# บทที่ 2

## วารสารปริทัศน์

2.1 พันธุ์มะนาว (สว่าง เตลิงคพันธ์ และคณะ, 2531; ประกิจ ดวงพิทุล, 2531)

2.1.1 มะนาวหนัง ต้นมะนาวมีหนามใหญ่ยาว และมีหนามอยู่เป็นจำนวนมาก ใบหนาใหญ่ ผลกลมรี เปลือกหนาขรุขระ ผลมีน้ำน้อยแต่มีกลิ่นหอม

2.1.2 มะนาวไข่ มีลักษณะผลเล็กค่อนข้างยาวรี เปลือกบางใส ให้ผลดก มีน้ำมากกว่ามะนาวหนัง

2.1.3 มะนาวแป้น มะนาวพันธุ์นี้เกิดจากการเพาะเมล็ดมะนาวพื้นบ้าน แล้วมีการกลายพันธุ์ไปในลักษณะที่ดี คือ ลำต้นไม่ค่อยมีหนาม ลักษณะหนามสั้นแหลม ใบมีขนาดโตกว่ามะนาวไข่เล็กน้อย และฐานใบกว้างกว่ามะนาวไข่ ผลมะนาวมีลักษณะกลมแป้น ผลใหญ่ น้ำมาก ไม่ค่อยมีเมล็ด ตัวอย่างของมะนาวแป้น ได้แก่ พันธุ์แป้นรำไพ พันธุ์แป้นทวาย และพันธุ์แป้นใบหยิก

2.1.4 มะนาวตาฮิติ มะนาวพันธุ์นี้มีข้อดีคือ ทนแล้ง ติดผลได้ดีตลอดปี ผลโต กลิ่นไม่หอมเหมือนมะนาวไทย มีน้ำหนักมาก ทั้งไม่มีเมล็ดด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 คุณค่าทางอาหารของมะนาว (กรมอนามัย, กองโภชนาการ, 2530)

คุณค่าทางอาหารของมะนาวในส่วนที่กินได้ 100 กรัม มีดังนี้คือ

| | ผลมะนาว | น้ำมะนาว |
|---|---|---|
| ความชื้น (Moisture), กรัม | 91.0 | 90.9 |
| แคลอรี (Colories), หน่วย | 36 | 24 |
| ไขมัน (Fat), กรัม | 2.4 | - |
| คาร์โบไฮเดรต (CHO), กรัม | 5.9 | 8.3 |
| กากใย (Fiber), กรัม | 0.3 | - |
| โปรตีน (Protein), กรัม | 0.5 | 0.5 |
| แคลเซียม (Ca), มิลลิกรัม | 13 | 9 |
| ฟอสฟอรัส (P), มิลลิกรัม | 11 | 8 |
| เหล็ก (Fe), มิลลิกรัม | - | 0.1 |
| วิตามินเอ (Vitamin A), ไอ ยู | 17 | - |
| วิตามินบี 1 (Vitamin B1), มิลลิกรัม | 0.03 | 0.03 |
| วิตามินบี 2 (Vitamin B2), มิลลิกรัม | 0.02 | - |
| ไนอะซีน (Niacin), มิลลิกรัม | 0.1 | 0.2 |
| วิตามินซี (Ascorbic acid), มิลลิกรัม | 46 | 25 |

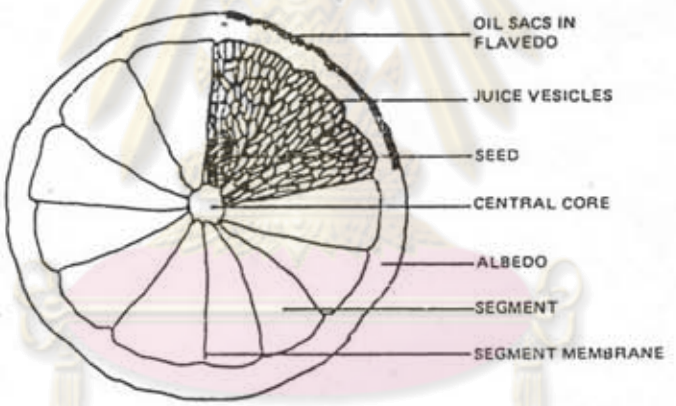
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 องค์ประกอบสำคัญของมะนาว

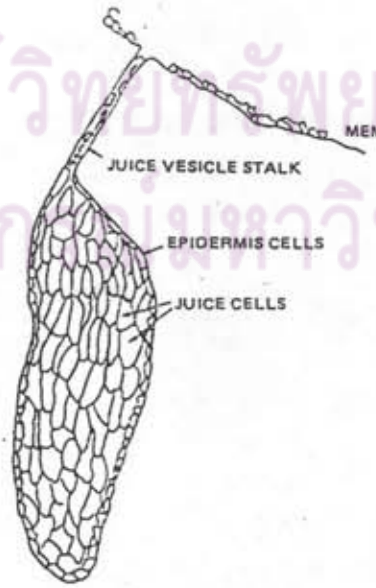
2.3.1 โครงสร้างของผลมะนาว (Ting and Attaway, 1980; Ting and Rouseff, 1986)

เนื้อเยื่อของผลไม้ตระกูลส้มแบ่งได้เป็นส่วนใหญ่ ๆ คือ เปลือกชั้นนอก (flavedo) เปลือกชั้นกลาง (albedo) และกลีบผล (carpel segments) ส่วนของชั้นแรกจะเป็นชั้นของเอปิคาร์ป (epicarp) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นสีของเปลือกหรือเฟลวิโด ประกอบด้วยเนื้อเยื่อหลายชนิดชั้นนอกสุดเป็นชั้นเอพิเดอร์มิส (epidermis) ที่ผิวนอกของชั้นนี้มีไคติน (chitin)

และชี้ผึ้ง เคลือบอยู่เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ ถัดจากชั้นเอพิเดอร์มิสลงมาคือชั้นของคอลเลนไคมา (collenchyma) และพาเรนไคมา (parenchyma) ซึ่งมีโครมาโตฟอร์ (chromatophores) และต่อมน้ำมันหอมระเหย (oil grand) อยู่ ถัดจากชั้นคอลเลนไคมาและพาเรนไคมาเป็นชั้นของมีโซคาร์ป (mesocarp) หรือเอลบีโด ประกอบด้วยเซลที่อยู่กันอย่างหลวม ๆ และไม่มีโครมาโตฟอร์ เนื้อเยื่อนี้จะมีลักษณะนุ่มและเป็นสีขาวในตามธรรมชาติ เนื่องจากมีช่องว่างอากาศจำนวนมากภายในเนื้อเยื่อนี้ เอลบีโดประกอบด้วยเซลพาเรนไคมาขนาดใหญ่ที่มีสารเพคตินและเฮมิเซลลูโลสมาก ห่อหุ้มส่วนของเอนโดคาร์ปซึ่งเป็นส่วนที่ใช้รับประทาน ส่วนของเอลบีโดและเฟลวิโดรวมเรียกว่าเพอริคาร์ป (pericarp) หรือเปลือก ดังแสดงในรูปที่ 2.1ก และชั้นที่สามคือชั้นเอนโดคาร์ป (endocarp) ประกอบด้วยกลีบผล ปกติอาจมี 9-13 กลีบ แต่ละกลีบจะถูกแบ่งออกจากกันด้วยผนังกลีบ (segment membrane) และภายในจะมีถุงน้ำ (juice vesicles) ซึ่งติดกับผนังกลีบด้วยก้าน (vesicle stalk) เป็นจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.1ข และมีเมล็ดที่ติดอยู่ที่แกนกลางของผล




(ก)




(ข)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของผลละนาว (ก) ผลละนาว (ข) องค์ประกอบของถุงน้ำ

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมี

2.3.2.1 สี (Meyer, 1978; Ting and Attaway, 1980; Charley, 1982)

รงควัตถุที่เป็นสีของผลไม้แบ่งออกได้เป็น 3 พวกใหญ่ ๆ คือ คลอโรฟิลล์(chlorophyll) คาโรทีนอยด์ (carotenoids) และเฟลโวนอยด์(flavonoids) สำหรับในผลมะนาวมีคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์เป็นสำคัญ

คลอโรฟิลล์มี 2 รูปคือ คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) ซึ่งมีสีเขียวน้ำเงินเข้ม และคลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll b) ซึ่งมีสีเขียวเหลืองหม่นโดยพบในอัตราส่วนของคลอโรฟิลล์ เอ ต่อคลอโรฟิลล์ บี เท่ากับ 3 ต่อ 1 แต่ละโมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีหมู่ไพโรล(pyrrole) 4 หมู่แต่ละหมู่ประกอบด้วยวงแหวนของคาร์บอน 4 อะตอมและไนโตรเจน 1 อะตอม หมู่ไพโรล 4 หมู่รวมกันเป็นวงแหวนพอร์ไฟริน (porphyrin ring)โดยมีแมกนีเซียม (Mg) รวมอยู่ด้วย โดยคลอโรฟิลล์ เอ เป็นเอสเทอร์ (ester) เนื่องจากกรดที่ตำแหน่งที่ 7 ถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยไฟทอล (phytol) ขณะที่กรดที่ตำแหน่งที่ 6 ถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยเมทธานอล ไฟทอลหรือไฟทิลแอลกอฮอล์เป็นแอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลสูงและพบในรูปเอสเทอร์ในโมเลกุลของพืชหลายชนิด คลอโรฟิลล์ บีต่างกันที่มีหมู่ฟอร์มิล (-CHO) ที่ตำแหน่งที่ 3 แทนที่หมู่เมทธิล($-CH_3$)ในคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์มีหน้าที่สังเคราะห์แสงและสร้างคาร์โบไฮเดรตจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นสีเขียวมะกอกและสีน้ำตาลโดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือการแทนที่เมกนีเซียมในโมเลกุลด้วยไฮโดรเจนเมื่อได้รับความร้อน ในขณะที่มีกรดอินทรีย์อยู่ด้วยและจะได้สารสีเทาเขียวอ่อนที่ชื่อว่าฟีโอไฟติน เอ (pheophytin a)หรือสารสีเขียวมะกอกที่ชื่อว่าฟีโอไฟติน บี (pheophytin b) การเคลื่อนย้ายหมู่ไฟทิลจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase)เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังปฏิกิริยา

คาโรทีนอยด์เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่สามารถละลายได้ในไขมัน มีสีเหลือง ส้ม และแดงส้ม คาโรทีนอยด์อยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) รวมกับคลอโรฟิลล์ สีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังสีเหลืองและสีแดงของคาโรทีน(carotenes) คาโรทีนอยด์แบ่งเป็น

2 ชนิด คือ คาโรทีนและแซนโธฟิลล์ (xanthophylls) คาโรทีนประกอบด้วยไอโซเมอร์ 3 ไอโซเมอร์คือ เอลฟา (α-) เบตา (β-) และแกมมา (γ-) คาโรทีนและไลโคพีน (lycopene)ซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดงส้ม พบในมะเขือเทศ ส่วนแซนโธฟิลล์คือคาโรทีนอยด์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) อยู่เช่น คริปโตแซนธิน (cryptoxanthin)

เฟลโวนอยด์เป็นกลุ่มของสารประกอบที่มีมากในพืช เป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้และมักพบในส่วนที่เป็นน้ำของพืช เฟลโวนอยด์ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน(benzene rings)2 วง เชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอน 3 ตัวซึ่งส่วนใหญ่คาร์บอนทั้ง 3 ตัวนี้จะรวมตัวกับออกซิเจน ตัวอย่างเช่น แอนโธไซยานิน (anthocyanins) ซึ่งมีสีแดง น้ำเงิน ม่วงในพืช แอนโธแซนธิน (anthoxanthins)มีสีเหลือง คาเทชิน(catechins) และลิวโคแอนโธไซยานิน (leuco-anthocyanins)โดย 2 กลุ่มหลังนี้ไม่มีสี แต่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว

2.3.2.2 กรดอะมิโน (Burroughs, 1970; Ting and Attaway, 1980; Charley, 1982)

จากการศึกษาในผลไม้ตระกูลส้มหลายชนิด เช่น ส้ม มะนาวฝรั่ง (lemon)และเกรปฟรุต (grapefruit) พบว่ามีกรดอะมิโนหลายตัวเช่น อะลานิน (alanine) แอสปาราจีน (asparagine) กรดแอสปาร์ติก (aspartic acid) กรดกลูตามิก (glutamic acid) โพรลีน (proline) ซีรีน (serine) กรดแกมมาอะมิโนบิวไทริก (γ-aminobutyric acid)และอาร์จีนีน (arginine) และพบว่ามีกรดอะมิโนประมาณ 70 % ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำ สำหรับในมะนาวฝรั่งพบว่ามีเอสปาร์ติก 32 % ของปริมาณกรดอะมิโนอิสระทั้งหมด (สูงสุด) และมีอาร์จีนีน 3 % ของปริมาณกรดอะมิโนอิสระทั้งหมด (ต่ำสุด)โดยมีซีรีน 24 % ของปริมาณกรดอะมิโนอิสระทั้งหมดและอะลานีนและโพรลีน 18 % ของปริมาณกรดอะมิโนอิสระทั้งหมด ความแปรปรวนของปริมาณกรดอะมิโนเป็นผลมาจากความแก่อ่อนของผลไม้

2.3.2.3 คาร์โบไฮเดรต (Whiting, 1970; Ting and Attaway, 1980; Charley, 1982)

คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาล แป้งรวมถึงเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และสารประกอบเพคติน (pectic substance)

พวกน้ำตาล ได้แก่ ซูโครส (sucrose) เอลฟาและเบตากลูโคส (α- and β-glucose) และฟรุกโตส (fructose) เป็น 3 ตัวหลัก

น้ำตาลสามารถแบ่งเป็น 3 พวกใหญ่ คือ (1) น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) เช่น น้ำตาลเฮกโซส (hexose) ได้แก่ กลูโคส (glucose) ซึ่งมักมีมากเป็น 2 เท่าของฟรุกโตส และกาแลกโตส (galactose) ปริมาณเล็กน้อย น้ำตาลเพนโตส (pentose) ได้แก่ อาราบิโนส (arabinose) ซึ่งพบในมะนาวและเกรปฟรุต (2) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide)ได้แก่ ซูโครสพบในมะนาวและมะนาวผรั่งปริมาณน้อย (3) อนุพันธุ์ของน้ำตาล เช่น ในรูปกรด ได้แก่ D-galacturonic acid, D-gluconic acid, galactaric (mueic acid) และ L-ascorbic acid ในรูปฟอสเฟตเป็นตัวกลางในกระบวนการเมตาบอลิก ได้แก่ D-glucose-6-phosphate (G-6-P), D-fructose-6-phosphate (F-6-P), fructose-1,6-diphosphate (F-1,6-dip)

ส่วนพวกโพลิแซคคาไรด์ (polysaccharides) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถละลายในแอลกอฮอล์ (alcohol-insolubles solids) ประกอบด้วยโพลิแซคคาไรด์และสารประกอบเพคติน (pectic substances) ทั้งหมด

สารประกอบเพคตินพบในผนังเซลปฐมภูมิ (primary cell wall) ในส่วนของลาเมลลาชั้นกลาง (middle lamella) และพบมากในส่วนแอลบีโดของผลไม้ตระกูลส้ม สารประกอบเพคตินเป็นโพลิเมอร์ของกรด D-galacturonic เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glycocidic ปกติสารประกอบเพคตินแบ่งเป็น 3 พวก คือ (1) กรดเพคติก (pectic acid) ซึ่งหมู่คาร์บอกซิลไม่ถูกเอสเทอริไฟด์ และในเนื้อเยื่อมักพบในรูปของเกลือแคลเซียม หรือแมกนีเซียม (2) กรดเพคตินิกหรือเพคติน (pectinic acid or pectin) มีหมู่คาร์บอกซิลถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยหมู่เมทธิล และในเนื้อเยื่อมักพบในรูปของเกลือของเพคติน (3) โปรโตเพคติน (protopectin) เป็นสารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำพบในเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่ แต่จะเปลี่ยนเป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้เมื่อได้รับความร้อนจากการหุงต้ม

2.3.2.4 กรดอินทรีย์ (Ulrich, 1970; Ting and Attaway, 1980; Charley, 1982)

ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity) ในผลไม้ตระกูลส้มจะเป็นกรดซิตริกเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ในผลไม้ตระกูลส้มยังมีไอออนบวก (cations) ต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ โปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเป็นส่วนใหญ่ ค่า pH จะมีค่าอยู่ประมาณ 2

2.3.2.5 เฟลโวนอยด์และลิโมนอยด์ (flavonoids and limonoids) (Ting and Attaway, 1980)

พวกเฟลโวนอยด์ ได้แก่ แอนโธไซยานิน เฟลโวน (flavones) เฟลโวนอล (flavonols) หรือเฟลวาโนน (flavanones) ซึ่งกลุ่มหลังนี้ ได้แก่ เฮสเพอริดิน (hesperidin) และนารินจิน (naringin) ซึ่งพบมากในส้มและเกรปฟรุต ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบเฮสเพอริดินในส้มแมนดาริน มะนาวฝรั่ง มะนาว และพันธุ์ผสมอื่น ๆ ส่วนพวกลิโมนอยด์ ได้แก่ ลิโมนิน (limonin) และกรดลิโมนีอิก (limonexic acid) นารินจินและลิโมนินเป็นสารที่ให้รสขมในผลไม้ตระกูลส้ม

2.3.2.6 ไขมัน (Ting and Attaway, 1980)

ในส่วนไขมันในผิวประกอบด้วยกรดโอลีอิก (oleic acid) กรดลิโนลีนิก (linolenic acid) กรดปาล์มิติก (palmitic acid) กรดสเตียริก (stearic acid) กลีเซอรอล (glycerol) โฟโตเอสเทอร์โอลิน (photoesterolin) และซีริลแอลกอฮอล์ (ceryl alcohol) ส่วนในถุงน้ำ (pulp) นอกจากมีกรดไขมันและแอลกอฮอล์เช่นเดียวกับที่พบในผิวแล้วยังมีกรดซีโรติก (cerotic acid) ไฟโตสเตียรอล (phytosterol) และเพนโตโคเซน (pentacosane)

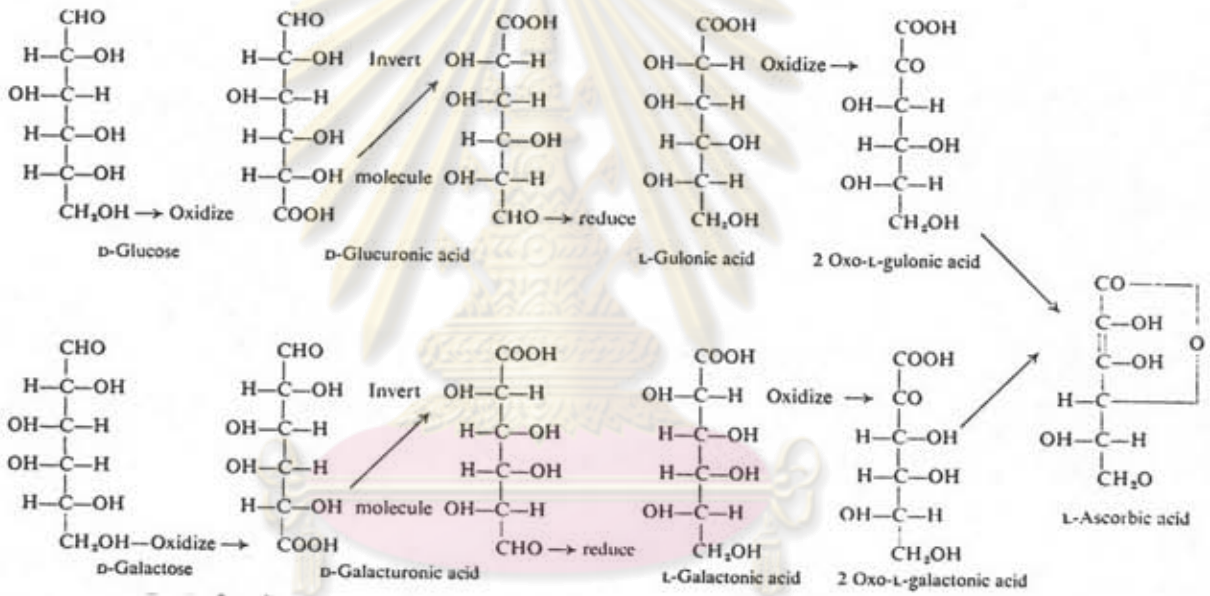
2.3.2.7 สารประกอบที่ระเหยได้ (Ting and Attaway, 1980)

เมื่อผลไม้แก่เริ่มสุกจะมีกลิ่นเพิ่มขึ้น ผลไม้แต่ละชนิดจะมีกลิ่นเฉพาะตัว แต่ถ้าวิเคราะห์สารที่เป็นกลิ่นแล้ว ผลไม้ชนิดหนึ่งจะมีสารที่เป็นกลิ่นมากกว่า 100 ชนิด สารเหล่านี้จำแนกเป็นหลายประเภท ได้แก่ เทอร์พีนไฮโดรคาร์บอน (terpene hydrocarbons) สารประกอบคาร์บอนิล แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ แลคโตน (lactone) อัลดีไฮด์ คีโตน อะซีตัล (acetals) และกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ สารระเหยในพืชตระกูลส้มที่สำคัญ ได้แก่ เอทธานอล, cis-3-hexen-1-ol, linolool, เมทธานอล อะซีตัลดีไฮด์ เอทธิลอะซิเตท ลิโมนีน (limonene) และอะซีโตน

สารให้กลิ่นที่สำคัญในทั้งมะนาวฝรั่ง (lemon) และมะนาว (lime) คือนีรัล (neral) และจีรานิอัล (geranial) แต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าสารตัวใดที่ทำให้เกิดกลิ่นที่แสดงถึงความสดของน้ำผลไม้เหล่านี้

2.3.2.8 วิตามิน (Mapson, 1970; Ting and Attaway, 1980)

ผลไม้เป็นแหล่งสำคัญของกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) สร้างจากสารที่เป็นตัวกำเนิดคือน้ำตาลเฮกโซส (hexose) ซึ่งขึ้นกับกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อกระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง เนื่องจากความเข้มของแสงลดลงจะทำให้ระดับของกรดแอสคอร์บิกลดลงด้วย ดังนั้นความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกในผลไม้จึงแปรไปตามระดับของการได้รับแสงแดด การสร้างกรดแอสคอร์บิกสามารถสร้างจากทั้งน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) และน้ำตาลกาแลกโตส (D-galactose) ดังแสดงในรูปที่ 2.2




รูปที่ 2.2 การสร้างกรดแอสคอร์บิกจากน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลกาแลกโตส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณวิตามินซีในส่วนต่าง ๆ ของผลมีปริมาณแตกต่างกันไป เช่น ในน้ำส้มมีวิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิคเป็นเพียง 1 ใน 5 เท่าของเปลือกชั้นนอก (flavedo) และเป็น 1 ใน 3 เท่าของเปลือกชั้นกลาง (albedo) และในน้ำของผลเกรปฟรุตมีวิตามินซีเป็น 1 ใน 7 เท่าของเปลือกชั้นนอก และเป็น 1 ใน 5 เท่าของเปลือกชั้นกลาง

นอกจากนี้ยังมีไอโนซิตอล(inositol) โทโคฟีรอล (tocopherol) วิตามินเอ ไธเอมีน (thiamin) และไนอาซีน (niacin)

2.3.2.9 สารประกอบอนินทรีย์ (Ting and Attaway, 1980)

สารประกอบอนินทรีย์เป็นส่วนของเถ้า (ash) ทั้งหมดและธาตุหลายตัวที่เกี่ยวข้องกับระบบเอนไซม์ในผล เช่นพบโปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมอยู่ร่วมกับซิตริก มาลิกและออกซาลิก

2.4 <u>การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว</u> (Whiting, 1970; Ting and Attaway, 1980; Charley, 1982; สายชล เกตุษา, 2528)

ผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยวแล้วยังมีชีวิตอยู่ การเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อเยื่อ (metabolic activity) ของผักและผลไม้ดำเนินอยู่เช่นเดียวกันกับขณะที่อยู่บนต้นเดิมซึ่งยังไม่ได้มีการเก็บเกี่ยว ดังนั้นผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีการหายใจต่อไป โดยการดูดออกซิเจนเข้าไป และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนออกมา มีการคายน้ำหรือการสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียเนื่องจากการหายใจและการคายน้ำนั้นขณะที่ผลิตผลยังอยู่กับต้นเดิมจะถูกแทนที่หรือชดเชยโดยน้ำหล่อเลี้ยงภายในต้น (cell sap) อาหารได้จากการสังเคราะห์แสงและแร่ธาตุได้จากดินหรือปุ๋ยที่ใส่ให้ หลังจากที่ผักและผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวแล้วจะถูกตัดออกจากแหล่งน้ำ อาหาร และแร่ธาตุ ดังนั้นผักและผลไม้หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วจึงต้องขึ้นอยู่กับอาหารที่สะสมไว้และความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อ การสูญเสียอาหารและน้ำที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อของผลิตผลจะไม่ถูกชดเชย จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่นำไปสู่การสิ้นอายุขัย (senescence)ของพืชเร็วกว่าปกติ ในที่สุดเซลของพืชก็จะตายและกระบวนการต่าง ๆ ก็หยุด เอนไซม์ในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้มีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของผักและผลไม้ การทำงานของเอนไซม์ส่วนมากขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นรอบ ๆ ผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้นอุณหภูมิและความชื้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวของพืชและผลไม้สด การเปลี่ยนแปลงในด้านเคมีและชีวเคมีที่เกิดขึ้นกับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตผล การเปลี่ยนแปลงบางอย่างทำให้คุณภาพของผลิตผลดีขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงบางอย่างทำให้คุณภาพของผลิตผลเสียลง

2.4.1 การหายใจ

การหายใจเป็นกระบวนการสลายอินทรีย์วัตถุโมเลกุลเล็ก ๆ จากที่เดิมเคยสะสมอยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยใช้ออกซิเจนให้สลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

และน้ำ พร้อมทั้งการปล่อยพลังงานออกมาซึ่งเก็บไว้ในรูปของ adenosine triphosphate (ATP) ในอากาศที่มีออกซิเจนน้อยหรือไม่มีออกซิเจน การหายใจของผักและผลไม้โดยออกซิเดชันน้ำตาลเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ และได้จำนวน ATP ต่อ 1โมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสน้อยกว่าการหายใจในสภาพที่มีออกซิเจนปกติ

อัตราการหายใจต่อน้ำหนักสดจะสูงสุดสำหรับผลไม้ที่ยังมีอายุน้อย และอัตราการหายใจค่อย ๆ ลดลง เมื่อผลไม้มีอายุมากขึ้น สำหรับในผลไม้พวกที่เป็นไคลแมกเทอริก (climacteric) ระยะเวลาก่อนถึงช่วงไคลแมกเทอริก (climacteric rise) เป็นระยะที่มีอัตราการหายใจต่ำสุด เรียกว่าช่วงพรีไคลแมกเทอริก (preclimacteric stage) การเพิ่มอัตราการหายใจของผลไม้เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการสุก ระยะเวลาหลังจากช่วงไคลแมกเทอริก เป็นโพสไคลแมกเทอริก (postclimacteric stage) หรือสิ้นอายุขัย (senescence)ซึ่งมีอัตราการหายใจลดลง อัตราการหายใจในช่วงไคลแมกเทอริกและระยะเวลาของช่วงไคลแมกเทอริกแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ ผลไม้จำพวกไคลแมกเทอริก ได้แก่ แอปเปิล อาโวกาโด กล้วย แพร์ มะม่วง มะละกอ เสาวรส พีช พลัม มะเขือเทศ กีวี น้อยหน่า ทุเรียน และละมุด เป็นต้น

การหายใจอย่างรุนแรงในผลไม้นั้นปกติจะเกิดตอนท้ายสุดที่ผลไม้จำพวกไคลแมกเทอริกแก่จัด จะไม่เกิดขณะผลยังมีอายุน้อย ๆ และติดอยู่กับต้น ยกเว้นต้นไม้อาจมีความผิดปกติ เช่น รากเน่า หรือเป็นโรค และผลิตก๊าซเอทธิลีนเข้ามาสู่ผล

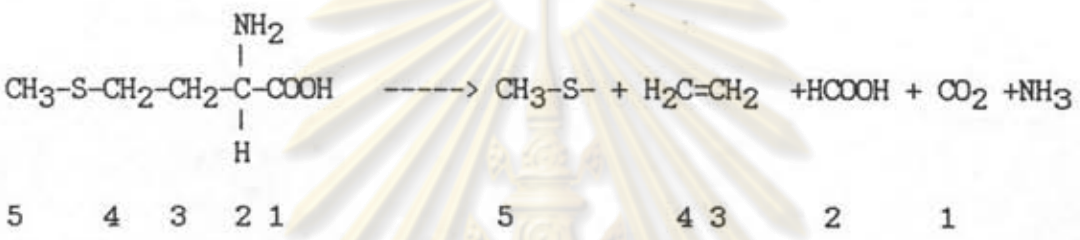
ส่วนผลไม้ที่เป็นนอนไคลแมกเทอริก (non-climacteric) ได้แก่ สับปะรด ส้ม สตรอเบอรี แตงกวา มังคุด เงาะ องุ่น ลิ้นจี่ ลำไย เกรปฟรุต ส้ม และมะนาว เป็นต้น

การสิ้นสุดอาหารที่สะสมของพืชผักผลไม้ หมายถึง การที่อาหารสะสมในเนื้อเยื่อหมดเปลืองไปและจะนำไปสู่ความตายของเนื้อเยื่อ การหมดคุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามินซี ซึ่งเนื้อเยื่อของพืชจะมีระบบเอนไซม์ออกซิเดส (oxidase system) ซึ่งสามารถออกซิไดซ์วิตามินซีเปลี่ยนไปเป็นสารอื่น รสชาติเสื่อมด้อยโดยเฉพาะความหวาน และน้ำหนักลดลง อัตราการเสื่อมสภาพของพืชผักผลไม้ขึ้นโดยตรงกับอัตราการหายใจ

การสร้างเอทธิลีนในผลไม้ที่มีบทบาทในการควบคุมการสุกของผลไม้โดยธรรมชาติมีอยู่ 2 ระบบ การสร้างเอทธิลีนจะถูกชักนำให้เกิดขึ้นโดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มความแก่ (aging factor) ในเนื้อเยื่อของผลไม้ (System I) และระบบนี้ทำให้ความเข้มข้นของเอทธิลีนถึงระดับสูงพอที่จะชักนำให้เกิดการหายใจเพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับการสุกความเข้มข้นของเอทธิลีนในระดับนี้จะชักนำให้เกิดการสร้างเอทธิลีนเพิ่มขึ้นมาก (System II)

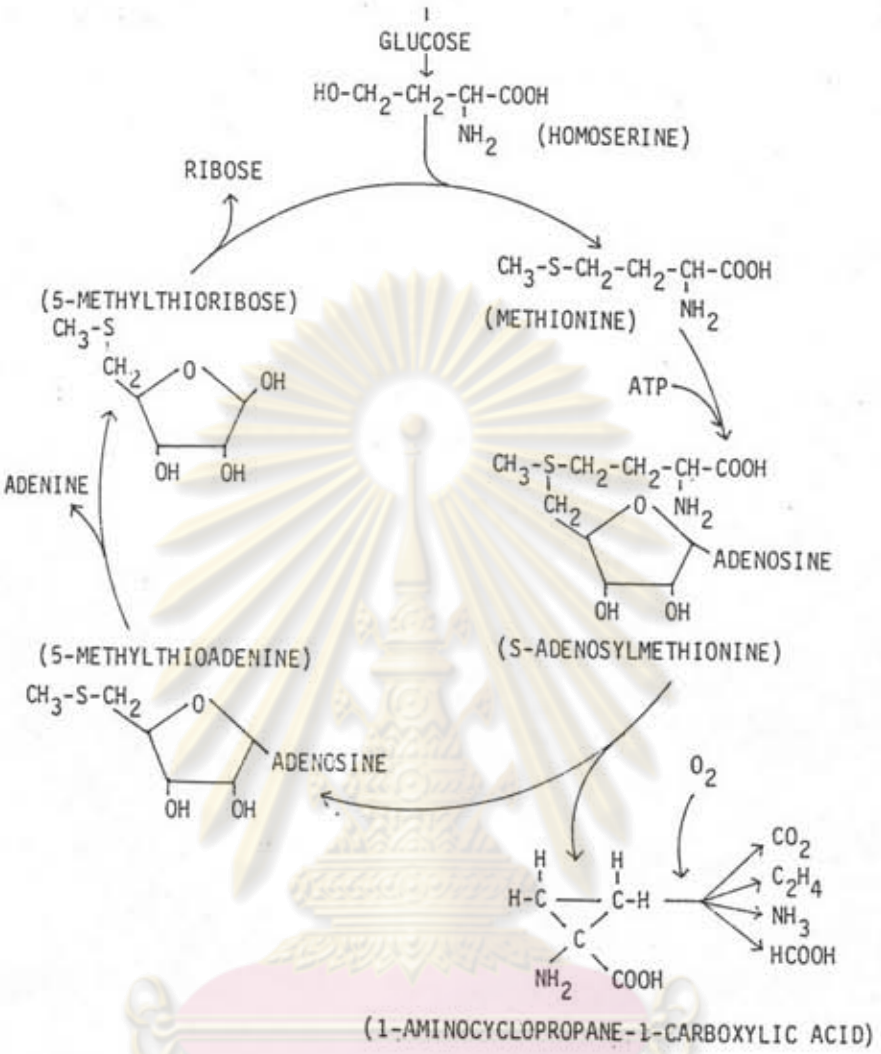
ส่วนเอทธิลีนที่ให้กับผลไม้ประเภทนอนไคลแมกเทอริก(non-climacteric) จะกระตุ้นให้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเอทธิลีนที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงหรือย่นระยะเวลาของการเกิด climacteric rise ถ้าหยุดให้เอทธิลีนจากภายนอกกับผลไม้ การหายใจของผลไม้จะลดลงหรือกลับไปอยู่ในอัตราเดิม ผลไม้พวกส้มและผลไม้อื่น ๆ ที่เป็นนอนไคลแมกเทอริกมีระบบการสร้างเอทธิลีนเป็นแบบ non-autocatalysis

ขั้นตอนในการสร้างเอทธิลีนมีเมทไธโอนีน (methionine) เป็นสารที่เป็นตัวกำเนิดเอทธิลีน (precursor)ในพืชชั้นสูง ดังสมการ



การสังเคราะห์เอทธิลีนจากเมทไธโอนีนมีสารตัวกลาง (intermediate) เกิดขึ้นก่อนโดยมี S-adenosyl methionine (SAM) เป็นสารตัวกลางตัวแรก โดยเมทไธโอนีนทำปฏิกิริยากับ ATP แล้วได้ SAM และพบว่า 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) เป็นสารตัวกลางอีกตัวหนึ่งต่อจาก SAM ก่อนที่จะมีการสังเคราะห์เอทธิลีนเกิดขึ้น การที่พืชหยุดการสังเคราะห์เอทธิลีนในสภาพของบรรยากาศที่ขาดออกซิเจนไม่ได้หมายความว่าพืชขาด ATP สำหรับการสังเคราะห์ SAM แต่ในสภาพของบรรยากาศที่ขาดออกซิเจนพบว่าไม่มีการสะสม SAM ในเนื้อเยื่อของพืช ACC synthase สามารถเกิดขึ้นได้และทำงานได้ในสภาพของบรรยากาศที่ขาดออกซิเจน แต่พืชไม่สามารถสังเคราะห์เอทธิลีนได้เพราะขาดออกซิเจนซึ่งจำเป็นต่อการเปลี่ยน ACC ไปเป็นเอทธิลีน จึงสรุปได้ว่าการสังเคราะห์เอทธิลีนในพืชชั้นสูงมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

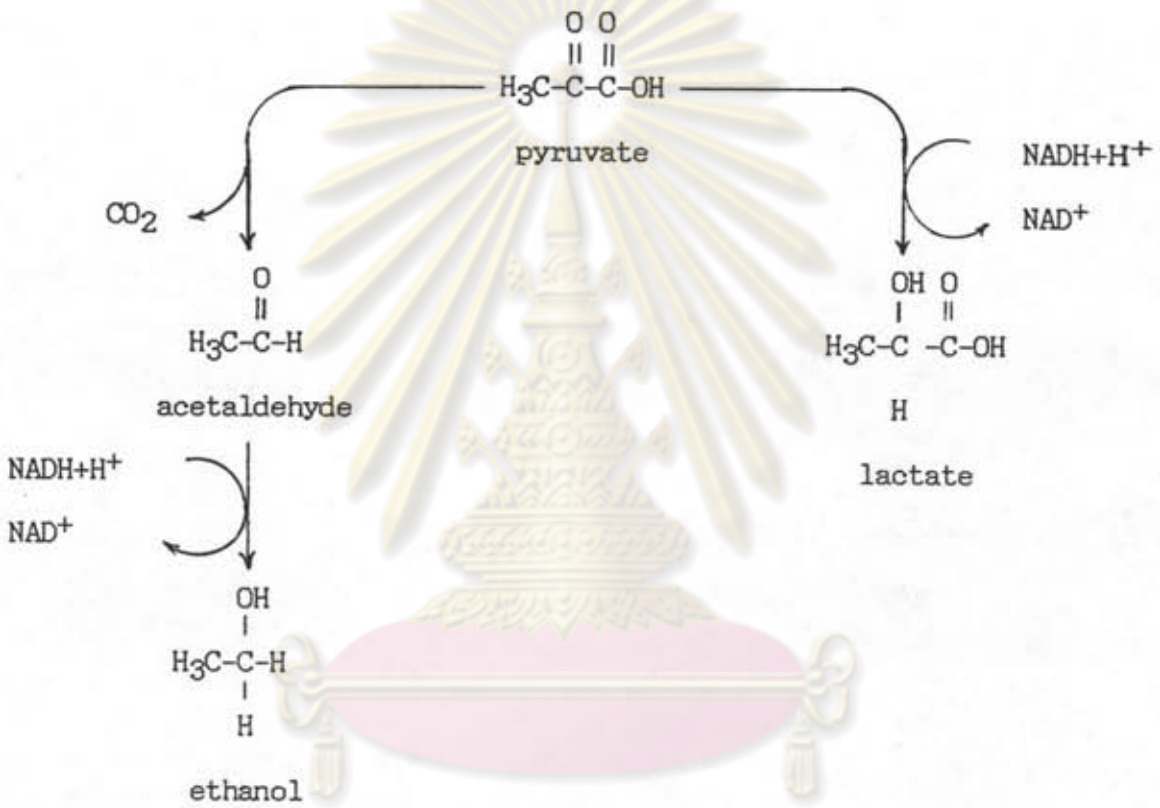



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์เอทธิลีนในพืช

ในสภาพของบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนปกติ แต่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 0.03 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการทำงานของเอทธิลีนจะลดลงเช่นกันและยิ่งความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นมาก ๆ เอทธิลีนจะไม่สามารถทำงานได้เลย ทั้งนี้เพราะคาร์บอนไดออกไซด์มีสูตรโครงสร้างคล้ายกับสารประเภทอัลคีน (alkene) เช่น เอทธิลีน อะเซทธิลีน และโพรพิลีน เป็นต้น และคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้าไปแทนที่เอทธิลีน ทำให้เอทธิลีนไม่สามารถทำงานได้ การยับยั้งการทำงานของเอทธิลีนโดยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นในลักษณะของ competitive inhibitor

การเกิดกลิ่นรสแปลกปลอม (off-flavor) ในผลไม้ที่มีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นไปในลักษณะเกิดการหมัก (fermentation) ซึ่งมี 2 ชนิดคือ การหมักที่ได้

แอลกอฮอล์ (alcoholic fermentation) โดยไพรูเวท (pyruvate) ซึ่งเป็นสารตัวสุดท้าย ของกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) ถูกกำจัดหมู่คาร์บอกซิล (decarboxylate) ได้ อัลดีไฮด์ (aldehyde) และถูกรีดิวซ์เป็นเอทธานอลโดย $NADH+H^+$ และการหมักที่ได้กรดแลกติก (lactic acid fermentation) โดยไพรูเวทถูกรีดิวซ์โดยตรงโดย $NADH+H^+$ ได้แลกเตท (lactate) (Hess, 1975) ดังแสดงในรูปที่ 2.4




รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาการเกิดแอลกอฮอล์และกรดแลกติกในการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.2 การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ

สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาผักและการสุกของผลไม้คือการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ (softening) การเปลี่ยนแปลงของผนังเซลเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดการอ่อนตัวของผักและผลไม้ ผนังเซลของพืชประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมผนังเซลด้านนอกให้ติดกัน (intercellular cement หรือ middle lamella) ผนังเซลชั้นที่หนึ่ง (primary cell wall) และผนังเซลชั้นที่สอง (secondary cell wall)

การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อของผลเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบ

เพคติน และส่วนประกอบอื่นที่เป็นผนังเซลชั้นที่หนึ่ง และ middle lamella

สารประกอบเพคตินนี้เป็นโพลิเมอร์ของกรดกาแลกทูรอนิก (galacturonic acid) ซึ่งบางหมู่ของคาร์บอกซิลิกอาจถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยหมู่เมทธิล และบางครั้งจะเกิดเติมหมู่อะซิติลที่ตำแหน่งของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 ของกรดกาแลกทูรอนิก โดยเพคตินที่ไม่ละลายน้ำที่อยู่ในผลไม้ที่ยังไม่สุกทำให้ผลไม้มีความแข็งและแน่นอยู่ เมื่อผลไม้เริ่มสุก เพคตินที่ไม่ละลายน้ำจะลดลง และเพคตินที่ละลายน้ำจะเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นโดยกระบวนการของเอนไซม์ 2 ชนิดคือ เอนไซม์ pectin methylesterase (pectinesterase) และเอนไซม์ polygalacturonase การเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้เกิดขึ้นระหว่างที่เริ่มกระบวนการสุก ขั้นตอนของปฏิกิริยาทั้งหมดของเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้ที่ทำให้ผักและผลไม้อ่อนตัวประกอบด้วยการกำจัดหมู่เอสเทอร์ (deesterification) ซึ่งเป็นกระบวนการแยกตัวของหมู่ $-CH_3$ ออกจากโพลิเมอร์ และกระบวนการที่ทำให้ความยาวของโพลิเมอร์สั้นลง (depolymerization)

การเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลเพคตินที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นกรดกาแลกทูรอนิก ซึ่งละลายน้ำทำให้เซลซึ่งเคยยึดเกาะกันแน่นในผลไม้ดิบอยู่ในสภาพที่เกาะกันหลวม ๆ ในผลไม้สุก ดังนั้นผลไม้สุกจึงอ่อนตัว

นอกจากเอนไซม์ 2 ชนิดที่ทำให้เพคตินที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำ ยังมีเอนไซม์อื่น ๆ คือ pectin depolymerase, polymethyl galacturonase และ pectin transeliminase ซึ่งสามารถทำให้เพคตินเกิดการเปลี่ยนแปลงได้

2.4.3 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

2.4.3.1 สี

โดยทั่วไประหว่างผลไม้สุกคลอโรฟิลล์ เอ และบี จะสลายตัว และรงควัตถุสีส้มและเหลืองในเปลือกจะเพิ่มขึ้น แต่ในกรณีของมะนาว (lime) พบว่าคาโรทีนอยด์ลดลง เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัวไป

กลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และกระบวนการทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในพืชจนกระทั่งปัจจุบันยังไม่เป็นที่เข้าใจแน่ชัด โดยทั่วไปแล้วคิดว่าระหว่างการเกิดการสิ้นอายุขัย หรือการเก็บรักษาผักและผลไม้ คลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปเป็นสารไม่มีสี ทำให้คาโรทีนอยด์ปรากฏออกมาให้เห็น คลอโรฟิลล์เปลี่ยนแปลงได้ง่ายในสภาพของความเป็นกรด ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายแมกนีเซียมจากศูนย์กลางโครงสร้างเตตระไพโรล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(tetrapyrrole) และเกิดสารใหม่คือฟีโอไฟติน (pheophytin) เป็นสารสีเขียวมะกอก ในการสลายตัวของคลอโรฟิลล์นั้น มีเอนไซม์คลอโรฟิลเลสทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในปฏิกิริยาขั้นแรก ดังสมการ

$$\text{chlorophyll} + H_2O \xrightarrow{\text{chlorophyllase}} \text{phytol} + \text{chlorophyllide}$$

ปกติเอนไซม์คลอโรฟิลเลสมีอยู่ทั่วไปในเนื้อเยื่อของพืชและจะทำงานเมื่อเนื้อเยื่อพืชได้รับความกระทบกระเทือนทางสรีระ (physiological stress) เชื่อกันว่าเอนไซม์ตัวนี้อยู่ในเนื้อเยื่อพืชในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของ chlorophyll-lipoprotein ฉะนั้นเอนไซม์ชนิดนี้จึงไม่ทำงานเมื่ออยู่ในสภาพปกติ การสลายตัวของคลอโรฟิลล์สามารถเร่งให้เกิดขึ้นเร็วได้โดยเอทธิลีน lipo-protein ที่คลอโรฟิลล์เกาะติดอยู่นี้จะทำหน้าที่ป้องกันคลอโรฟิลล์จากกรดซึ่งมีอยู่โดยธรรมชาติในเนื้อเยื่อพืช โปรตีนเมื่อถูกความร้อนจะรวมตัวกันทำให้คลอโรฟิลล์สัมผัสกับกรด และเกิดการเคลื่อนย้ายของแมกนีเซียมจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ได้สารฟีโอไฟติน (pheophytin)

ขั้นตอนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์มีหลายทางที่เป็นไปได้และมีปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องคือ เอนไซม์คลอโรฟิลเลส กรด และออกซิเจน อย่างไรก็ตามกลไกสำคัญในการทำลายคลอโรฟิลล์คือ photochemical oxidation ซึ่งถูกควบคุมโดย pH และอุณหภูมิ และในที่สุดจะได้ส่วนผสมของคลอริน (chlorins) และเพอร์เพอริน (purpurins) ซึ่งเป็นสารไม่มีสี

โดยปกติในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้มีคาโรทีนอยด์อยู่ก่อนแล้ว เมื่อผักและผลไม้เริ่มเปลี่ยนสีไปเป็นสีเหลือง คลอโรฟิลล์สูญเสียไปและทำให้คาโรทีนอยด์ที่มีอยู่ปรากฏให้เห็น

ระหว่างการเกิดการสิ้นอายุขัย (senescence) และการเก็บรักษาของผักและผลไม้ที่มีสีเขียวมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับคาโรทีนอยด์ นอกเหนือไปจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ โดยทั่วไปคาโรทีนอยด์เป็นสารที่ไม่คงที่ในสภาพที่มีแสงและออกซิเจนและถูกออกซิไดซ์โดยเอนไซม์ลิโปซิเดส (lipoxidase) ขณะที่ปริมาณของคลอโรฟิลล์ลดลงปริมาณทั้งหมดของคาโรทีนอยด์จะลดลงด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.3.2 กรดอินทรีย์

โดยทั่วไปแล้วปริมาณของกรดในผลไม้เพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดระหว่างการเจริญเติบโตและพัฒนาขณะอยู่บนต้น เนื่องจากกระบวนการของวัฏจักรเครบ (Krebs cycle) เกิดขึ้นในเซลของพืชชั้นสูงฉะนั้นจึงพบกรดซิตริกและกรดมาลิกในเนื้อเยื่อของพืช กรดซิตริกและกรดมาลิกเป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ กรดซิตริกพบมากในส้ม มะนาว สับปะรด ฝรั่ง มะเขือเทศและผักประเภทรับประทานใบ กรดมาลิกพบมากในแอปเปิล พลับ กล้วยและแตงโม ปริมาณของกรดทั้งหมดลดลงระหว่างช่วงเวลาของการสุก การลดลงของกรดพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลจะทำให้ผลไม้มีรสหวานเพิ่มขึ้น

2.4.4 โรคหลังการเก็บเกี่ยว (Pentzen and Ryall, 1972)

โรคจากเชื้อราหลายชนิดที่ทำให้เกิดความเสียหายกับผักและผลไม้สดไม่สามารถผ่านเข้าไปโดยตรงทางผิวของผักและผลไม้ได้ถ้าหากไม่มีบาดแผล บาดแผลที่เกิดแม้จะมีเพียงเล็กน้อยก็ตามแต่เพียงพอสำหรับเชื้อโรคที่มีติดอยู่กับพืชจะเข้าไปและทำให้เกิดการเน่าเสีย

2.4.4.1 โรคที่เกิดกับผลมะนาว

2.4.4.1.1 Alternaria Rot

โรคนี้เกิดจากเชื้อรา *Alternaria citri* โดยจะมีอาการคือขั้วผลจะเป็นสีดำ เชื้อนี้จะแพร่ไปตาม vascular tissue ของแกนกลางของผล จนไปทำลายถึงภายในผลทำให้ผิวเปลี่ยนสี สาเหตุจากความอ่อนแอของผลจากการปลูกไม่ดี เก็บเกี่ยวเมื่อสุกงอมเกินไปเก็บรักษาเป็นเวลานานไป โดยจะพบเชื้ออยู่บนหรือใต้ขั้วผล แต่เชื้อไม่สามารถเข้าไปในผลได้จนกว่าเนื้อเยื่อที่ขั้วผลจะถูกทำลาย ดังนั้นจึงป้องกันได้โดยการรักษาขั้วผลให้คงความสดไว้จะชะลอการติดเชื้อได้โดยใช้สารฮอร์โมนควบคุมการเจริญเติบโต เช่น 2,4-D หรือ 2,4-dichlorophenoxyacetic acid ทันทีหลังการเก็บเกี่ยวการขนส่งต้องระวังอย่าให้เกิดบอบช้ำหรือบาดแผลและเก็บในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50°F (10°C) จะชะลอการเจริญของเชื้อ

2.4.4.1.2 Blue and Green Mold Rot

โรคนี้เกิดจากเชื้อรา *Penicilliu italicum* และ *Penicillium digitatum* โดยอาการคือจะเริ่มมีจุดนิ่มและฉ่ำน้ำที่ผิว และที่อุณหภูมิ

เหมาะสมจุดจะขยายตัวจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 1/2-2 นิ้ว ซึ่งจะเห็นเป็นราสีขาวที่ผิว แล้วเมื่อราเริ่มสร้างสปอร์สำหรับพวก green mold จะเป็นสีเขียวมะกอกที่จุดกึ่งกลางและส่วนรอบ ๆ จะมีใยสีขาวซึ่งพวก green mold จะสร้างสปอร์เฉพาะที่ผิวของผล แต่สำหรับพวก blue mold rot จะมีสปอร์เป็นสีน้ำเงินมีวงแหวนเล็ก ๆ ของเส้นใยสีขาว โดยพวก blue mold จะสร้างสปอร์ในเนื้อของผล และการแพร่เชื้อเกิดขึ้นได้โดยการสัมผัสทำให้ผลที่ดีอยู่เกิดการติดเชื้อไปด้วย เชื้อนี้เจริญอย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40°ฟ (4.4°ซ) ดังนั้นอุณหภูมิห้องเย็นไม่สามารถควบคุมการเจริญของเชื้อได้อย่างสมบูรณ์ ต้องใช้สารเคมีร่วมด้วย

2.4.4.1.3 Brown Rot

โรคนี้เกิดจากเชื้อรา *Phytophsthora* sp. อาการคือสีผิวจะเปลี่ยนไป ตั้งแต่สีน้ำตาลเขียวจนถึงน้ำตาลเหลือง โดยในบริเวณนั้นยังคงมีความคงตัว เฉพาะที่ความชื้นสูง ๆ เท่านั้นที่จะปรากฏเห็นราบนผิวที่มีการติดเชื้อ ผลที่ติดเชื้อจะมีกลิ่นที่เรียกว่า aromatic หรือ fermented odor สาเหตุการบนเปื่อนของเชื้อนี้มาจากดินเกิดขึ้นในบริเวณแปลงปลูกและสามารถแพร่กระจายเชื้อไปยังผลอื่น ๆ ได้โดยการสัมผัส

2.4.4.1.4 Fusarium Rot

โรคนี้เกิดจากเชื้อรา *Fusarium* sp. อาการคล้าย Alternaria rot คือเริ่มที่ขั้วผลหรือบริเวณบาดแผล ลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม เมื่อเจริญเข้าสู่ผลจะทำให้ผลเน่าและนิ่ม รวมทั้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง

2.4.4.1.5 Gray Mold Rot

โรคนี้เกิดจากเชื้อรา *Botrytis cinera* อาการคือจะทำให้เป็นสีน้ำตาลเหลืองจนถึงสีน้ำตาลเข้ม โดยในระยะแรกผลยังมีความคงตัว แต่ต่อมาผลจะนิ่มลง เชื้อสามารถแพร่กระจายเชื้อไปยังผลอื่น ๆ ได้โดยการสัมผัส

2.4.4.1.6 Sour Rot

โรคนี้เกิดจากเชื้อรา *Geotrichum candidum* พบมากโดยเฉพาะเมื่อเก็บรักษาไว้ลักษณะอาการในระยะแรกคล้ายกับ blue and green mold rot คือมีจุดฉ่ำน้ำสีน้ำตาลเหลืองถึงสีเหลือง เกิดขึ้นก่อน การเจริญของเชื้อราส่วนใหญ่เกิดภายใน

ผล ซึ่งต่อมาจะทำให้ภายในผลทั้งหมดสลายตัวให้กลิ่นเปรี้ยวและผลเน่า นิ่มพร้อมทั้งมีราสีขาวนวลอย่างหนาแน่นที่ผิว การติดเชื้อชนิดนี้เกิดผ่านทางบาดแผลเข้าสู่ผล

2.4.4.1.7. Stem-end Rot

โรคนี้เกิดจากเชื้อรา *Phomopsis citri* และ *Diplodia natalensis* อาการเริ่มที่ขั้วผล ระยะแรกมีการเปลี่ยนสีเล็กน้อย ต่อมาผิวเปลี่ยนสีเป็นสีเข้มขึ้นจนเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ การเน่าเสียอย่างรวดเร็วผ่านตามแกนกลางของผลเป็นส่วนใหญ่ และเมื่อเน่าเสียแล้วจะมีกลิ่นหมักดอง การบนเบื้องเชื้อราทั้งสองเกิดที่ขั้วผลขณะที่ผลยังอยู่บนต้น แต่เนื้อเยื่อยังคงไม่เกิดการติดเชื้อจนกว่าจะถูกเก็บเกี่ยว ผลที่สุกเกินไปมักเกิด stem-end rot รุนแรง โรคนี้ป้องกันได้โดยใช้สารเคมี

2.4.4.2 สารเคมีที่ใช้ในการควบคุมเชื้อรา

2.4.4.2.1. สารประกอบโบรอน (Boron Compounds)

สารละลายของเกลือโซเดียมบอเรท (บอแรกซ์)ใช้ควบคุม Penicillium rot โดยอาจใช้กรดบอริกหรือใช้บอแรกซ์ผสมกับกรดบอริกในอัตราส่วนบอแรกซ์ 4 % กับกรดบอริก 2 % เป็นสารที่นิยมใช้กันในผลส้ม

สารละลายโซเดียมเมตาบอเรทเข้มข้น 5 % อุณหภูมิ 70-85 °F ใช้ควบคุม stem-end rot ในมะนาวฝรั่ง

2.4.4.2.2. สารประกอบฟีนอล (Phenol Compounds)

สารSodium o-phenylphenate tetrahydrate (SOPP) หรือ o-phenylphenol (OPP) ควบคุม green rot, stem-end rot และ Penicillium rot แม้ว่าความเข้มข้นที่ใช้จะมีพิษแต่สามารถลดลงได้โดยการเพิ่ม pH เป็น 11.5-12.0 หรือเติม 1% hexamine

2.4.4.2.3. ไธอะเบนดาโซล (Thiabendazole)

การจุ่มผลลงในสารละลายไธอะเบนดาโซล (TBZ) เข้มข้น 200 ppm สามารถควบคุม stem-end rot และ Penicillium rot ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.4.2.4. อะมิโนบิวเทน (2-Aminobutane)

การจุ่มผลในสารละลายร้อนของ 2-Aminobutane (2AB) เข้มข้น 0.5-1.0 % นาน 2-4 นาทีสามารถควบคุม blue and green mold ได้ และสารละลาย 2AB เข้มข้น 1.0 % ที่อุณหภูมิห้องนาน 2 นาทีสามารถควบคุม Penicillium rot ได้ นอกจากนี้การใช้ 2AB ร่วมกับ SOPP-hexamine จะสามารถควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวได้ดีกว่าการใช้สารเคมีเพียงชนิดเดียว

2.4.4.2.5. เบนโนมิล (Benomyl)

เบนโนมิลหรือเบนเลท (benlate) เป็นสารพวกเบนซิมิดาโซล (benzimidazole) เช่นเดียวกับไธอะเบนดาโซลแต่มีประสิทธิภาพในการดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชได้ง่ายกว่าไธอะเบนดาโซลจึงมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อโรคได้ดีกว่า เช่น การจุ่มผลในสารละลายเบนโนมิลเข้มข้น 20 ppm โดยไม่ล้างน้ำออกหรือจุ่มผลในสารละลายเบนโนมิลเข้มข้น 100 ppm แล้วล้างน้ำออกจะให้ผลดีกว่าการใช้ SOPP และ TBZ

2.5 <u>การเก็บรักษา</u> (สายชล เกตุษา, 2525; กนกมณฑล ศรศรีวิชัย, ม.ป.ป.)

การเก็บรักษาเป็นสิ่งที่สำคัญในการยืดอายุของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งหลังจากการเก็บเกี่ยวใหม่ ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงในด้านต่าง ๆ เกิดขึ้นขณะเก็บรักษา ดังที่กล่าวมาแล้วว่า ผักและผลไม้ทุกชนิดหลังการเก็บเกี่ยวยังมีชีวิตอยู่ การเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่าง ๆ ภายในตัวของผักและผลไม้เองอาจกระตุ้นให้เร็วขึ้นหรือทำให้ช้าลง ผักและผลไม้ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งยังมีชีวิตอยู่ แต่การเปลี่ยนแปลงจะช้าลง เนื่องจากอุณหภูมิต่ำ

2.5.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษา

2.5.1.1 สภาพของผลผลิต ผลิตผลมีคุณภาพดีได้มาตรฐาน ไม่อ่อนหรือแก่จัดเกินไป มีความสมบูรณ์ไม่มีโรคติดต่อ และเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วต้องมีการปฏิบัติด้วยความระมัดระวังไม่ให้เกิดรอยช้ำหรือชีดช่วน ผลไม้ที่ช้ำเล็กน้อยจากการตกจากที่สูงเพียงไม่กี่นิ้วกระทบพื้นดินจะมีการหายใจเพิ่มขึ้นทันที รอยช้ำหรือบาดแผลยังทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายได้และทำให้พืชสูญเสียน้ำ

ทั้งยังทำให้ผักและผลไม้ที่ดี เกิดติด เชื้อและ เน่าสูญเสียต่อไปอีก

2.5.1.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการ เก็บรักษาผักและผลไม้ให้มีคุณภาพดีและยาวนาน ก่อนการ เก็บรักษาจะต้องมีการลดอุณหภูมิของผลิตผลลง เพื่อ เป็นการลดอัตราการ เผาผลาญพลังงาน (metabolism) ลงซึ่งทำให้การหายใจมีน้อยและการใช้สารที่สะสมในพืชไม่มาก มีผลให้พืชมีคุณภาพดีและอยู่ได้นาน

การ เก็บรักษาโดยทั่วไปจะ เก็บรักษาผักและผลไม้ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เหนือจุด เยือกแข็งซึ่งจะลดอัตราการ เจริญของจุลินทรีย์ลงได้ แต่หากลดอุณหภูมิต่ำกว่าที่พืชจะทนทานได้ อาจ เกิด cold injury หรือ chilling injury ได้ โดยมีอาการคือผลหรือส่วนอื่น ๆ ของพืชช้ำ เน่า มีกลิ่นเหม็น มีสีผิวคล้ำผิดปกติ การสุกผิดปกติ มีรสไม่น่ารับประทานและการยุบตัว เป็นรอยบุ๋มของ เนื้อเยื่อ สันนิษฐานว่า เริ่มจากการกระทบกระเทือนต่อโครงสร้างของผนัง เซลและส่วนประกอบภายใน เซลที่ เป็นไขมันหรือโปรตีน เกิดแข็งตัวหรือหดทำให้การซึม เข้าออกของสารหรือก๊าซไม่ เป็นไปตามปกติ หรือระบบการทำงานแบบ compartmentalization ใน เซลของพืช เสียการทำงาน หรือสารที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน อาจตกตะกอนที่อุณหภูมิต่ำทั้งโครงสร้างและหน้าที่อาจทำได้ไม่ดี เท่าที่ควร

2.5.1.3 ความชื้น ความชื้นของห้องที่ เก็บรักษาหรือของห้อง เย็นมีความสำคัญต่อผักและผลไม้ในแง่ของการสูญ เสียน้ำหนัก เมื่ออุณหภูมิในห้อง เก็บรักษาต่ำลงทำให้ไอน้ำในห้องควบแน่น ความชื้นในห้อง เก็บรักษาลดลงทำให้ไอน้ำระ เหยออกจากพืชผักและผลไม้ได้ง่ายขึ้น พืชจะ เหี่ยวและมีสรีรวิทยา เปลี่ยนไปอย่างรวด เร็ว จะมีลักษณะ เหนียว กระด้างและแข็ง เนื่องจากขาดน้ำแต่ไม่ เน่า ดังนั้นโดยทั่วไป แล้วความชื้นในห้อง เก็บรักษาควรจะสูง การสูญ เสียน้ำหนักของผักและผลไม้มีน้อย เพราะผักผลไม้ที่นำไป เก็บรักษาจะคายน้ำได้น้อย ทำให้ผักและผลไม้สดอยู่ เสมอไม่ เหี่ยว แต่มีข้อ เสียอยู่คือจะทำให้ เชื้อรา เจริญ เติบโตได้ดีและทำให้ เกิดการ เน่า เสีย ความชื้นในห้อง เก็บรักษาไม่ควรสูงมาก เกินไปจนกระทั่งรวมตัวจับกัน เป็นน้ำสะสมอยู่ตามผาผนังห้อง เก็บรักษา ภาชนะที่บรรจุ หรือบนผิวของผักและผลไม้

2.5.1.4 การถ่าย เทอากาศ ห้อง เก็บรักษาต้องมีอากาศถ่าย เทได้ดี ควรจัดให้มีอากาศหมุน เวียนถ่าย เทไปรอบ ๆ ภาชนะที่มีผักและผลไม้บรรจุอยู่ เนื่องจากออกซิ เจนในบรรยากาศ เป็นสิ่งจำ เป็นสำหรับการหายใจตามปกติของผักและผลไม้ที่ เก็บรักษา นอกจากนี้ยัง เป็น

การถ่ายเทความร้อนอีกด้วย แต่ความเร็วลมในห้องเก็บรักษาต้องพอเหมาะ ไม่มากจนทำให้พืชเหี่ยว เนื่องจากสูญเสียน้ำมากเกินไป

2.5.1.5 ความสะอาด ความสะอาดเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับห้องเก็บรักษา ถึงแม้จะไม่สามารถป้องกันการเน่าเสียได้อย่างสมบูรณ์ แต่จะทำให้เกิดการเน่าเสียน้อยที่สุด ห้องเก็บรักษาควรทำความสะอาดเท่าที่จะทำได้ เมื่อห้องว่างก็ควรจะมีการฆ่าเชื้อโรคให้ทั่วถึง

2.5.2 วิธีการเก็บรักษา

2.5.2.1 การเก็บรักษาโดยการควบคุมสภาพของบรรยากาศ (Controlled atmosphere storage หรือ CA storage)

การลดระดับความเข้มข้นของออกซิเจน หรือเพิ่มระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของห้องเย็น หรือใช้ทั้งสองกรณีร่วมกัน ทำให้อายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้นานมากขึ้น การสุกในห้องเก็บรักษาอาจยืดออกไปอีกนาน การเจริญของจุลินทรีย์ถูกระงับด้วยสัดส่วนของบรรยากาศใหม่นี้

การเก็บรักษาโดยการควบคุมสภาพของบรรยากาศนี้เป็นวิธีการเก็บรักษาผักและผลไม้ในสภาพบรรยากาศที่ควบคุมสัดส่วนของออกซิเจน และ/หรือคาร์บอนไดออกไซด์อย่างค่อนข้างแม่นยำ (± 1%) ตามค่าที่ต้องการ

ห้องเย็นสำหรับการเก็บรักษาโดยการควบคุมสภาพของบรรยากาศ (Controlled atmosphere storage room) แตกต่างไปจากห้องเย็นธรรมดาคือ จะต้องมีลักษณะที่ไม่มีการรั่วของก๊าซได้ การควบคุมระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนทำได้โดยการเผาไหม้โพรเพนหรือก๊าซธรรมชาติอื่น ๆ และควบคุมความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในน้ำ หรือใช้ตัวดูดซับ เช่น activated charcoal หรือ molecular sieve (aluminum calcium silicate) หรือใช้ถุงบรรจุปูนขาว (Calcium hydroxide)

2.5.2.2 การเก็บรักษาในสภาพของบรรยากาศดัดแปลง (Modified atmosphere storage หรือ MA storage)

การเก็บรักษาผักและผลไม้ในสภาพบรรยากาศที่ถูกดัดแปลงมีหลักการ

เหมือนกับ controlled atmosphere เว้นเสียแต่ว่าการควบคุมความเข้มข้นของก๊าซมีความแม่นยำน้อยกว่า เช่น การเก็บรักษาผักและผลไม้ในถุงพลาสติกปิดปากถุงแน่นปริมาณของออกซิเจนภายในถุงพลาสติกจะลดลง เนื่องจากถูกใช้ไปโดยการหายใจของผักและผลไม้ และปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นจากการหายใจ ปริมาณของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกควบคุมโดยคุณสมบัติในการยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ (permeability) ของฟิล์มพลาสติกซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจและอุณหภูมิขณะนั้น

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า MA storage ต่างจาก CA storage ในแง่ความสามารถและวิธีการควบคุมสภาพของบรรยากาศที่อยู่รอบ ๆ ผักและผลไม้ขณะที่เก็บรักษา บางครั้งอาจจะเรียก MA storage ว่า self-controlled atmosphere (SCA)

2.5.2.3 การเก็บรักษาโดยการลดความดัน (Hypobaric storage หรือ Low pressure storage)

การเก็บรักษาโดยการลดความดันเป็นการเก็บรักษาผักและผลไม้ภายใต้สภาพของความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศธรรมดา เป็นการลดความเข้มข้นของออกซิเจนและยังเป็นการเพิ่มการแพร่กระจาย (diffusion) ของก๊าซเอทธิลีนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อของพืชให้ออกสู่ภายนอกอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถชะลอการสุกของผลไม้บางชนิดที่ยังดิบได้

2.5.3 งานวิจัยการเก็บรักษาผลมะนาวสดโดยวิธีต่าง ๆ

Wardowski, Grierson และ Edwards (1973) ศึกษาการเก็บรักษามะนาวพันธุ์ 'Persian' โดยบรรจุลงในกล่องพลาสติกชนิดโพลิเอทธิลีนขนาด 7.6 ลิตร 3 วิธี คือไม่ทำความสะอาดผิวโดยใช้แปรง(unbrushed) ทำความสะอาดผิวโดยใช้แปรง(brushed) และทำความสะอาดผิวแล้วเคลือบขี้ผึ้ง แล้วปิดด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด PVC (Dayco S-401) และสำหรับตัวอย่างควบคุมจะบรรจุในลังขนาด 28 ลิตรที่รองด้วยฟิล์มพลาสติกเจาะรู หลังการเก็บนาน 5 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4.5 °ซ รวมกับอีก 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 21 °ซ พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ฟิล์มพลาสติกในทั้ง 3 วิธีเป็น 2.3 %, 4.3 %และ 4.3 % ตามลำดับ โดยมีอันตรายจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และพบว่าการเคลือบขี้ผึ้งทำให้มะนาวเกิดความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งได้มากกว่าการทำความสะอาดโดยใช้แปรง แต่ไม่เคลือบขี้ผึ้ง

ปราณี ทิพยางค์ (2518) ศึกษาการเก็บรักษามะนาวสด 3 วิธีใหญ่ ๆ คือ

วิธีที่ 1 เก็บภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% และอุณหภูมิ 10±2 °ซ พบว่าเก็บรักษาได้นาน 3 1/2-4 เดือนโดยมะนาวเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองหมดภายใน 2 เดือนแรก

วิธีที่ 2 เคลือบด้วยขี้ผึ้ง 10 % ในปิโตรเลียมอีเทอร์ และเก็บภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 % และอุณหภูมิ 10 ± 2 °ซ พบว่าสามารถเก็บรักษาได้นาน 4 - 5 เดือน โดยสีจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองแกมเขียวในระยะ 3 - 4 เดือนและจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองหมดภายในเดือนที่ 5

วิธีที่ 3 เก็บภายใต้บรรยากาศของก๊าซออกซิเจน 10% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5% และอุณหภูมิ 15°ซ เก็บไว้นาน 3 เดือน พบว่าสีของมะนาวยังมีสีเขียว ผิวเต่ง ไม่เปลี่ยนไปจากของสดเท่าใดนัก

วารุณี อนุสรณ์พานิช (2522) ศึกษาการเก็บรักษาผลมะนาวสดโดยใช้บรรยากาศของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่าง ๆ กัน พบว่าบรรยากาศที่เหมาะสมคือก๊าซออกซิเจน 10 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 % ที่อุณหภูมิ 10 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 89 % โดยสามารถเก็บได้ถึง 5 เดือน และผลการทดลองยังสรุปได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 15 % และ 30 % ทำให้เกิดการเน่าเสียของผลมะนาวมากขึ้น

Ben-Yehoshua, Kobiler และ Shapiro (1979) ศึกษาผลทางกายภาพที่จะชะลอการเสื่อมของผลไม้ตระกูลส้ม 3 ชนิดคือ ส้ม (*C. sinensis* L.Osbeck) พันธุ์ 'Shamouti' และ'Valencia' เกรปฟรุต (*C. paradisi* Macf.cv.Marsh) และมะนาวฝรั่ง (*C. limon* Burm.f.cv.Eureka) โดยการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ที่อุณหภูมิ 14 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 94 % พบว่าชะลอการเสื่อมของผลได้นานถึง 10 เดือน รวมทั้งช่วงออกจำหน่าย (shelflife) ที่ 20 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % อีก 2 เดือน

Ben-Yehoshua, Kobiler และ Shapiro (1981) ศึกษาผลระหว่างการลดอุณหภูมิและการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ต่อผลไม้ตระกูลส้ม 3 ชนิด คือ ส้ม เกรปฟรุตและมะนาวฝรั่งพบว่าการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ลดการสูญเสียน้ำหนัก การหดตัว การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ การเสียรูปร่างและการเกิดรอยตำหนิได้มากกว่าวิธีลดอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังยับยั้งการเกิดอันตรายจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งของเกรปฟรุต ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ และมะนาวฝรั่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °ซ ได้

Ben-Yehoshua, Apelbum และ Cohen (1981) ศึกษาการใช้วิธีการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ร่วมกับยาฆ่าเชื้อราชนิดต่าง ๆ ในการควบคุมการเน่าเสียของผลไม้ตระกูลส้ม 3 ชนิดคือ ส้ม เกรปฟรุตและมะนาวฝรั่ง พบว่าสามารถลดการเน่าเสียลงได้

โดยมียาฆ่าเชื้อราที่ตกค้างต่ำกว่ามาตรฐานของประเทศอิสราเอลและสหรัฐอเมริกา

อนุกูล แต้มประเสริฐ (2525) ศึกษาการเก็บรักษาผลมะนาวโดยไม่ใช้ถุงพลาสติก ใช้ถุงพลาสติกปิดสนิทไม่เจาะรู ถุงพลาสติกเจาะรู 8 รู 16 รู และ 32 รู ตามลำดับ แบ่งเก็บที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ อุณหภูมิ 28 °ซ และอุณหภูมิ 10 °ซ ปรากฏว่าผลมะนาวที่เก็บไว้ในถุงพลาสติกไม่เจาะรูที่อุณหภูมิ 10 °ซ จะเก็บได้นาน 13 สัปดาห์ แต่ผลมะนาวที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจะเก็บไว้ได้นานเพียง 5 สัปดาห์ อุณหภูมิ 10 °ซ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวสดไว้ได้นานกว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และการเก็บรักษาในถุงพลาสติกปิดสนิทไม่เจาะรูให้ผลดีกว่าถุงพลาสติกเจาะรู หรือไม่ใส่ถุงพลาสติก

Passam และ Blunden (1982) ศึกษาการเก็บรักษามะนาวพันธุ์ 'West Indian' ที่อุณหภูมิห้อง (28-32 °ซ) โดยบรรจุผลมะนาวในถุงพลาสติกชนิด PE ขนาด 25x15 ซม. หนา 12.5 µm และบรรจุโบแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ถุงละ 0, 10 และ 20 กรัม ตามลำดับแล้วปิดปากถุง มะนาวอีกชุดหนึ่งจุ่มน้ำ (เป็นตัวอย่างควบคุม), จุ่มในชี้ผึ้ง Sta-fresh 301 ที่มีความเข้มข้น 3, 7.5 และ 15 %ของของแข็ง ตามลำดับ นาน 10 วินาที หลังจากนั้นทิ้งให้แห้ง 3 ชม. และไม่บรรจุมะนาวที่เคลือบชี้ผึ้งและตัวอย่างควบคุมในถุงพลาสติกชนิด PE แล้วนำทั้งหมดไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าตัวควบคุมและผลที่เคลือบชี้ผึ้งมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูง แม้ว่าการเคลือบชี้ผึ้งจะชะลอการเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในทางตรงข้ามการบรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE จะลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักได้อย่างมากและการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองลดลง ส่วนสารดูดก๊าซเอทธิลีน (โบแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต) ในถุงมีผลลดอัตราการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองได้ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในถุงพลาสติกชนิด PE เก็บได้นานที่สุด 41-48 วัน ซึ่งมะนาวเกือบทั้งหมดจะมีผิวสีเหลืองเกินกว่า 75 %ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

Eckert, Sievert และ Ratnayake (1984) ศึกษาการเน่าเสียของมะนาวฝรั่งในการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด heat-shrinkable polyolefin film D-950 พบว่าสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้อย่างมาก นอกจากนี้ยังลดการติดเชื้อโดยป้องกันการชอกช้ำที่ผิวของมะนาวฝรั่งซึ่งบาดแผลจะเป็นจุดที่ติดเชื้อง่าย และการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกนี้จะสร้างสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับการรักษาบาดแผล

Sharkey, Little และ Thornton (1985) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ลังไม้ที่รองด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE กับการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ต่อคุณภาพ การเน่าเสียและอายุการเก็บรักษามะนาวฝรั่งและแทงเกอร์ (tangor) พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ชะลอการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อและรักษาสีผิวได้ดีกว่าลังไม้ที่รองด้วยฟิล์ม

พลาสติกชนิด LDPE แม้ว่าจะเกิดการเน่าเสียที่น่ายอมรับหลังการเก็บรักษานาน 4 เดือน ซึ่งได้แนะนำว่าควรใช้ยาฆ่าเชื้อราร่วมด้วย

Barmore และ Flye (1986) ศึกษาคุณภาพการเก็บรักษามะนาวฝรั่งโดยการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติก LDPE (Cryovac D955) ที่อุณหภูมิ 60±3 °ฟ พบว่าวิธีการบรรจุแต่ละผลนี้น่าใช้วิธีการลดการเกิดการเน่าเสีย แต่เป็นการลดการแพร่กระจายของสปอร์จากผลที่ชื้นราไปสู่ผลที่ดีผลอื่นในกล่อง

จินดา ศรศรีวิชัย และ จำนงค์ อุทัยบุตร (2530) ศึกษาการเก็บรักษาผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิ 10 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85 % พบว่าเมื่อเก็บบรรจุในถุงพลาสติกเจาะรูชนิดโพลิโพรไพลีน (PP) ถุงละ 16 ผล จะเก็บรักษาได้นาน 2 เดือน และเมื่อเก็บรักษาโดยใช้พลาสติกฟิล์มยืดชนิด PE และ PVC หุ้มผลทีละ 4 ผล พบว่าเก็บรักษาได้นาน 2 เดือนแต่พลาสติกชนิด PE จะชะลอการเปลี่ยนสีผิวได้ดีกว่าชนิดอื่น ๆ เมื่อเก็บรักษาได้ 6 สัปดาห์ และชะลอการสูญเสียน้ำได้ดีกว่าพลาสติกชนิดอื่น ๆ

นันทนา แก้วอุบล (2531) ศึกษาการเก็บรักษามะนาวสดที่จุ่มในน้ำยาฆ่าเชื้อรา (benlate) 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร นาน 2 นาที ลงในลังไม้ขนาด 35 x 40 x 30 เซนติเมตร เจาะรู 2 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร กรุด้วยพลาสติกอย่างหนา บรรจุลังละ 350 ผล จำนวน 5 ลัง เก็บในห้องเย็นอุณหภูมิ 10 ± 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 % ปรากฏว่าสามารถเก็บไว้ได้นาน 2 1/2 - 3 เดือนโดยไม่เสียเลย มีความสด รูปร่างลักษณะและคุณสมบัติใกล้เคียงกับของสด

สุวรรณ หล่อวิวัฒนพงศ์ (2531) ศึกษาการเก็บรักษามะนาวสดในภาชนะบรรจุประเภทฟิล์มพลาสติก ที่อุณหภูมิ 10 ± 2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 % ศึกษาในฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ 5 ชนิด ได้แก่ Cellophane/LDPE, OPP/LDPE, PP, LDPE และ HDPE พบว่าบรรยากาศในภาชนะบรรจุประเภทฟิล์ม PP และ OPP/LDPE จะมีให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน 0-4% คาร์บอนไดออกไซด์ 14-16 % และ Cellophane/LDPE จะมีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน 0-4 % คาร์บอนไดออกไซด์ 7-8 % จะทำให้มะนาวที่เก็บรักษาไว้ 4 สัปดาห์ มีลักษณะสีผิวเป็นสีน้ำตาล คุณภาพทางเคมีด้อยลงมาก และกลิ่นรสผิดปกติไป ส่วนมะนาวที่เก็บไว้ 14 สัปดาห์ในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE และ LDPE ซึ่งบรรยากาศในภาชนะบรรจุมีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน 14-19 % คาร์บอนไดออกไซด์ 2-6 % ยังคงลักษณะสด เด่ง รวมทั้งสมบัติทางเคมีไม่แตกต่างกันและเมื่อเลือกฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE มาศึกษาการเก็บรักษามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 5 เดือน และศึกษาผลของสารดูดก๊าซเอทธิลีนในภาชนะบรรจุ พบว่าการ

เก็บรักษามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน สามารถเก็บรักษาไว้ได้ 4 เดือน โดยมีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียน้อยมากคือ 0-1.25 % และมะนาวยังคงสดเต่งเพียงแต่สีผิวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง คุณภาพทางเคมีเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนกลิ่นรสใกล้เคียงกับของสดมาก สำหรับผลของสารดูดก๊าซเอทธิลีนสามารถชะลอการเปลี่ยนสีผิวของมะนาวได้ดีกว่าการไม่ใช้สารดูดก๊าซเอทธิลีน และสามารถชะลอการเปลี่ยนสีผิวของมะนาวของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนได้ดีกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน

นุกูล เพ็ญพายัพ (2532) ศึกษาการเก็บมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน 5 เดือนและ 6 เดือน ในถุงพลาสติกชนิด HDPE ความหนา 0.35 มิลลิเมตร ขนาด 9 x 14 นิ้ว ที่อุณหภูมิ 10 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85 % พบว่าปริมาณการบรรจุที่ 430 ± 5 กรัม จะเหมาะสมในการเก็บรักษามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน 5 เดือนและ 6 เดือนโดยความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุงเป็น 8-9 % 9-12 % และ 10-14 % ตามลำดับ และมีคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงเป็น 3-5 % 3-4 % และ 2-5 % ตามลำดับ สำหรับเอทธิลีนภายในถุงจะเป็น 0.4-2.4 ppm 0.4-2.3 ppm และ 0.2-3.2 ppm ตามลำดับ เมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มะนาวจะเกิดเน่าเสีย 23.52 %, 12.50 % และ 0 % ตามลำดับ และพบว่าสารดูดก๊าซเอทธิลีนภายในถุงจะช่วยชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ และการเน่าเสียของมะนาวได้ดีกว่าการดูดก๊าซเอทธิลีนพร้อมกับคาร์บอนไดออกไซด์และการดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว

Cohen และคณะ (1990) ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามะนาวฝรั่งโดยการใช้วิธีการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักได้และรักษาคุณภาพของมะนาวฝรั่งไว้ได้นานกว่า 6 เดือนที่อุณหภูมิ 13 °ซ รวมกับช่วงออกจำหน่ายที่อุณหภูมิ 14°ซ อีก 1 สัปดาห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย