยานิน สารเคอร์ซีทิน และดัชนีการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามระยะความสุกที่เพิ่มขึ้น โดยผลหม่อนสุก (สีม่วงดำทั้งผล) พบสารกลุ่มนี้มีปริมาณสูงสุด คือ  $3,654.97 \pm 7.59$   $2,512.40 \pm 11.32$   $1.81 \pm 1.00$  ไมโครกรัมต่อกรัม และ  $6.89 \pm 0.53$  ตามลำดับ (สมชาย และคณะ, 2550) สำหรับในต่างประเทศได้มีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลหม่อนดำ (*Morus nigra* L.) ผลหม่อนแดง (*Morus rubra* L.) และผลหม่อนขาว (*Morus alba* L.) พบว่ามีสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และสารเคอร์ซีทินเพิ่มขึ้นตามระยะความสุกที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยผลหม่อนดำมีปริมาณสูงสุด เท่ากับ 14.22 และ 2.76 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนผลหม่อนขาวมีปริมาณไขมันสูงสุด คือ ร้อยละ 1.10 สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 15.90-20.40 องศาบริกซ์ ปริมาณกรดทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.25-1.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วงร้อยละ 3.52-5.60 และปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 0.19-0.22 มิลลิกรัม ต่อกรัม (Ercisli and Orhan, 2006)

การยืดอายุการเก็บรักษาของผลหม่อนสุกพันธุ์เชียงใหม่โดยใช้สารเคมี พบว่าการไม่เติมสารให้ความหวาน และไม่เติมโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) สามารถเก็บรักษาผลหม่อนที่อุณหภูมิห้องสูงสุดได้เพียง 2 วัน แต่ถ้ามีการเติมน้ำตาลซูโครสร่วมกับการเติมโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถเก็บรักษาผลหม่อนสุกที่อุณหภูมิห้องได้นาน 90 วัน แต่การเก็บรักษาวิธีนี้เหมาะสำหรับการนำผลหม่อนไปผลิตเป็นไวน์ (สุวรรณ, 2548) นอกจากนี้ยังพบว่า การเก็บรักษาหม่อนผลสดพันธุ์เชียงใหม่ ในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มโพลีไวนิลคลอไรด์ สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นาน 2 วัน สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษา

ผลหม่อนเพื่อรับประทานสด คือ การเก็บหม่อนสุกในถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์ม และเก็บในตู้เย็น อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นาน 14 วัน (ชิตินันท์, 2549)

สำหรับการเคลือบผิวหม่อนผลสดนั้นยังมีการศึกษาไม่มาก มีการศึกษาการใช้ 1- เมทิลไซโคลโพรพีน (1-MCP) รมผลหม่อนก่อนการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน และบรรจุในกล่องพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 พบว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1.0 ร่วมกับ 1-MCP มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาผลหม่อนได้ดีกว่าการเคลือบไคโตซานเพียงอย่างเดียว (กษวรรณ และคณะ, 2550) และการศึกษาการพ่นไคโตซานความเข้มข้น 500-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร บนผลหม่อนสุกก่อนการเก็บเกี่ยว แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90±5 พบว่าช่วยลดการเน่าเสียของผลได้ และเก็บรักษาได้นาน 5-7 วัน (สุจริต และคณะ, 2554)

การศึกษาเกี่ยวกับชนิดของภาชนะบรรจุที่ช่วยลดความสูญเสีย และชะลอการเปลี่ยนแปลงเพื่อยืดอายุการวางจำหน่าย พบว่าการบรรจุหม่อนผลสดในบรรจุภัณฑ์พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) พอลิโพรพิลีน (PP) พอลิเอทิลีน (PE) และ clam shell (ทำจาก PE) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85-90 พบว่า สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 7-10 วัน และบรรจุภัณฑ์ clam shell มีความเหมาะสมสำหรับการบรรจุผลหม่อนเพื่อขายปลีก แต่ไม่เหมาะสมในการเก็บรักษา (สมโภชน์ และพลฤกษ์, 2554)