# บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลสาลี่ที่ปลูกในเขตพื้นที่สูงของประเทศไทยและสามารถเจริญให้ผลผลิตได้ดีนั้นจะเป็นผลสาลี่ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่น เช่น ประเทศจีนตอนกลาง ตอนใต้ของญี่ปุ่น และเกาหลี มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pyrus pyrifolia* Nakai ส่วนชื่อสามัญมีชื่อเรียกหลายชื่อตามแหล่งกำเนิด และตามลักษณะที่พบ เช่น Chinese, Japanese, Asian, Oriental, Sand, Water, Apple, Salad, Nihonnashi หรือ Shelea pear จัดอยู่ใน Order Rosales, Family Rosaceae และ Genus *Pyrus* (ปวิณ และคณะ, 2537 ; Westwood, 1978 ; Kadam *et al*., 1995 ; Jackson and Looney, 1999)

## 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ผลสาลี่เป็นไม้ผลยืนต้นซึ่งส่วนมากเป็นชนิดผลัดใบ มีลักษณะทางพฤษศาสตร์ ดังนี้

ลำต้น : รูปทรงสูงชะลูดเป็นทรงต้นสน หรือปิรามิด สูงเต็มที่อาจสูงถึง 15 เมตร

ใบ : สีเขียวเข้ม หนา มีรูปร่างหลายแบบ คือ รูปกลม รูปไข่ (ovate) หรือคล้ายใบโพธิ์ (cordate) ขอบใบเป็นแบบฟันเลื่อย (serrate) ซี่มน (crenate) หรือขอบใบเรียบ (entire)

ดอก : ออกเป็นช่อแบบ raceme หรือ umbel เจริญมาจากตาผสม (mix bud) ส่วนใหญ่เกิดบน spur หรือกิ่งสั้นๆ ดอกมีสีขาว ประกอบด้วยกลีบ 5 กลีบ เป็นดอกสมบูรณ์เพศ

ผล : เป็นผลประเภท pome fruit ที่เจริญมาจากฐานรองดอก (receptacle) ผลมีลักษณะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ บางพันธุ์ผลมีลักษณะกลม รูปไข่ รูประฆัง ฯลฯ ขนาดตั้ง แต่ผลเล็กจนถึงใหญ่สุดอาจจะมีน้ำหนักมากกว่า 1 กิโลกรัม สีผลมีทั้งสีเขียว สีเขียวอมเหลือง สีเหลืองอมเขียว สีเหลือง และสีน้ำตาล เป็นต้น (สังคม, 2532 ; สุรินทร์, 2534 ; ปวิณและคณะ, 2537 ; Hulme and Rhodes, 1971 ; Westwood, 1978 ; Kadam *et al*., 1995)

## 2.2 พันธุ์ผลสาลี่

สาลี่เริ่มนำมาทดลองปลูกและมีการศึกษาอย่างจริงจังในบริเวณพื้นที่สูงของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 โดยนำสายพันธุ์ผลสาลี่มาจากยุโรป สหรัฐอเมริกา และเอเชีย ซึ่งบางพันธุ์สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดี สามารถส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเป็นการค้าได้ ในระยะแรกพันธุ์ผลสาลี่ที่ส่งเสริมให้ปลูกเป็นการค้า ได้แก่ พันธุ์ Pathanak, Pien Pu, Yokoyama Wase, Sung Mao และ Xiang Sui (ปวิณและคณะ, 2537 ; สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่, 2541) ปัจจุบัน

พบว่าสาลี่พันธุ์ Pathanak, Pien Pu และ Sung Mao นั้นมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตไม่ดี โดยเฉพาะพันธุ์ Sung Mao ซึ่งให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี แต่เป็นพันธุ์ที่ต้องการอากาศหนาวเย็นมากกว่าพันธุ์อื่น จึงไม่ได้ส่งเสริมให้ปลูกเป็นการค้า ต่อมาได้มีการวิจัยและปรับปรุงพันธุ์สาลี่เพื่อให้ได้พันธุ์ใหม่ๆ ที่ให้ผลผลิตดีและมีคุณภาพ จึงได้นำผลสาลี่พันธุ์ลูกผสมจากไต้หวัน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ SH 078, SH 085 และ SH 029 เข้ามาขยายพันธุ์บนสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง พบว่าสามารถออกดอก ติดผลดี และมีคุณภาพผลดี จึงได้นำไปส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเป็นการค้าตั้งแต่ปีพ.ศ. 2541 เป็นต้นมา เพิ่มเติมจากสายพันธุ์เดิม 2 สายพันธุ์ คือ Yokoyama Wase และ Xiang Sui

1. Yokoyama Wase เป็นพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุด ทรงพุ่มใหญ่ แข็งแรง ทนทานต่อโรค และแมลงได้ดี ต้องการความหนาวเย็นน้อยกว่าพันธุ์อื่น สามารถปลูกได้ดีบนพื้นที่มีระดับความสูง 800 เมตรขึ้นไป คุณภาพผลปานกลาง ผลมีลักษณะกลม ผิวผลสีน้ำตาล เมื่อผลแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง ให้ผลผลิตก่อนพันธุ์อื่น ประมาณเดือนกรกฎาคม – กันยายน

2. Xiang Sui เป็นพันธุ์ที่ปลูกน้อยมาก แม้จะมีรสชาติดี ต้องการอากาศหนาวเย็นมากกว่าพันธุ์ Yokoyama Wase สามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ดีบนพื้นที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป ต้นค่อนข้างอ่อนแอ ให้ผลผลิตต่ำ ผลมีลักษณะค่อนข้างกลม ผลมีสีเขียวอมเหลือง รูปทรงระฆัง ให้ผลผลิตประมาณเดือนสิงหาคม

3. SH 078 ผลมีสีน้ำตาลอ่อน ขนาดผลปานกลาง น้ำหนักผลประมาณ 260 กรัม เมื่อผลสุกมีกลิ่นหอม รสชาติหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 12.8 เปอร์เซ็นต์ เนื้อผลละเอียด กรอบ ไม่มีกากและเม็ดทราย เมล็ดมีสีน้ำตาลขาว

4. SH 085 ผลมีสีน้ำตาลอ่อน ขนาดผลปานกลาง น้ำหนักผลประมาณ 215 กรัม เมื่อผลสุกมีกลิ่นหอมมาก รสชาติหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 11.0 เปอร์เซ็นต์ เนื้อผลละเอียด กรอบ ไม่มีกากและเม็ดทราย เมล็ดมีสีน้ำตาลขาว

5. SH 029 ผลมีสีเขียวอมเหลือง ขนาดผลปานกลาง น้ำหนักผลประมาณ 210 กรัม รสชาติหวาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ประมาณ 11.5 เปอร์เซ็นต์ เนื้อผลละเอียด กรอบ มีกากและเม็ดทรายเล็กน้อย เมล็ดมีสีน้ำตาลขาว (สัณห์, 2528 ; สุรินทร์, 2534 ; ปวิณและคณะ, 2537 ; สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่, 2541 ; จตุรพร, 2542)

**2.3 ดัชนีการเก็บเกี่ยวผลสาลี่**

ผลิตผลทางการเกษตรจะมีคุณภาพดี และมีอายุการเก็บรักษานาน หากเก็บเกี่ยวในระยะเวลาที่เหมาะสม Ryall and Lipton (1979) รายงานว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมักจะเป็นช่วงวิกฤติสั้นๆ และมีผลกระทบอย่างมากต่อคุณภาพของผลสาลี่ภายหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งถ้า

เก็บเกี่ยวเร็วเกินไปจะทำให้ผลสุกไม่สม่ำเสมอ เกิดร่องรอยของการเสื่อมที่ผิวหรือมีลักษณะเหี่ยว อาจพบอาการเนื้อตายภายในผล (core browning) ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบมากในผลสาลี่พันธุ์ Bartlett ส่วนการเก็บเกี่ยวช้าเกินไปมีผลทำให้อายุการเก็บรักษาสั้น มีลักษณะทางกายภาพผิดปกติ และอาจพบอาการ core break down ในระหว่างการเก็บรักษา ผลมีคุณภาพต่ำ เกิดการเสื่อมสลาย (senescence) ได้ง่าย (Gast and Aramouni, 1993) ซึ่งคุณภาพผลิตผลจะปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ยาก ภายหลังการเก็บเกี่ยว แต่สามารถที่จะรักษาคุณภาพดีนั้นไว้ได้ หรือชะลอให้สูญเสียน้อยที่สุด (Pantastico, 1975) ดัชนีการเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้เพื่อกำหนดว่าผลไม้ควรจะเก็บเกี่ยวในระยะเวลาใดที่เหมาะสมตามความต้องการของผู้บริโภค และทำให้ผลไม้นั้นมีคุณภาพที่ดีภายหลังเก็บเกี่ยวมาแล้ว (สายชล, 2528) การจะใช้ดัชนีชนิดใดเป็นมาตรฐานในการเก็บเกี่ยวจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของผลสาลี่ สภาพพื้นที่ปลูก และวิธีทางเขตกรรม และฤดูกาล โดยอาจพิจารณาจากดัชนีต่างๆ อาทิเช่น สีผิว (ground colour) ความแน่นเนื้อ (flesh firmness) ปริมาณกรด (total acids) และการนับอายุหลังดอกบาน (days after full bloom) เป็นต้น (Ryall and Lipton, 1979 ; Westwood, 1978)

1. การคำนวณจากการเจริญเติบโตของผล โดยการนับจำนวนวันภายหลังจากดอกบาน ซึ่งผลสาลี่แต่ละพันธุ์จะมีจำนวนวันภายหลังดอกบานจนถึงผลสุกไม่เท่ากัน เช่น ผลสาลี่พันธุ์ Bartlett ในฤดูร้อนมีอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม คือ 110–135 วัน ส่วนผลสาลี่พันธุ์ d' Anjou ในฤดูหนาวอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม คือ 140–165 วัน (Gast and Aramouni, 1993 ; Kadam *et al.*, 1995) พันธุ์ Yokoyama Wase และ Xiang Sui อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมสำหรับบริโภคสด คือ 175 และ 147 วัน ภายหลังดอกบาน ตามลำดับ (สังคม, 2532 ; ปวิณและคณะ, 2537)

2. การประเมินด้วยสายตา (visual means) ต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์จากผู้เก็บเกี่ยว เช่น พิจารณาจากสีเปลือก จุดประบริเวณผิวผล ขนาด และรูปร่างผล ผลสาลี่ยุโรปพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่จะเก็บเกี่ยวเมื่อผลยังแข็ง และสีผิวผลยังมีสีเขียว (pre-climacteric) (Salunkhe and Desai, 1984 ; Kadam *et al.*, 1995)

3. การใช้ลักษณะทางกายภาพ (physical characteristics) อาศัยคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตผล เช่น พิจารณาดูการจม-ลอยของผลสาลี่ในน้ำ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะเปลี่ยนด้วย และการวัดความแน่นเนื้อของผล (ตาราง 2.1) ในประเทศสหรัฐอเมริกานิยมใช้ค่าความแน่นเนื้อเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพ และเป็นดัชนีวัดความแก่อ่อนของผลสาลี่ โดยการเก็บเกี่ยวผลสาลี่พันธุ์ Williams (Bartlett) ที่ค่าความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 10 – 7.7 กิโลกรัม พันธุ์ Howell เก็บเกี่ยวที่ความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 7.7 – 6.8 กิโลกรัม พันธุ์ Bosc, Anjou, Packham's Triumph, Easter, Eldorado เก็บเกี่ยวที่ความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 6.8 – 5.9 กิโลกรัม ส่วน

พันธุ์ Winter Nelis เก็บเกี่ยวที่ความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 6.8 – 5.4 กิโลกรัม และพันธุ์ Conference เก็บเกี่ยวที่ความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 6.6 – 5.0 กิโลกรัม โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัด คือ Ballauf fruit pressure tester ใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5/16 นิ้ว (Leonard *et al.*, 1954 ; Gast and Aramouni, 1993 ; Westwood, 1978) ผลสาลี่เอเชียพันธุ์ 10 สายพันธุ์ ได้แก่ Ko Sui, New Century, Shing Sing, Xiang Sui, Pathanak, Pien Pu, Sung Mao, Yokoyama Wase, Yokoyama และ Red Pear ซึ่งปลูกที่สถานีเกษตรหลวงอ่างขางมีความแน่นเนื้ออยู่ในช่วง 6.4 - 18.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Wara-Aswapati and Uthaibutra, 1990)

4. การพิจารณาส่วนประกอบทางเคมี (chemical composition) เป็นการวัดปริมาณของส่วนประกอบทางเคมีของผลสาลี่ เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด ปริมาณแป้ง และอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลต่อกรด ดังแสดงในตาราง 2.1 ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีนี้จะใช้เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงคุณภาพด้านรสชาติได้ด้วย คุณภาพทางเคมีของผลสาลี่เอเชียพันธุ์ 10 สายพันธุ์ ได้แก่ Ko Sui, New Century, Shing Sing, Xiang Sui, Pathanak, Pien Pu, Sung Mao, Yokoyama Wase, Yokoyama และRed Pear ซึ่งปลูกที่สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดประมาณ 9 - 11 เปอร์เซ็นต์ วิตามินซี 3.0 – 17.0 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม ปริมาณกรดทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.6 – 12.0 มิลลิสมมูลต่อ100 มิลลิลิตร และอัตราส่วนของปริมาณน้ำตาลต่อกรด 0.9 – 7.0 (Wara-Aswapati and Uthaibutra,1990) ในต่างประเทศไม่นิยมใช้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เป็นดัชนีบ่งชี้ระยะความแก่อ่อนเพื่อเก็บเกี่ยวผลสาลี่ เนื่องจากมีความผันแปรสูงในแต่ละฤดูกาลผลิต สภาพแวดล้อม และพื้นที่ปลูก (Westwood, 1978 ; Gast and Aramouni, 1993 ; Kadam *et al.*, 1995)

**ตาราง 2.1** ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรด อัตราส่วนน้ำตาลต่อกรด ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานในการเก็บเกี่ยวผลสาลี่ 5 พันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย

| พันธุ์ | ความแน่นเนื้อ ปอนด์/ตารางนิ้ว | ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%) | ปริมาณกรด (%) | อัตราส่วนน้ำตาล/กรด |
|---|---|---|---|---|
| Sung Mao | 6.4 | 11.3 | 0.219 | 51.6 |
| Pien Pu | 10.7 | 11.0 | 0.387 | 28.4 |
| Pathanak | 9.6 | 10.5 | 0.491 | 21.4 |
| Xiang Sui | 9.7 | 9.5 | 0.164 | 57.9 |
| Yokoyama Wase | 8.7 | 9.0 | 0.309 | 29.1 |

ที่มา : ปวิณและคณะ, 2537

**2.4 การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว**

การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยวที่จะนำไปสู่การเสื่อมสภาพของผลิตผล คือ กระบวนการสุกของผลไม้ จะเกิดต่อเนื่องจากระยะที่ผลไม้แก่จัด เป็นระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางสรีรวิทยา ทางกายภาพ และทางเคมี ซึ่งไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เป็นระยะที่มีกระบวนการสังเคราะห์ (synthetic phase) มากกว่ากระบวนการสลาย (degradative phase) แสดงในภาพ 2.1 การทราบถึงการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการสุกของผลไม้จะช่วยให้เลือกระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลไม้ได้อย่างเหมาะสม และปฏิบัติต่อผลไม้ได้อย่างถูกต้อง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสุกมีดังนี้ (จริงแท้, 2538 ; ดนัย, 2540 ; Hulme and Rhodes, 1971 ; Westwood, 1978 ; Kadam *et al.*, 1995)

**1. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี** ระหว่างกระบวนการสุกจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีต่างๆ

*1.1 การเปลี่ยนสีของผลไม้* ในระหว่างการสุกของผลไม้ส่วนใหญ่จะมีการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ (chlorophyll) ทำให้สีเขียวหายไป การสลายตัวของคลอโรฟีลล์เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟฟีลเลส (chlorophyllase) โดยตัดหมู่ไฟตอล (phytol) ออกจากโมเลกุลของคลอโรฟีลล์ ซึ่งคาดว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ ขณะที่ผลไม้กำลังสุกในเนื้อเยื่อจะมีการสังเคราะห์เอทิลีนที่ช่วยเร่งการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ โดยจะพบว่าเอนไซม์ออกซิเดส (oxidase) มีกิจกรรมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟีลล์ที่ลดลง ในผลกล้วยและผลสาลี่พบว่าการลดลงของคลอโรฟีลล์จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการสลายตัวของคลอโรพลาสต์ และสีของแคโรทีนอยด์ (carotenoids) แซนโทฟีลล์ (xanthophylls) หรือแอนโท-ไซยานิน (anthocyanins) ที่ถูกบังไว้โดยสีเขียวของคลอโรฟีลล์จะแสดงตัวออกมา ทำให้เกิดสีเหลือง ส้ม แดง น้ำเงิน หรือสีอื่นๆ ขึ้น (ดนัย, 2540 ; Nip, 1988 ; Westwood, 1978) การได้รับอุณหภูมิสูงระหว่างการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาจะเร่งให้มีการเปลี่ยนสีผิวได้เร็วขึ้น (Kadam *et al.*, 1995) ผลสาลี่พันธุ์ Super Tr'evoux และ Spadona เมื่อเริ่มสุกบริเวณเปลือกมีปริมาณคลอโลฟีลล์ 4.5 และ 45.0 ไมโครกรัม โดยผลสาลี่พันธุ์ Spadona เปลือกยังเป็นสีเขียวขณะสุก และพันธุ์ Super Tr'evoux เปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองขณะสุก (Gross, 1987)

*1.2 การเปลี่ยนแปลงรสชาติ* เกิดจากการลดลงของปริมาณกรด แทนนิน และมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลทำให้มีความหวานเพิ่มขึ้น โดยสตาร์ชที่สะสมอยู่ในผลจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล เกิดสารให้กลิ่น (aromatic ester) เฉพาะตัวของผลไม้ (Hulme and Rhodes, 1971)

ผลสาลี่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) อยู่ในช่วง 8 – 11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนที่บริโภคได้ ชนิดของน้ำตาลประกอบด้วย ฟรุกโตส (fructose) กลูโคส (glucose) ซอบิทอล (sorbitol) ซูโครส (sucrose) กาแลคโตส (galactose) และอะราบิโนส (arabinose) (Kadam *et al.*, 1995 ; Visser *et al.*, 1995) ปริมาณน้ำตาลที่พบส่วนใหญ่ในผลสาลี่ คือ ฟรุกโตสมีประมาณ 7.0 เปอร์เซ็นต์ และมีกลูโคส 2.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนที่บริโภคได้ รวมเรียกเป็น Reducing sugars และน้ำตาลที่เป็น Non-reducing sugars คือ ซูโครสมี 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนที่บริโภคได้ (กนกมณฑล, 2526 ; ดนัย, 2540 ; Visser *et al.*, 1995 ; Whiting, 1970 ; Kays, 1991) ผลสาลี่พันธุ์ Bartlett เมื่อเก็บเกี่ยวมาจะมีปริมาณน้ำตาลอยู่ 12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 19 ± 1 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นเป็น 13.5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการบ่ม ปริมาณน้ำตาลลดลงเหลือ 12.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Akhavan and Wrolstad, 1980) เมื่อผลสุกจะเกิดกลิ่น (aroma) เฉพาะตัวของผลไม้ซึ่งเกิดจากสารประกอบหลายชนิดจากกระบวนการต่างๆ เช่น Oxidative degradation ของไขมันและเกิดจากกรดอะมิโน เป็นต้น สารที่ให้กลิ่น (aromatic volatile) ในผลสาลี่พันธุ์ Bartlett มีมากกว่า 77 ชนิด ส่วนใหญ่สารที่ให้กลิ่นของผลสาลี่จะเป็นพวกแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลสายสั้นๆ ที่สามารถระเหยได้ (volatile esters) เช่น acetate, decenoates และ α - farnesene ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการบ่มของผลสาลี่พันธุ์ Bartlett (Jenning *et al.*, 1964 ; Jennigs and Tressl, 1995 ; Eskin, 1991) รสเปรี้ยวของผลไม้เกิดจากกรดอินทรีย์ ซึ่งอยู่ในแวคคิวโอของเซลล์ กรดที่พบมากในผลสาลี่ คือ กรดมาลิก (malic acid) ซิตริก (citric acid) และคิวนิก (quinic) (ช.ณิฏฐ์ศิริ, 2527 ; Ulrich, 1970 ; Westwood, 1978 ; Akhavan and Wrolstad, 1980 ; Kadam *et al.*, 1995) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของผลสาลี่อยู่ในช่วง 2.6 – 5.4 (Visser *et al.*, 1995) ผลสาลี่มีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ค่อนข้างต่ำ เช่น ผลสาลี่พันธุ์ Bartlett มีปริมาณกรดทั้งหมดประมาณ 0.21 – 0.53 กรัมต่อน้ำผลสาลี่ 100 มิลลิลิตร (Akhavan and Wrolstad, 1980) ส่วนในผลสาลี่เอเชียพันธุ์ Pien Pu, Pathanak, Yokoyama Wase, Xiang Sui และ Sung Mao ภายหลังเก็บเกี่ยวมีปริมาณกรดมาลิกเท่ากับ 0.43, 0.42, 0.30, 0.21 และ 0.14 มิลลิกรัมต่อน้ำผลสาลี่ 100 มิลลิลิตร (Sornsrivichai *et al.*,1990a) ปริมาณกรดทั้งหมดจะลดลงภายหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากกรดถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ โดยทั่วไปปริมาณน้ำตาลและอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรดนั้นใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงคุณภาพด้านรสชาติของผลไม้ (ดนัย, 2540 ; Kays *et al.*, 1991; Kadam *et al.*, 1995)

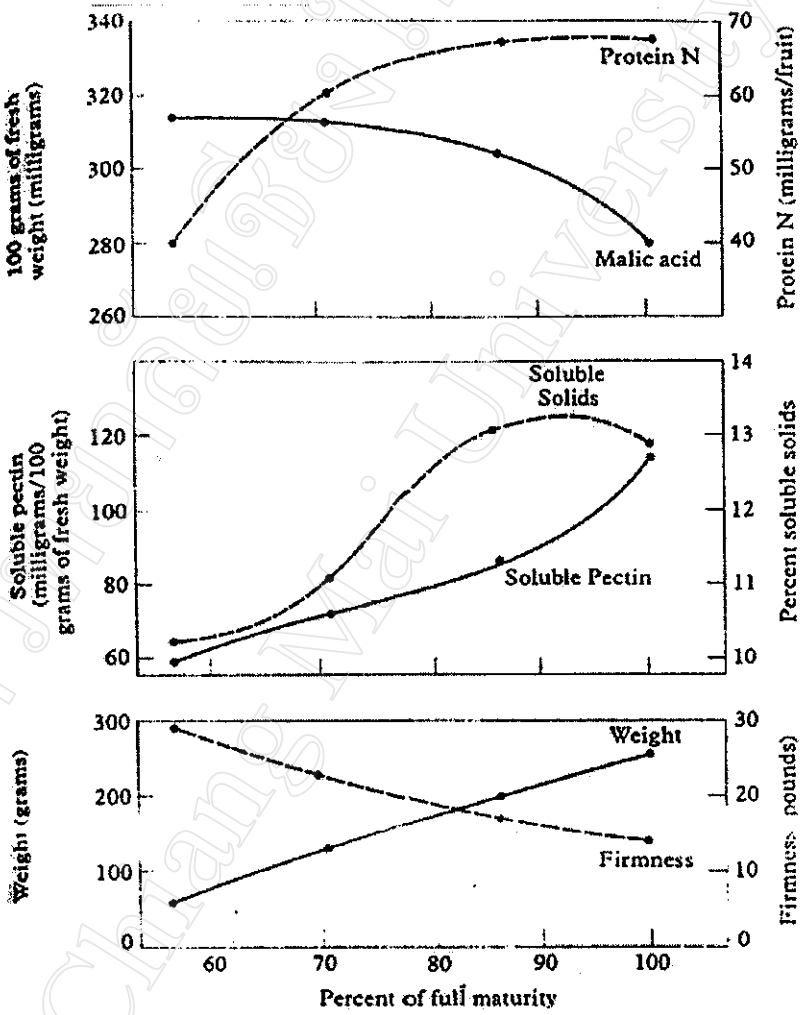
*1.3 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของผนังเซลล์* มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้ ขณะที่ผลไม้ยังดิบเนื้อจะแข็งเนื่องจากเพกตินอยู่ในรูปของโปรโตเพกติน (protopectin) ที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อผลไม้สุกจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปกรดเพกติก (pectic acid) และกรด

เพกตินิก (pectinic acid) ที่ละลายน้ำได้โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์โพลีกาแลกตูโรเนส (polygalacturonase) และเพกตินเอสเตอเรส (pectinesterase) สลายโพลิเมอร์ของโปรโตเพกตินและไฮโดรไลซ์เอาหมู่เมทิลออกจากโมเลกุลของเพกตินได้เป็นกรดเพกติก ทำให้เนื้อผลไม้อ่อนนิ่มลง และเกิดจากการที่เซลล์เสียความสามารถในการเกาะติดกันในส่วนของมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) ของเซลล์ ซึ่งเป็นผลมาจากการกิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกติน (pectolytic enzyme) ทำให้หมู่คาร์บอกซิลในเพกตินถูกไฮโดรไลซ์ ส่งผลให้เกิดการแตกหักของ Calcium cross-link ระหว่างโมเลกุล ทำให้เนื้อผลอ่อนนิ่ม (Hulme and Rhodes, 1971) ซึ่งผลไม้ประเภท pome นี้ลักษณะของเนื้อสัมผัสสามารถใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวได้ ในผลแอปเปิลและผลสาลี่โปรโตเพกตินจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลเริ่มแก่จัดก่อนการเก็บเกี่ยวและจะลดลงภายหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อผลสาลี่เข้าสู่กระบวนการสุกค่าความแน่นเนื้อจะเริ่มลดลงแสดงในภาพ 2.1 (กนกมณฑล, 2527 ; ดนัย, 2540 ; Westwood, 1974) ผลสาลี่พันธุ์ Bartlett ขณะดิบมีปริมาณของเพกตินที่ละลายได้ 0.07 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อผลสุกจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.7 – 0.8 เปอร์เซ็นต์ (Publication and Information Directorate,1995)

*1.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีอื่นๆ* ตัวอย่างเช่น มีการสังเคราะห์กรดไรโบนิวคลีอิก (RNA) เพิ่มมากขึ้น เช่น mRNA, rRNA และ tRNA โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นของระยะ Climacteric peak ของผลแอปเปิลและผลสาลี่ (ดนัย, 2540) การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน วิตามิน กรดอะมิโน เอนไซม์ และอื่นๆ ซึ่งกระทรวงเกษตรแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Department of Agriculture; USDA) ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลสาลี่พันธุ์ Bartlett โดยวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี พบว่าส่วนประกอบที่สำคัญของผลสาลี่ต่อ 100 กรัม ของส่วนที่บริโภคได้ คือ มีน้ำ 82.70 เปอร์เซ็นต์ และส่วนประกอบที่เหลือ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน (ตาราง 2.2)

**2. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา** การเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัดได้แก่ อัตราการหายใจ และอัตราการสังเคราะห์เอทิลีน

*2.1 อัตราการหายใจ* การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเป็นผลของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ ขณะที่มีการเจริญเติบโตเซลล์ของผลไม้ต้องใช้พลังงานสูง ทำให้มีอัตราการหายใจสูง เมื่ออัตราการเจริญลดลงอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลง และจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อผลไม้เริ่มสุก (ภาพ 2.2) การหายใจของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานสารอาหาร คือ คาร์โบไฮเดรตให้ไปอยู่ในรูปของพลังงานเคมี คือ Adenosine triphosphate (ATP) เพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ทำให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นอายุการเก็บรักษารวมทั้งคุณภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจเป็นสำคัญ (สายชล, 2528 ; จริงแท้, 2538 ; ยงยุทธ, 2535 ; ดนัย, 2540) การหายใจมี 2 แบบ ได้แก่




**ภาพ 2.1** การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ และส่วนประกอบทางเคมีของผลสาลี่

ที่มา : Westwood (1978)

**ตาราง 2.2** ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของผลสาลี่พันธุ์ Bartlett

| ส่วนประกอบทางเคมี | ปริมาณในผลสาลี่สด ต่อ100 กรัมของส่วนที่บริโภคได้ |
|---|---|
| น้ำ (เปอร์เซ็นต์) | 82.70 |
| พลังงาน (กิโลจูล) | 264.60 |
| โปรตีน (กรัม) | 0.70 |
| ไขมัน (กรัม) | 0.40 |
| คาร์โบไฮเดรต (กรัม) | 15.80 |
| เยื่อใย (กรัม) | 1.40 |
| เถ้า (กรัม) | 0.40 |
| แคลเซียม (มิลลิกรัม) | 13.00 |
| ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม) | 16.00 |
| เหล็ก (มิลลิกรัม) | 0.30 |
| วิตามิน เอ [(1)] | 20.00[a] |
| ไทอามีน (มิลลิกรัม) | 0.02 |
| ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม) | 0.04 |
| กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม) | 4.00 |

[a] : อิควิวาเลนท์ของ *tran*-retinol

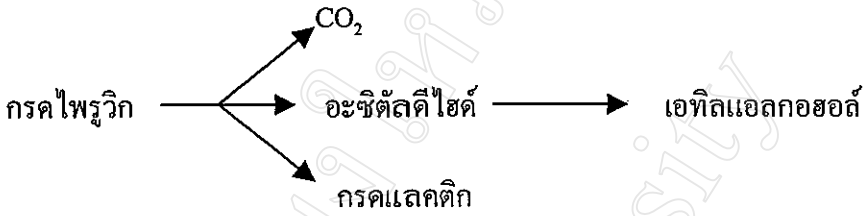
ที่มา : ดัดแปลงจาก Macrae *et al.* (1992) และ [(1)]Gast and Aramouni (1993)

1. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) เป็นการหายใจแบบที่ต้องอาศัยก๊าซออกซิเจนในการออกซิไดซ์น้ำตาลให้เป็น $CO_2$ , $H_2O$ และพลังงาน ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 + O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{พลังงาน}$$

2. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) เป็นการหายใจที่ไม่ใช้ก๊าซออกซิเจนหรือใช้เพียงเล็กน้อย โดยกรดไพรูวิก (pyruvic acid) ที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis system) ไม่ผ่านเข้าสู่กระบวนการ Krebs cycle แต่ถูกรีดิวซ์ไปเป็นกรดแลคติก หรืออะซิตัลดีไฮด์ และเอทิลแอลกอฮอล์ เรียกการหายใจแบบนี้ว่า กระบวนการหมัก

(fermentation) การหายใจแบบนี้เกิดได้ในสภาพมีปริมาณของก๊าซออกซิเจนต่ำในระหว่างเก็บรักษา ดังสมการ (สายชล, 2528 ; จริงแท้, 2538 ; คนัย, 2540 ; Amthor, 1989 ; Kays, 1991)

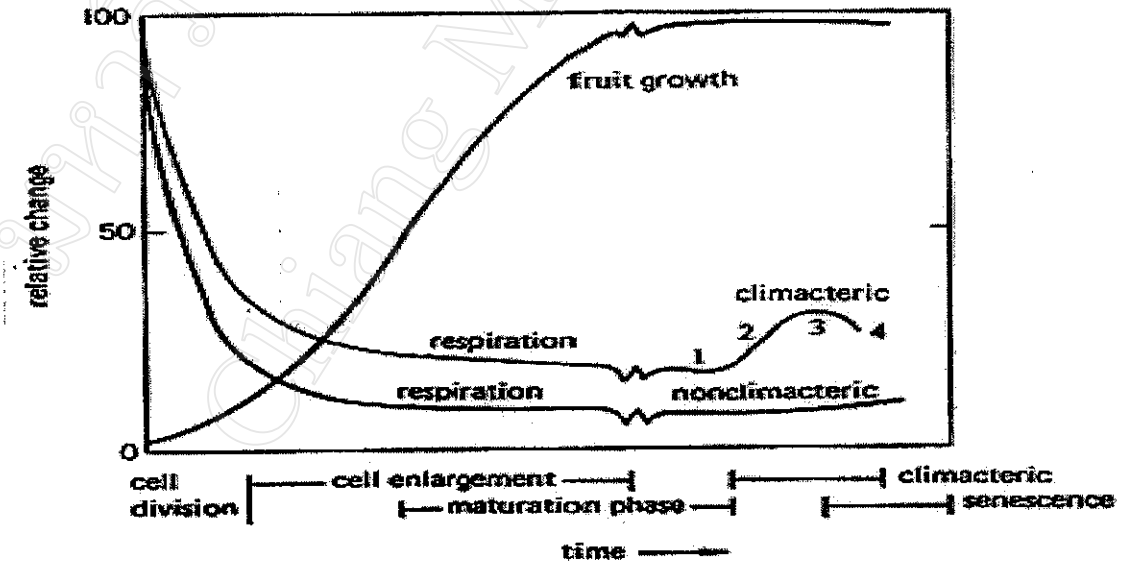



เนื่องจากผลสาลี่เป็นผลไม้ประเภทบ่มสุก จึงมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเริ่มกระบวนการสุก มีการเจริญเติบโตแบบ Single sigmoid curve คือ ผลจะมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยในระยะแรกจะมีอัตราการเจริญที่ค่อนข้างช้า และค่อยๆ เพิ่มเร็วขึ้น ในช่วงต่อมาเมื่อผลมีขนาดโตเต็มที่อัตราการเจริญจะค่อยๆ คงที่ ในภาพ 2.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจและระยะการเจริญของผลไม้ประเภทบ่มสุก ที่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนขณะสุก สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ Pre-climacteric เป็นช่วงที่มีอัตราการหายใจที่ค่อนข้างต่ำก่อนที่จะเพิ่มขึ้น Climacteric rise เป็นระยะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว Climacteric peak เป็นระยะที่อัตราการหายใจสูงสุด ระยะนี้คุณภาพของผลไม้จะเหมาะสมต่อการบริโภคและ Post-climacteric เป็นช่วงหลังจากที่มีอัตราการหายใจสูงสุดและเริ่มลดลง ผลไม้เข้าสู่ระยะการเสื่อมสลาย (สายชล, 2528 ; จริงแท้, 2538 ; ยงยุทธ, 2539 ; คนัย, 2540 ; Ryall and Pentzer, 1974)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการหายใจที่เป็นปัจจัยภายใน ได้แก่ พันธุกรรม ส่วนของพืชที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว ขั้นตอนและการพัฒนาเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้ว สารตั้งต้นของการหายใจ และปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยว ซึ่งล้วนมีผลต่ออัตราการหายใจภายหลังการเก็บเกี่ยว ผลไม้ที่มาจากแต่ละแหล่งของการผลิต หรือในแต่ละฤดูการผลิตจะมีอัตราการหายใจที่ผันแปรออกไป เนื่องจากสภาพดิน ฟ้าอากาศตลอดจนวิธีการเขตกรรมที่แตกต่างกัน โครงสร้างและส่วนต่างๆของพืชก็มีอัตราการหายใจที่แตกต่างกัน เช่น เนื้อเยื่อที่อ่อน (young tissue) มีอัตราการหายใจสูง ได้แก่ ดอก ผลอ่อน ผลไม้ที่แก่แต่ยังไม่สุก และผักใบมีอัตราการหายใจปานกลาง ส่วนพืชหัวมีอัตราการหายใจต่ำ เป็นต้น (ยงยุทธ, 2535 ; คนัย, 2540)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการหายใจที่เป็นปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ส่วนประกอบของก๊าซในบรรยากาศ เช่น ปริมาณก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซเอทิลีน และสภาวะเครียดของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยว ตัวอย่างเช่น อัตราการหายใจของผลิตผลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดเร็วขึ้น 2-3 เท่า

ในช่วง Physiological temperature การเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีมักใช้อัตราส่วนระหว่างความเร็วของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิหนึ่งกับอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงขึ้น 10 องศาเซลเซียส เรียกว่า Temperature Quotient ($Q_{10}$) ซึ่งค่า $Q_{10}$ สามารถนำไปใช้คำนวณอัตราเร็วของการหายใจได้อย่างคร่าวๆในช่วงอุณหภูมิต่างๆ และส่วนประกอบของก๊าซในบรรยากาศก็มีผลอย่างมากต่ออัตราการหายใจ โดยพบว่าปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ลดลง 2-3 เปอร์เซ็นต์จะทำให้อัตราการหายใจของผลิตผลลดลงอย่างมาก และถ้าปริมาณของก๊าซออกซิเจนต่ำเกินไปจะทำให้กรดไพรูวิกจากกระบวนการไกลโคไลซิสเข้าสู่กระบวนการหมักได้เป็นสารอะซิตัลดีไฮด์และเอทิลแอลกอฮอล์ ที่เป็นพิษกับเนื้อเยื่อพืชเมื่อมีการสะสมในปริมาณสูง เช่นเดียวกับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศถ้ามีสะสมในปริมาณที่สูงก็จะทำให้อัตราการหายใจที่ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นต่ำ และถ้าเพิ่มมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ก็จะทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ก๊าซออกซิเจน (จริงแท้, 2538 ; ยงยุทธ, 2535 ; ดนัย, 2540)




**ภาพ 2.2** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจกับระยะเจริญของผลไม้สองกลุ่มคือ Climacteric fruit และ Non - climacteric fruit 1 = pre-climacteric, 2 = climacteric rise, 3 = climacteric peak, 4 = post- climacteric

ที่มา : จริงแท้ (2538 )

*2.2 เอทิลีน* (ethylene) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว มีสูตรโมเลกุล $C_2H_4$ ขณะที่ผลไม้ยังดิบจะมีการสังเคราะห์เอทิลีนน้อยมาก แต่เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุก ความเข้มข้นของเอทิลีนเพิ่มมากขึ้นภายในเนื้อเยื่อของผลไม้ และในผลไม้ประเภท Climacteric fruit นี้การได้รับเอทิลีนจากภายนอกนั้น สามารถที่จะชักนำให้เกิดการสังเคราะห์เอทิลีนภายในผลไม้แบบ Autocatalytic ethylene producing system ซึ่งมีผลต่อกระบวนการสุกของผลไม้ (ดนัย, 2540 ; Moore, 1989 ; Kays, 1991 ; Kadam *et al.*, 1995 ) ดังนั้นวิธีการใดก็ตามที่สามารถควบคุมหรือยับยั้งการทำงานหรือการสังเคราะห์เอทิลีนได้ก็สามารถควบคุมกระบวนการสุกได้

**2.5 การเก็บรักษาผลสาลี่**

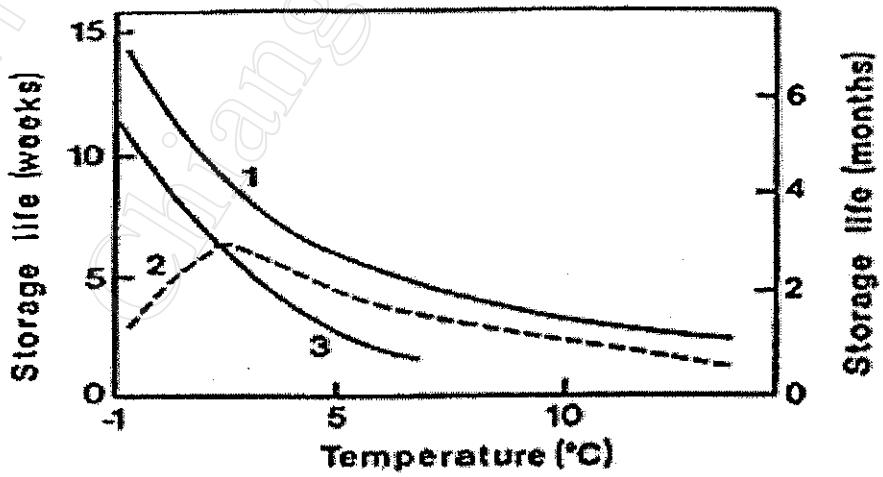
การเก็บรักษาที่เหมาะสมจะสามารถรักษาคุณภาพ และยืดอายุภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยมุ่งที่จะควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมี ตลอดจนการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์และแมลงที่เป็นสาเหตุทำให้ผลไม้เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว และมีอายุการเก็บรักษาสั้น (นิภา, 2540) ในการเก็บรักษาเพื่อยืดอายุภายหลังการเก็บเกี่ยว ผลิตผลต้องมีสภาพสมบูรณ์ ปราศจากโรคและแมลง ไม่บอบช้ำหรือมีบาดแผล สำหรับวิธีการเก็บรักษามี 4 วิธีการ ดังนี้ (สายชล, 2528 ; ดนัยและนิธิยา, 2535 )

**1. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Storage)**

มีจุดประสงค์เพื่อลดกระบวนการเมแทบอลิซึมของผลิตผลให้ต่ำลง ทำให้มีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น (Ryall and Lipton, 1979) เนื่องจากอุณหภูมิต่ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการหายใจของผลิตผล เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นด้วยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส (ในช่วง 10 - 50 องศาเซลเซียส) อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า ขณะนั้นจะมีการใช้พลังงานจากธาตุอาหารที่สะสมและปล่อยความร้อนออกมา (heat of respiration) ทำให้เกิดการสุกและการเสื่อมสภาพของผลิตผล (Wills *et al.*, 1981) การลดอุณหภูมิของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวลงเพื่อลดอัตราการหายใจ ชะลอการเสื่อมสภาพ ป้องกันการเหี่ยวเฉา (จำนงค์และคณะ, 2529) อัตราการหายใจจึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาผลิตผล ดังนั้นการลดอุณหภูมิในการเก็บรักษาจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ ดังในภาพ 2.3 แสดงถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษาผลแอปเปิลและผลสาลี่ (Salunkhe and Desai, 1984)

Richardson (1995) ได้ทดลองเก็บรักษาผลสาลี่พันธุ์ Anjou เก็บเกี่ยวที่อายุ 147 วัน ภายหลังดอกบาน ที่อุณหภูมิ 4 ระดับคือ –1.1, 5, 10 และ 20 องศาเซลเซียส พบว่าผลสาลี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ –1.1 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานาน 100 วัน โดยที่ยังมีความแน่นเนื้อที่ดี

ส่วนผลสาลี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส นั้นค่าความแน่นเนื้อจะลดลง อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมก็มีผลต่อคุณภาพของผลสาลี่ที่นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่ง Yamazaki *et al.* (1988) รายงานว่าจะไม่พบลักษณะ kokuhen injury ซึ่งเป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เกิดกับผลสาลี่ญี่ปุ่นพันธุ์ Shinsui เมื่อเก็บเกี่ยวผลที่แก่เหมาะสมและนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1-10 องศาเซลเซียส แต่จะพบอาการเมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิมากกว่า 20 องศาเซลเซียส อาการจะเกิดเร็วและรุนแรงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 - 50 องศาเซลเซียส Somsrivichai *et al.* (1990a) ได้ทดลองเก็บรักษาผลสาลี่ 5 สายพันธุ์ที่ปลูกบนสถานีเกษตรหลวงอ่างขางที่อุณหภูมิ 3, 17 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่าผลสาลี่พันธุ์ Pathanak Yokoyama Wase และ Sung Mao มีอายุการเก็บรักษาสั้นเก็บรักษาได้ไม่เกิน 10 วัน ที่ทุกระดับอุณหภูมิ ส่วนผลสาลี่พันธุ์ Pien Pu เก็บรักษาได้ 35, 14 และ 7 วัน ที่อุณหภูมิ 3, 17 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องตามลำดับ สำหรับพันธุ์ Siang Sui สามารถเก็บรักษาได้นาน 60 วัน ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส และน้อยกว่า 10 วันที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิห้อง และวิศนี (2541) ได้ทดลองเก็บรักษาผลสาลี่พันธุ์ Pathanak ลักษณะทั้งผลไม่ปอกเปลือกในบรรยากาศและอุณหภูมิต่างๆ กัน พบว่า ผลสาลี่ที่เก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุ 20 สัปดาห์ภายหลังดอกบานนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 - 8 องศาเซลเซียส จะมีอายุการเก็บรักษานาน 7 สัปดาห์ ส่วนที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานาน 2 - 3 สัปดาห์




**ภาพ 2.3** ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษาของแอปเปิลและผลสาลี่

1 = Delicious apple (เดือน)

2 = แอปเปิลที่เกิดอาการผิดปกติเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (เดือน)

3 = ผลสาลี่ (สัปดาห์)

ที่มา : Salunkhe and Desai (1984)

**2. การเก็บรักษาในสภาพความดันบรรยากาศต่ำ (Low Pressure Storage or LPS)**

เป็นการเก็บรักษาผลิตผลโดยการลดความดันของบรรยากาศระหว่างการเก็บรักษาให้ต่ำลงจากความดันบรรยากาศปกติ เพื่อทำให้ความดันย่อยของก๊าซแต่ละชนิดที่เป็นส่วนประกอบของอากาศลดลง และช่วยเร่งให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ได้เร็วขึ้น เร่งกำจัดก๊าซที่อยู่ภายในผลิตผลและก๊าซซึ่งปล่อยออกมาจากผลิตผลสู่บรรยากาศภายนอก และการลดความดันลงจาก 1 บรรยากาศให้เหลือ 0.1 บรรยากาศจะกำจัดก๊าซออกจากบรรยากาศและพืชได้เร็วขึ้น 10 เท่า (ดนัยและนิธิยา, 2535) เมื่อลดความดันลงต่ำกว่าบรรยากาศปกติจะทำให้ปริมาณของก๊าซออกซิเจนลดลง มีผลในการชะลออัตราการหายใจ และการสร้างเอทิลีนในเนื้อเยื่อพืช ดังนั้นจึงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าการเก็บรักษาในห้องเย็นธรรมดา ตาราง 2.3 แสดงอายุการเก็บรักษาผลไม้บางชนิดในสภาพความดันบรรยากาศต่ำ (Burg, 1975 ; Wills *et al.*, 1981)

**ตาราง 2.3** เปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของผลไม้บางชนิดในห้องเย็นธรรมดาและห้องเย็นภายใต้ความดันต่ำ

| ผลไม้ที่แก่จัด | อายุการเก็บรักษา (วัน) | |
|---|---|---|
| | ห้องเย็นธรรมดา | ห้องเย็นภายใต้ความดันต่ำ |
| กล้วย (พันธุ์ Velery) | 10 – 14 | 90 – 100 |
| อะโวคาโด (พันธุ์ Lula) | 23 – 30 | 90 – 100 |
| มะนาว (พันธุ์ Tahiti) | 14 – 35 | 60 – 90 |
| แอปเปิล (พันธุ์ต่าง ๆ) | 60 – 90 | 300 |
| ผลสาลี่ (พันธุ์ Bartlett) | 45 - 60 | 300 |

ที่มา : Burg (1975)

**3. การเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศ (Controlled Atmosphere Storage หรือ CA Storage)**

เป็นการเก็บรักษาในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของก๊าซในบรรยากาศให้แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติ ที่ประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน 78.08 % ออกซิเจน 20.95 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 % การควบคุมสภาพบรรยากาศโดยการลดปริมาณก๊าซออกซิเจนลงและเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น มีผลทำให้อัตราการหายใจและกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในผลิตผลลดลง ลดการทำงานของเอทิลีน รวมทั้งยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ด้วย ทำให้

สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้นานขึ้น วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับอุณหภูมิต่ำ และความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม โดยทั่วไประดับอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาผลสาลี่ คือ 0 - 5 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน 2 - 3 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 0 - 1 % ความชื้นสัมพัทธ์ 85 - 95 % (ดนัยและนิธิยา, 2535 ; อรรณพ, 2532) ซึ่ง Claypool and Keefee (1973) รายงานว่าการเก็บรักษาผลสาลี่พันธุ์ Bartlett ในสภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจน 1 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 5 % สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้ผลดีเมื่อเก็บเกี่ยวผลสาลี่ในระยะต้นฤดูการผลิต และ Li and Hansen (1964) ได้รายงานผลการทดลองการเก็บรักษาผลสาลี่พันธุ์ Bartlett และ d'Anjou ในบรรยากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 - 3 % และออกซิเจน 2 – 2.5 % อุณหภูมิ 30 องศาฟาเรนไฮต์ จะช่วยลดการสูญเสียปริมาณกรดในระหว่างการเก็บรักษาและการสุกได้ Mellenthin *et al.* (1980) ได้รายงานว่าเมื่อนำผลสาลี่พันธุ์ d'Anjou ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –1.1 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำกว่า 1.5 % สามารถรักษาคุณภาพและลดการเกิดอาการ scald ได้นานถึง 8 เดือน

การเก็บรักษาผลิตผลโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับสูงร่วมกับอุณหภูมิต่ำเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดการสูญเสียคุณภาพ แต่อาจทำให้เกิดอันตรายกับผลิตผลได้เนื่องจากผักและผลไม้แต่ละชนิดมีการตอบสนองที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาและควบคุมอัตราส่วนของก๊าซให้อยู่ในระดับที่แน่นอนและเหมาะสม ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้กับผลิตผลที่มีราคาสูงและมีอายุการเก็บรักษายาวนาน เช่น แอปเปิล และผลสาลี่ (Zygory and Kader, 1988) Couey and Wright (1977) ได้ทดลองเก็บรักษาผลสาลี่พันธุ์ d'Anjou ในสภาพควบคุมบรรยากาศ พบว่าผลสาลี่มีความแน่นเนื้อสูงกว่ากลุ่มที่เก็บในสภาพบรรยากาศปกติ แต่ผลสาลี่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดและสีไม่แตกต่างกัน ซึ่ง Kader (1989) ได้รายงานผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ สรีรวิทยา และเคมีของผลสาลี่พันธุ์ Bartlett ซึ่งเก็บรักษาโดยวิธีควบคุมบรรยากาศภายหลังการเก็บรักษานาน 4 วัน (ตาราง 2.4)

**4. การเก็บรักษาในบรรยากาศดัดแปลง (Modified Atmosphere Storage หรือ MA Storage)**

เป็นวิธีการหนึ่งในการชะลอการสุกของผล และยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น การใช้สารเคลือบผิวหรือห่อด้วยฟิล์มพลาสติกจัดเป็นวิธีการหนึ่ง ซึ่งสามารถดัดแปลงสภาพบรรยากาศให้เหมาะสมต่อการเก็บรักษาได้ เพราะการเคลือบผิวจะจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซภายในผลิตผลทำให้มีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีผลยับยั้งการทำงานของเอทิลีนที่เกี่ยวข้องกับการสุกและการเสื่อมสภาพ (Hulme, 1971 ; Krochta *et al.*, 1994) Kader *et al.* (1985) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบบรรยากาศสามารถใช้ระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษาทั้งในระยะสั้น และระยะยาวก่อนจำหน่ายสามารถลดการเสียหายทั้งปริมาณและคุณภาพของผลิตผล ซึ่งก๊าซออกซิเจนและ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม การจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซดังกล่าวโดยให้มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนต่ำและมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยอาศัยตัวกลางที่อาจเป็นเซลล์ผิว (epidermis) สารเคลือบผิวหรือแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ใช้ห่อหุ้มผลิตผล ที่มีคุณสมบัติในการจำกัดการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีน และสารระเหยอื่นๆ

Sornsrivichai *et al.* (1990b) รายงานว่าการใช้สารละลาย Semperfresh 1-2 % เคลือบผิวผลสาลี่ 5 พันธุ์ ก่อนหุ้มด้วยพลาสติก PVC แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3, 17 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลสาลี่พันธุ์ Siang Sui และพันธุ์ Pien Pu แต่จะเร่งการเกิดอาการสะท้านหนาว ในพันธุ์ Pathanak, Yokoyama Wase และ Sung Mao ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Thongaram (1988) ว่าการเคลือบผิวด้วย Semperfresh 1-2 % สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลสาลี่พันธุ์ Siang Sui สำหรับผลสาลี่พันธุ์ Pathanak, Yokoyama Wase และ Sung Mao เกิดอาการเสียหายเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 3 และ 17 องศาเซลเซียส นภาพร (2531) รายงานผลการใช้ Tal Pro-long 1.2 % เคลือบผิวผลสาลี่พันธุ์ Pien Pu และบรรจุในถุงพลาสติก Polypropylene (PP) แบบ over-wrapped package มีอายุการเก็บรักษาไม่แตกต่างจากชุดที่ไม่เคลือบผิวที่บรรจุในถุงพลาสติก Polypropylene

ผลไม้ในธรรมชาติจะมีสารประเภทไข (wax หรือ cutin) เคลือบอยู่บริเวณผิว เรียก คิวติเคิล (cuticle) หรือนวลของผลไม้ปกคลุมเซลล์ผิว ชั้นของคิวติเคิลนี้มีบทบาทสำคัญในการลดการสูญเสียน้ำ และการแลกเปลี่ยนก๊าซบริเวณผิว ชั้นคิวติเคิลหรือนวลที่เคลือบผิวนี้จะหลุดไปเนื่องจากการเก็บเกี่ยว และการขนย้าย หรือการทำความสะอาด ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลไม้ทั้งในแง่ความทนทานและความสวยงามของผิวผลไม้ ทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพเร็วกว่าปกติ (สุรพงษ์, 2530 ; อรรณพ, 2532 ; ดนัย, 2540 ; Park, 1999) จึงได้มีการผลิตสารเคลือบผิวขึ้นมาใช้เคลือบผิวผลไม้แทนไขธรรมชาติที่หลุดไป โดยเฉพาะสารเคลือบผิวชนิดที่บริโภคได้ซึ่งเป็นที่สนใจกันมาก เนื่องจากค่านิยมของผู้บริโภคในปัจจุบันนิยมความเป็นอยู่ที่ใกล้ชิดธรรมชาติ และตระหนักถึงสารพิษที่เป็นอันตรายทั้งกับสภาพแวดล้อมและสุขภาพ (จริงแท้, 2538)

ดังนั้นสารเคลือบผิวที่ผลิตเป็นการค้าในปัจจุบันส่วนมากจะสกัดหรือผลิตมาจากพืชหรือสัตว์ เช่น canauba wax ได้จาก *Capernicia cerifera* cadelilla wax ได้จาก *Pedilanthus paronis* shellac ได้จาก lac ซึ่งเป็นสารที่ขับถ่ายจากแมลง laccifer และ bee wax ส่วนตัวอย่างสารเคลือบผิวที่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ เช่น ฟิล์มโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) ฟิล์มจากลิพิด (lipid film) และฟิล์มจากโปรตีน (protein film) (มณฑาทิพย์, 2535 ; สายชล, 2536 ; ดนัยและนิธิยา, 2543)

ชนิดของสารเคลือบผิวในกลุ่มที่บริโภคได้ ได้แก่

1. สตาร์ช ที่อยู่ในรูปของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธัญพืช เช่น ข้าว และข้าวโพด จากรากและลำต้นใต้ดินของพืชบางชนิด เช่น มันฝรั่ง แห้ว ท้าวยายม่อมและมันสำปะหลัง เป็นต้น
2. น้ำมัน หมายรวมถึงน้ำมันทุกชนิดที่สกัดจากเมล็ดพืช เช่น ถั่วเหลือง ฝ้าย ปาล์ม งา ถั่วลิสง และทานตะวัน เป็นต้น
3. โปรตีน เช่นเจลาติน ซึ่งปกติสามารถละลายได้ในน้ำร้อน มีสภาพเป็นเจล
4. สารสกัดจากสาหร่ายทะเล เช่น วุ้น ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำร้อน เมื่อใช้เคลือบผิวผักและผลไม้จะมีลักษณะเป็นแผ่นใสหุ้มอยู่ด้านนอก

**ตาราง 2.4** การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ สรีรวิทยา และเคมี ของผลสาลี่พันธุ์ Bartlett ซึ่งเก็บรักษาโดยวิธีควบคุมบรรยากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน

| การเปลี่ยนแปลง | อากาศ (ชุดควบคุม) | อากาศร่วมกับ 10 % $CO_2$ | อากาศร่วมกับ 20 % $CO_2$ | 1.5 % $O_2$ + 20 % $CO_2$ |
|---|---|---|---|---|
| อัตราการหายใจ (มล.$O_2$/กก.ชม.) | 35 a | 15 b | 4 c | 3 c |
| เอทิลีน (ไมโครลิตร/กก.ชม.) | 50 a | 5 b | 5 b | 3 c |
| สีผิว (ค่า a*) | -0.5 a | -4 b | -6 c | -6 c |
| ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) | 20 a | 50 b | 60 c | 70 d |
| ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (เปอร์เซ็นต์) | 11.8 a | 12.7 b | 11.7 a | 12.4 b |
| พีเอช | 3.96 a | 4.02 a | 4.21 b | 4.31 b |
| กรดที่ไตเตรทได้ (เปอร์เซ็นต์) | 0.25 a | 0.26 a | 0.20 b | 0.23 ab |

หมายเหตุ : ตัวเลขตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ที่มา : Kader (1989)

5. สารที่ได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ เช่น แซนแทนกัม ซึ่งละลายได้ในน้ำเย็น และมีลักษณะที่หนืดมาก
6. โพลีแซคคาร์ไรด์อื่น ๆ ที่ได้มาจากพืช เช่น เซลลูโลส เพกติน และกัม
7. สารสกัดจากสัตว์ เช่น ไคโตแซน

สารเคลือบผิวที่เป็นผลิตภัณฑ์จากธัญพืช น้ำมันพืช วิตามิน และสารอื่นๆ ที่นำมาเคลือบผิวอาจใช้สารเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกันโดยพัฒนาอัตราส่วนให้เหมาะสมต่อชนิดของผลิตผล (อรวินทร์และประชา, 2522 ; Baldwin, 1994) ดังเช่นการใช้น้ำมันพืชมาทำให้เกิดเป็นอิมัลชัน (emulsion) แล้วนำไปเคลือบผิวผลไม้จะช่วยรักษาคุณภาพโดยชะลอการเปลี่ยนสีผิว และช่วยลดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลได้ (ดนัยและนิธิยา, 2543) และในส่วนของสารเคลือบผิวอาจจะมีสารเคมีที่ช่วยให้ส่วนผสมของสารเคลือบผิวรวมกับน้ำได้ดี (emulsifier) และบางครั้งในกระบวนการผลิตจะมีการเติมสารเคมีที่จะช่วยป้องกันการเน่าเสียด้วย ซึ่งสารเคมีที่เติมลงไปนี้จะต้องได้รับคำรับรองจาก FAO (Food and Agricultural Organization) ว่าไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตมนุษย์ (ช.ณิฏฐ์ศิริ, 2532) ตัวอย่างของสารที่ใช้ในการเคลือบผิวได้แก่

**1. สารอิมัลชัน**

อิมัลชัน คือ ระบบการกระจายของอาหารที่มีลักษณะเป็นเนื้อผสม โดยทั่วไปตัวกระจายและตัวทำกระจายมีลักษณะเป็นของเหลว มีของเหลวอย่างน้อย 1 ชนิดที่รวมเข้ากับของเหลวอื่นไม่ได้เรียกว่าตัวกระจาย โดยจะอยู่ในรูปของเม็ดหรือหยด (droplets) มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 0.1 ไมครอน ชนิดของอิมัลชัน อาจแบ่งได้ 2 กลุ่มใหญ่ คือ อิมัลชันที่ตัวกระจายมีขนาด 0.01 - 0.05 ไมครอน เรียก ไมโครอิมัลชัน (microemulsions) และอิมัลชันที่มีตัวกระจายขนาด 0.5 - 10.0 ไมครอน เรียก แมคโครอิมัลชัน (macroemulsions) ในทางด้านอาหารแบ่งอิมัลชันออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบน้ำมันในน้ำ (O/W) และระบบน้ำในน้ำมัน (W/O) ในการเคลือบผิวผักและผลไม้ส่วนใหญ่จะใช้ระบบน้ำมันในน้ำ (นิธิยา, 2534 ; ณรงค์, 2538 ; Krochta *et al.*, 1994)

กลไกการเกิดอิมัลชัน เนื่องจากของเหลวทุกชนิดจะมีแรงตึงผิวของมันเอง เมื่อนำของเหลว 2 ชนิดมาเขย่ารวมกันเพื่อให้เกิดอิมัลชัน แรงตึงผิวจะพยายามทำให้อนุภาคของของเหลวรวมตัวเข้าหากัน และแยกตัวออกจากของเหลวอีกชนิดหนึ่งเพื่อลดให้มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด ในการทำอิมัลชันต้องทำให้ของเหลวที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์แตกตัวออกเป็นหยดเล็กๆ กระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่มีปริมาตรเท่ากัน ถ้าขนาดของอนุภาคเล็กก็จะมีพื้นที่ผิวมาก และถ้าอนุภาคใหญ่จะมีพื้นที่ผิวน้อย เช่น การเขย่าน้ำมันในน้ำ น้ำมันจะแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ กระจายตัวอยู่ในน้ำ เมื่อตั้งทิ้งไว้อิมัลชันจะสลาย

ไปโดยอนุภาคน้ำมันเล็กๆ นั้นจะค่อยๆ รวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ และแยกตัวออกจากน้ำ (breaking) เป็นการเกิดอิมัลชันในระยะเวลาไม่นาน (temporary emulsion) การทำให้อิมัลชันคงตัว (pemanent emulsion) โดยการเติมอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ (emulsifing agent) หรือสารอิมัลซิไฟ-เออร์ (emusifiers) ลงไปเป็น protective coating ให้กับอนุภาคน้ำมัน ทำหน้าที่ดังนี้ คือ การทำให้ความตึงผิวที่หน้าสัมผัสลดลง ทำให้เกิด electrical double layer ที่ interphase และสร้างฟิล์มที่แข็งแรงหุ้มรอบๆ เม็ดน้ำมัน อิมัลซิไฟอิงเอเจนต์จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคและตัวกลางป้องกันไม่ให้เม็ดน้ำมันเคลื่อนเข้ามาจับตัวกันช่วยทำให้อิมัลชันคงตัวขึ้น (นิธิยา, 2534 ; ฉรงค์, 2538 ; รัตนา, 2525) สารอิมัลซิไฟเออร์ จำแนกได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic materials) ได้แก่ soaps, sulfated oils, amine salts, monoglycerides

2. ได้จากธรรมชาติ (Naturally occuring materials) ได้แก่ phospholipid, sterol, lanolin, water soluble gums, proteins, cellulose derivatives

3. ของแข็งที่เป็นผงละเอียด (Finely-divided solids) ได้แก่ carbon black, powdered silica clays และเกลือของโลหะบางชนิด (รัตนา, 2525)

สารอิมัลซิไฟเออร์ ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำกับของเหลวจาก 30 - 50 ไดน์ต่อเซนติเมตรเป็น 0 - 10 ไดน์ต่อเซนติเมตร (นิธิยา, 2534) มีลักษณะพิเศษ 2 ส่วนๆ หนึ่งเป็นโพล่าร์ (polar) สามารถละลายได้ในน้ำ และอีกส่วนหนึ่งเป็นอะโพล่าร์ (apolar) เรียก สารแอมพิฟีลิก (amphiphilics) จะแทรกตัวเข้าไปอยู่ที่หน้าสัมผัส โดยจัดให้ส่วนโพล่าร์ เช่น กลุ่ม –OH และกลุ่ม $-CO_2H$ หันไปทางน้ำ และส่วนที่เป็นอะโพล่าร์ เช่น โซ่ไฮโดรคาร์บอน ($CH_2$) หันไปทางน้ำมัน ตัวอย่าง เช่น หมู่โซเดียมสเตียเรต ($C_{15}H_{33}COO^-$) เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวออกเป็น $C_{15}H^-_{33}$ และ $-COO^-$ ส่วนที่เป็นโพล่าร์ ( $-COO^-$ ) ละลายอยู่ในน้ำ และส่วนที่เป็นอะโพล่าร์ ($C_{15}H^-_{33}$ ) ละลายอยู่ในน้ำมัน ทำให้อนุภาคของน้ำหรืออนุภาคของน้ำมันมีประจุชนิดเดียวกันไม่สามารถรวมตัวหรือเข้าใกล้กันได้ และยังทำให้อนุภาคเหล่านี้เคลื่อนที่ได้น้อยลง (นิธิยา, 2534 ; ฉรงค์, 2538) และประจุลบของ $-COO^-$ อยู่ที่ผิวของอนุภาคน้ำมันยังสามารถที่จะจับตัวกับ $Na^+$ ที่อยู่ในน้ำทำให้อนุภาคน้ำมันเกิด Helmholtz-gouy double layer ขึ้น อนุภาคของน้ำมันที่กระจายตัวอยู่นั้นมีประจุบวกของ $Na^+$ เช่นกัน จึงทำให้เกิดการผลักกันไม่สามารถรวมตัวกันได้ เกิดการคงตัวของอิมัลชันขึ้นเป็นการคงตัวที่ เรียกว่า ไคเนติกสตาร์บิลิตี (kinetic stability) นอกจากนั้นโมเลกุลของสารประกอบพวกแอลกอฮอล์ ซึ่งมีทั้งหมู่ที่เป็นโพล่าร์และอะโพล่าร์ สามารถละลายได้ทั้งในตัวกลางที่เป็นน้ำและน้ำมัน ซึ่งถ้าหมู่อัลไคล์ (alkyl) มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มมากขึ้นจะสามารถละลายในน้ำมันได้มากขึ้น และถ้ามีหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มมากขึ้นจะสามารถละลายในน้ำได้มากขึ้น (นิธิยา, 2534) ด้วยเหตุนี้จึงสามารถแบ่ง

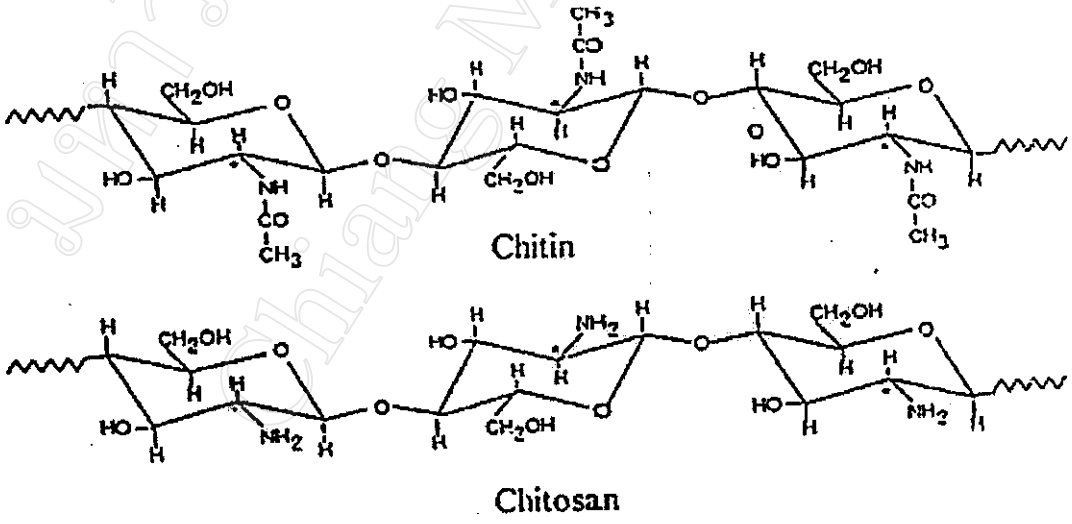
สารอิมัลซิไฟเออร์ออกตามชนิดของอนุมูลที่เกิดขึ้น ได้แก่ อิมัลซิไฟเออร์ที่มีประจุลบ (anionic emulsifiers) อิมัลซิไฟเออร์ที่มีประจุบวก (cationic emulsifiers) อิมัลซิไฟเออร์ที่มีประจุลบและประจุบวก (amphoteric emulsifiers) และอิมัลซิไฟเออร์ที่ไม่มีประจุ (non-ionic emulsifiers) (ณรงค์, 2538)

การทดลองใช้สารอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำ โดยใช้ไข่แดงเป็นอิมัลซิไฟเออร์ อัตราส่วน 1:19, 1:9 และ 1:4 เคลือบผิวผลทุเรียน แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถชะลอการสุกและการแตกของผลได้ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ได้เคลือบผิว ซึ่งการเคลือบผิวยังลดการสูญเสียน้ำหนักและชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิว และพบว่าการเคลือบผิวผลกล้วยไข่ด้วยสารอิมัลชันอัตราส่วน 7 : 3 สามารถชะลอการสุก และการเปลี่ยนแปลงสีผิวผลของกล้วยไข่ได้ (ดนัยและนิธิยา, 2543) ชลิต (2540) รายงานว่าผลกล้วยไข่ที่มีการเคลือบผิวด้วยแป้งข้าวเหนียว 5 % แซนแทนกัม 0.5 % น้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วลิสง มีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่า และชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวได้ดีกว่าชุดที่ไม่ได้เคลือบผิวสอดคล้องกับการรายงานของชินพันธ์ (2539) ที่ศึกษาผลของสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย พบว่าสารเคลือบผิวประเภทน้ำมันและแป้งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและลดการสูญเสียน้ำหนักสดของผลลิ้นจี่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลลิ้นจี่ที่ไม่ได้เคลือบผิว Ju and Curry (2000) ได้รายงานผลการเคลือบผิวผลแอปเปิลพันธุ์ Granny Smith และผลสาลี่พันธุ์ d' Anjou ด้วยอิมัลชัน 2.5, 5 หรือ 10 % (corn oil ที่มี $\alpha$ tocopherol < 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ diphenylamine 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่าการเคลือบผิวด้วยอิมัลชันทำให้ผลสาลี่มีอัตราการผลิตเอทิลีนและอัตราการหายใจต่ำในระยะแรกของการเก็บรักษา และสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้นภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลานาน 8 เดือน พบว่าการเคลือบผิวด้วยอิมัลชันสามารถชะลอการเปลี่ยนสี รักษาความแน่นเนื้อ และปริมาณของกรดไว้ได้ดีกว่าชุดควบคุมหรือการเคลือบผิวด้วย diphenylamine 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร Ju *et al.* (2000) ได้ศึกษาการเคลือบผิวผลสาลี่พันธุ์ Laiyang Chili และ Ya Li ด้วยอิมัลชัน (soybean, corn, peanut, linseed และ cottonseed) ความเข้มข้น 3, 6 และ 9 % นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าที่ความเข้มข้น 6 % สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลภายในผล และความเข้มข้น 9 % สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลภายในผลได้

**2. ไคโตแซน (chitosan)**

ไคโตแซน หรือไคโตซาน มีชื่อทางเคมีว่า Poly (2-amino-2-deoxy-D-glucose) หรือ Poly-N-glucosamine) (ปิยนุตรและสุวลี, 2542) เป็นอนุพันธ์ของไคติน (chitin) ที่โมเลกุลประกอบด้วยโพลิเมอร์ของ N-acetyl-2-amino-2-deoxy-β-D-glucopyranose หรือ N-acetyl-glucosamine ที่เชื่อม

ต่อกันด้วยพันธะ β-1,4 ไคโตแซนเป็นโพลิเมอร์ของหน่วยย่อย glucosamine ที่ได้จากการแยกหมู่อะซิติล (acetyl group) ออกโดยกระบวนการ Deacetylation จากหมู่เอมีนในโครงสร้างไคตินด้วยด่าง (alkali solution) ได้เป็น D - glucosamine polymer ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส (amino sugar) โครงสร้างโมเลกุลของไคโตแซนเปรียบเทียบกับไคตินดัง ภาพ 2.4 (สุวลี, 2542 ; ปิยบุตรและสุวลี, 2542) ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly (2-acetamino-2-deoxy-D-glucose) หรือ Poly (N-acetyl-glucosamine) เป็นสารอินทรีย์โมเลกุลยาวที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส ที่เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช ไคตินเป็นวัสดุทางชีวภาพ (biomaterials) เกิดขึ้นในธรรมชาติ จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสมประเภทโครงสร้าง (structural heteropolysaccharide) โครงสร้างเป็นผลึก (crystal) มีได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ α–chitin, β–chitin และ γ –chitin ในธรรมชาติพบในรูป α–chitin มาก และมีความเสถียรทางเคมีมากกว่ารูปแบบอื่น ทำหน้าที่หุ้มห่ออวัยวะและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ (exoskeleton) พบในสัตว์ที่มีข้อปล้อง (arthopoda) เช่น กุ้ง ปู แมลงทุกชนิด หอยเปลือกแข็ง หอยมุก ปลาหมึก รา ยีสต์ และจุลินทรีย์อีกหลายชนิด (ปิยบุตรและสุวลี, 2542)




**ภาพ 2.4** โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตแซน

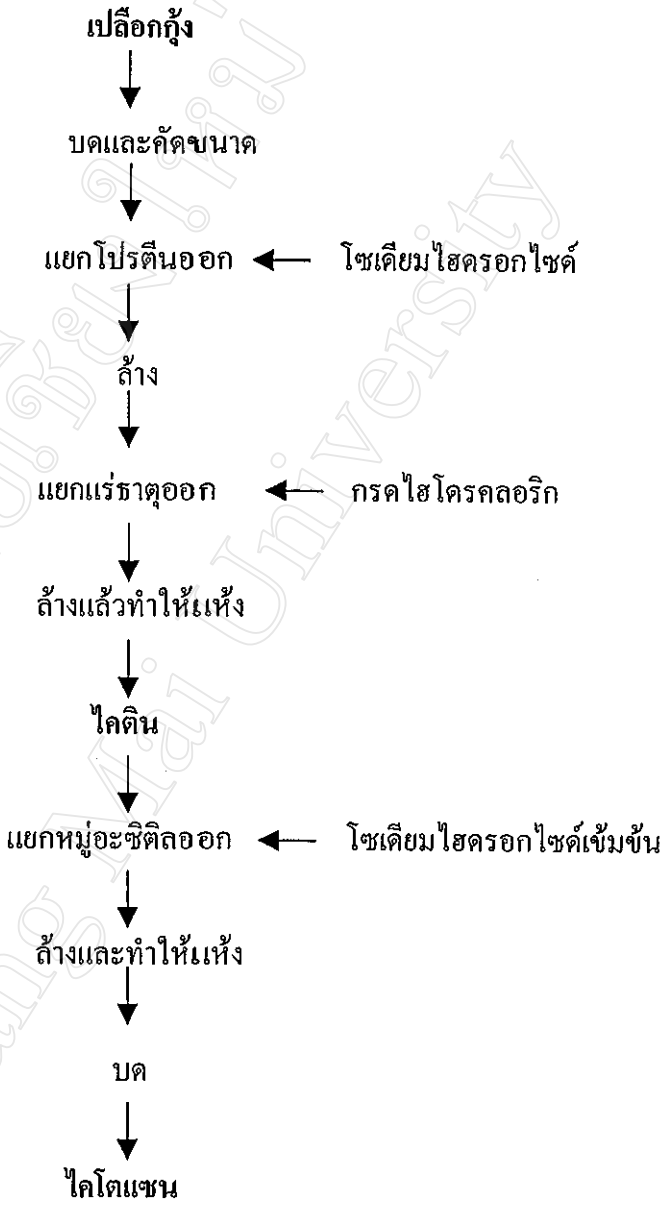
ที่มา : ภาวดีและคณะ (2542)

การสกัดแยกไคตินและไคโตแซนประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. การกำจัดโปรตีน (deproteination)
2. การกำจัดเกลือแร่ (deminerlization)
3. การกำจัดหรือลดหมู่อะซิติล (deacetylation)

ทั้ง 3 ขั้นตอนนี้สามารถกระทำได้โดยกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ (ภาวดีและคณะ, 2542) ภาพ 2.5 แสดงกระบวนการผลิตไคตินและไคโตแซน และสุทธวัฒน์และไพรัตน์ (2533) ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดไคตินจากเปลือกกุ้งแชบ๊วย พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโปรตีน คือ การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 % น้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนเปลือกกุ้งและสารละลายต่าง 1 : 10 น้ำหนักต่อปริมาตร และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแร่ธาตุ คือใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.25 นอร์มอล ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้งที่กำจัดโปรตีนแล้วต่อสารละลายกรด 1 : 10 น้ำหนักต่อปริมาตร สามารถสกัดไคตินได้ 26.84 – 27.18 % เมื่อเปรียบเทียบจากน้ำหนักเปลือกกุ้งอบแห้ง โดยไคตินที่ได้เป็นเกล็ด มีสีเหลืองนวลประกอบด้วยไคติน 96.15 – 97.31 % และปริมาณเถ้า 0.18 – 0.19 %

การนำไคตินมาใช้ประโยชน์ยังมีน้อยเนื่องจากไคตินไม่สามารถละลายได้ในน้ำ และสารอินทรีย์ทั่วๆ ไป แต่สามารถดัดแปลงไคตินเป็นไคโตแซนซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยไคโตแซนมีโครงสร้างแตกต่างจากไคตินตรงที่มีหน่วยของกลูโคซามีนเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 % ขึ้นไป หรืออาจกล่าวได้ว่าการลดลงของหมู่อะซิติลในไคตินทำให้เกิดการเพิ่มของหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นการเพิ่มสมบัติการเป็นสารที่มีประจุบวก (cationic polymer) ในสายโพลิเมอร์ทำให้เกิดสภาพเป็นไคโตแซนเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก ฟอร์มิก ไนตริก ไฮโดรคลอริก เปอร์คลอริก และฟอสฟอริก เป็นต้น และสามารถเปลี่ยนกลับคืนสภาพเดิมได้ ทำให้สามารถนำไคโตแซนมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าไคติน สารละลายไคโตแซนมีความเหนียว (viscous) ใส สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่น (membrane) เจล (gel) เม็ด (tablet) เส้นใย (fibril) เป็นต้น (สุวลี, 2542 ; ปิยบุตรและสุวลี, 2542 ; ภาวดีและคณะ, 2543)




**ภาพ 2.5** ขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง
ที่มา : Knorr (1984)

ไพรัตน์และคณะ (2536) ได้รายงานผลการทดลองใช้ไคโตแซนความเข้มข้น 1.25 % เคลือบผิวผลมะนาวสามารถยืดระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงสีผิวมะนาวได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นเวลา 24 วัน และ 56 วัน เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 1 องศาเซลเซียส) และ 11 องศาเซลเซียส ตามลำดับ Zhang and Quantick (1997) ได้ศึกษาผลของการเคลือบผิวลิ้นจี่ด้วยไคโตแซนความ

เข้มข้น 1.0 หรือ 2.0 % หลังจากแช่ผลลิ้นจี่ใน Thiabendazole 0.1 % แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % พบว่าสามารถชะลอการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่เปลือกของผลลิ้นจี่ได้ โดยลดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอล ชะลอกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ลดการสูญเสียน้ำหนัก และยับยั้งกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) นอกจากนั้นได้มีการศึกษาใช้ ไคโตแซนความเข้มข้น 1.0 และ1.5 % น้ำหนักต่อปริมาตร เคลือบผิวผลสตรอเบอรีก่อนนำไป เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่าให้ผลแตกต่างกับชุดควบคุมที่ไม่ได้เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเคลือบผิวด้วยไคโตแซนสามารถยับยั้งการเกิดโรคจากเชื้อราได้ไม่แตกต่างจากสารยับยั้งเชื้อรา Rovral ในระยะ 21 วันแรกของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นไคโตแซนจะมีผลยับยั้งการเกิดโรคได้ดีกว่า และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำให้ผลสตรอเบอรีมีความแน่นเนื้อ และปริมาณกรดสูง อัตราการเพิ่มขึ้นของแอนโทไซยานินต่ำกว่าการใช้สารยับยั้งเชื้อรา และการเคลือบผิวยังสามารถลดอัตราการหายใจของผลสตรอเบอรีได้ (EL-Ghaouth *et al.*, 1991) วิเชียร (2541) พบว่าการเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และเขียวเสวยด้วยไคโตแซนความเข้มข้นตั้งแต่ 0.50, 0.75 และ 1.0 % ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีผิว และควบคุมโรคของผลมะม่วงทั้ง 2 พันธุ์ ได้

สารเคลือบผิวที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่ผลิตมาจากต่างประเทศ และผลิตขึ้นเพื่อผลิตผลชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ ดังนั้นจำเป็นจะต้องทำการศึกษาและทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าจะสามารถใช้ได้ดีกับผลิตผลในประเทศไทย นอกจากนี้การพัฒนาและศึกษาหาชนิดและสูตรของสารเคลือบผิวที่มีราคาถูก และนำมาใช้เคลือบผิวผลิตผลได้ดีก็จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้