หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 พันธุ์มะนาว (1)

มะนาวเป็นไม้ผลยืนต้นขนาดเล็กที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย มีแหล่งผลิตที่สำคัญคือจังหวัดเพชรบุรี นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี นนทบุรี ราชบุรี นครสวรรค์ เชียงใหม่และปราจีนบุรี มะนาวที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่หลายพันธุ์ แต่ที่นิยมปลูกและให้ผลดีคือ

2.1.1 มะนาวไข่ มีลักษณะผลกลม หัวท้ายยาวรีเล็กน้อย คล้ายไข่เป็ด มีเปลือกบางผิวเรียบ

2.1.2 มะนาวหนัง มีลักษณะผลใหญ่ ทรงผลค่อนข้างกลม มีเปลือกบาง น้ำมีกลิ่นหอมและปริมาณน้ำมากกว่ามะนาวไข่

2.1.3 มะนาวหวาย นิยมปลูกกันมากเนื่องจากเป็นมะนาวที่ให้ผลมาก ได้แก่ พันธุ์เปลือนรำไพ พันธุ์เปลือนหวาย ซึ่งมีลักษณะทรงผลแป้น เปลือกบาง และพันธุ์แม่ไก่ไข่ดก ซึ่งมีลักษณะทรงผลค่อนข้างกลม

2.2 คุณค่าทางอาหารของมะนาว (1)

มะนาวจัดเป็นผลไม้ตระกูลเดียวกับส้ม มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ คาร์โบไฮเดรท ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของผลมะนาว คุณค่าทางอาหารของมะนาว โดยเฉลี่ยจากมะนาวในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม มีดังนี้คือ

ความชื้น	93.1	กรัม	ไวตามิน บี1	0.70	มิลลิกรัม
ไขมัน	2.4	กรัม	ไนอาซิน	0.20	มิลลิกรัม
กาก	0.3	กรัม	คาลอรี	40.00	หน่วย
โปรตีน	0.8	กรัม	ฟอสฟอรัส	11.00	มิลลิกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คาร์โบไฮเดรท	6.3	กรัม	ไวตามิน เอ	10.30	ไอ ยู
แคลเซียม	17.3	มิลลิกรัม	ไวตามิน บี2	0.73	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.1	มิลลิกรัม	ไวตามิน ซี	52.00	มิลลิกรัม

2.3 องค์ประกอบสำคัญของมะนาว (5)

องค์ประกอบที่สำคัญของมะนาวได้แก่

เอนไซม์ในผลมะนาว ในน้ำมะนาวมีเอนไซม์หลายอย่างเหมือนพืชอื่น ๆ คือ มีอะมัยเลส (Amylase) อินเวอร์เตส (Invertase) ไซเมส (Zymase) ไลเปส (Lipase) โปรธิเอส (Protease) และรีดักเตส (Reductase) เอนไซม์แต่ละชนิดจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทำให้มะนาวเกิดการการเน่าเสียในที่สุด

กรดอินทรีย์ กรดอินทรีย์ที่พบมากในมะนาวคือกรดซิตริค (Citric acid) มะนาวที่แก่เต็มที่ (Mature) จะมีปริมาณกรดซิตริคสูงแล้วแต่พันธุ์ของมะนาว แต่โดยเฉลี่ยแล้วจะอยู่ในช่วง 7-8 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

สารที่ให้รสขม (Bitter substances) ในมะนาวจะมีสารบางตัวเป็นตัวทำให้เกิด (Precursor) รสขมอยู่ในเปลือกสีขาว (Albedo) แกนกลาง (Center core) และผนังกลีบ (Segment membrane) โดยปกติสารนี้จะไม่มีรสขม แต่เมื่อเนื้อเยื่อเหล่านี้ขาดออกในระหว่างการคั้นผลไม้ สารนี้จะเปลี่ยนเป็นลิโมนิน (Limonin) หรือไอโซลิโมนิน (Isolimonin) ซึ่งมีรสขม รสขมของสารนี้จะรู้ได้ถ้ามีลิโมนิน 1 ส่วนในน้ำมะนาว 1 แสนส่วน

ไวตามิน (Vitamin) ไวตามินที่พบมากในน้ำมะนาวคือไวตามินซีหรือ Ascorbic acid ซึ่งพบว่ามีอยู่ถึง 52 มิลลิกรัม จากมะนาวในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม มะนาวจึงเป็นแหล่งไวตามินซีที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก

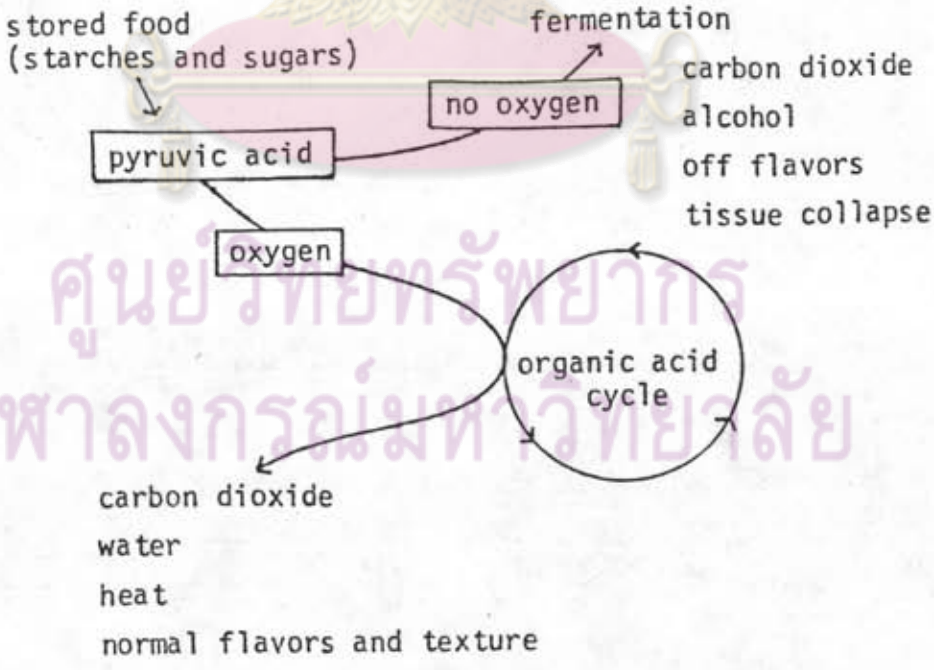
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว

เนื่องจากภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วเนื้อเยื่อของมะนาวยังคงมีชีวิตอยู่ กระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางสรีระและชีวเคมียังคงดำเนินอยู่เช่นเดียวกับที่อยู่บนต้น ดังนั้นภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วมะนาวจะยังคงมีการหายใจ มีการคายน้ำหรือสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียคุณภาพและเน่าเสียของมะนาว

2.4.1 การหายใจ

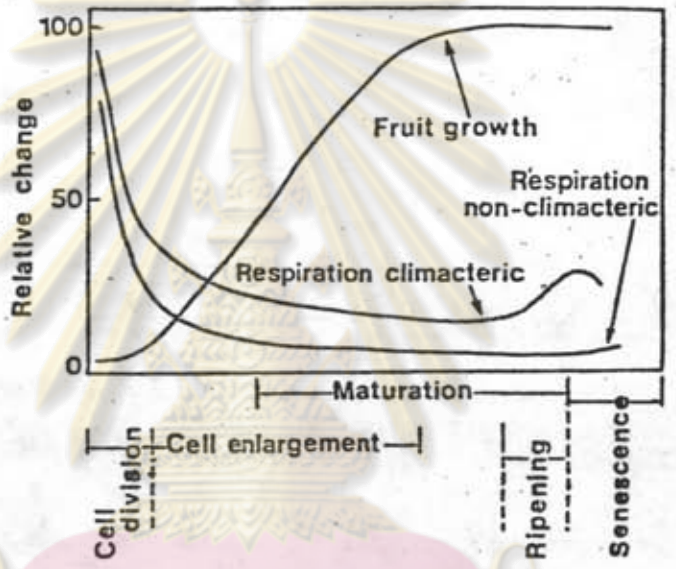
ดังได้กล่าวไปแล้วข้างต้นว่าภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วมะนาวยังคงมีชีวิตอยู่จึงต้องการพลังงานสำหรับใช้ในปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ พลังงานได้มาจากการหายใจโดยใช้ออกซิเจนทำให้คาร์โบไฮเดรทในผลมะนาวเกิดออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและพลังงาน แต่ในสภาวะบรรยากาศที่มีออกซิเจนน้อยหรือไม่มีออกซิเจน การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรทเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์และได้พลังงานน้อยกว่าการหายใจในสภาพที่มีออกซิเจนเป็นปกติ ดังแสดงตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงการหายใจของพืชโดยสังเขปทั้งแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน (6)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยทั่วไปลักษณะการหายใจของผลไม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ตามรูปที่ 2.2 คือ พวกที่มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาที่แก่และสุก เรียกว่าเป็นพวก Climacteric ผลไมพวกนี้ได้แก่ มะม่วง กล้วย สาลี่ เป็นต้น อีกพวกหนึ่งเป็นพวกที่อัตราการหายใจไม่เพิ่มขึ้นในขณะแก่และสุก เรียกว่า พวก Non-Climacteric ผลไม้พวกนี้ได้แก่ ผลไม้ตระกูลส้ม (Citrus fruits) เช่น มะนาว ส้ม เกรพฟรุท มีรายว่ามะนาวพันธุ์ยูเรกา (Euraka) มีอัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 20° ซ เท่ากับ 5 มล. CO_2/ชม./กก.



รูปที่ 2.2 การเจริญเติบโตและลักษณะการหายใจของผลไม้ประเภท Climacteric และ Non-Climacteric

2.4.2 การสร้างเอทธิลีน

เอทธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่ควบคุมกระบวนการสุกของผลไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ประเภท Climacteric ซึ่งในขณะเกิดการสุกจะมีการสร้างเอทธิลีนขึ้นมามาก ส่วนผลไม้ประเภท Non-Climacteric จะมีการสร้างเอทธิลีนค่อนข้างต่ำ และสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาของการแก่และสุก อย่างไรก็ตามการให้เอทธิลีนจากภายนอกสามารถชักนำผลไม้ประเภทนี้ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น เช่น การสูญเสียสีเขียวที่ผิว การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ ดังนั้นวิธีการใดก็ตามที่จะยับยั้งการสร้างหรือการทำงานของเอทธิลีนก็จะสามารถ

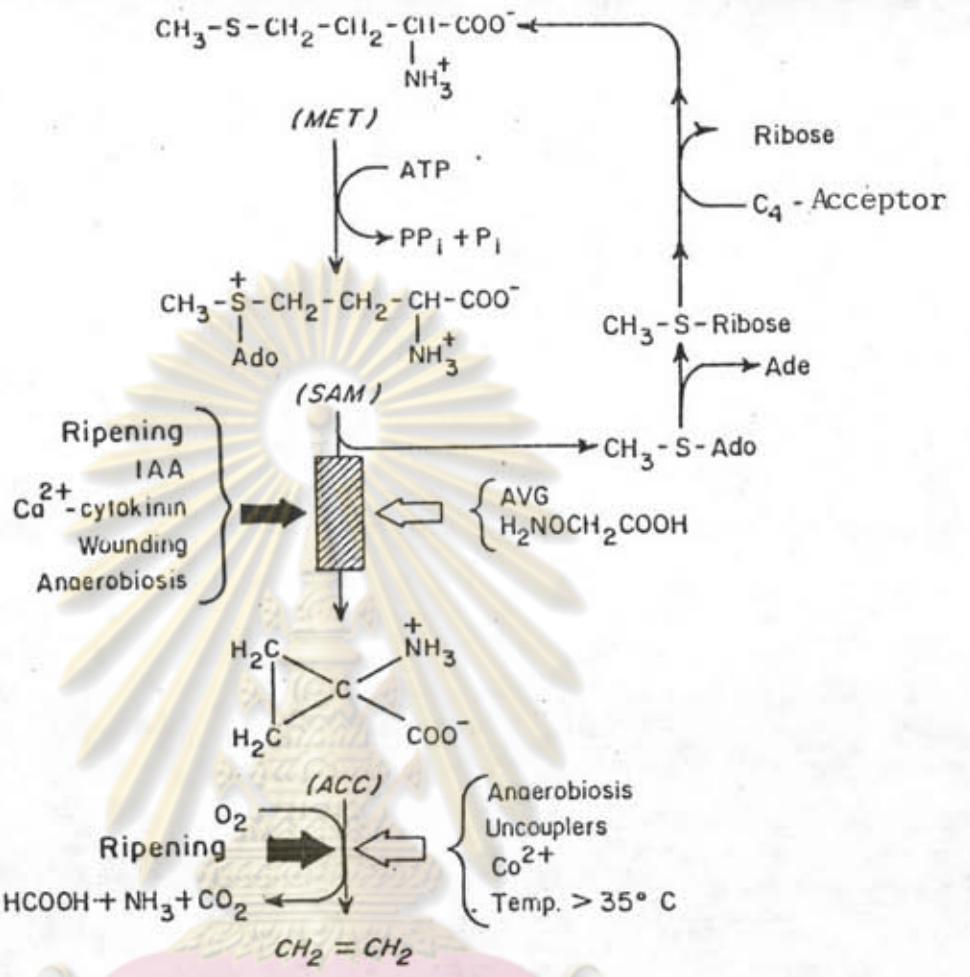
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชะลอการสุกและการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของผลไม้ได้

2.4.2.1 ขั้นตอนการสร้างเอทธิลีนในพืช

จากการศึกษาการสร้างเอทธิลีนในพืชโดยใช้กัมมันตภาพรังสี (Radioactive) สามารถสรุปได้ตามรูปที่ 2.3 พบว่าสารตั้งต้นในการสร้างเอทธิลีนคือ เมทไธโอนีน (Methionine) โดยคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 4 ของเมทไธโอนีนเท่านั้นที่จะถูกเปลี่ยนเป็นโมเลกุลของเอทธิลีน (7) กล่าวคือเมทไธโอนีนจะเปลี่ยนเป็น SAM (S-adenosyl methionine) โดยอาศัยปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ Methionine adenosyltransferase จากนั้น SAM จะเปลี่ยนเป็น ACC (1-aninoxycyclopropane-1-carboxylic acid) โดยเอนไซม์ ACC synthase ในขั้นตอนสุดท้าย เอนไซม์ EFE (Ethylene formation enzyme) จะเปลี่ยน ACC ให้เป็นเอทธิลีน (8) ซึ่งในตอนนี้จะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนเป็นปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสร้างเอทธิลีนในพืช (7)

: ขั้นตอนที่กำหนดอัตราเร็วของกระบวนการสังเคราะห์เอทธิลีนในพืช

: ปัจจัยที่กระตุ้นให้เกิดการสร้างเอทธิลีน

: ปัจจัยที่ยับยั้งปฏิกิริยา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่กำหนดอัตราเร็วในการสร้างเอทธิลีนในพืชคือขั้นตอนในการเปลี่ยน SAM ให้เป็น ACC โดยเอนไซม์ ACC synthase ซึ่งพบว่ามีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา (Activity) ต่ำในช่วงที่พืชมีการสร้างเอทธิลีนต่ำ แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีการสร้างเอทธิลีนมากขึ้นในขณะที่ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของไอนไซม์ Methionine adenosyl-transferase คงที่ นอกจากนั้นยังพบว่าการให้ ACC จากภายนอกกับเนื้อเยื่อพืชสามารถเพิ่มการสร้างเอทธิลีนในพืชขึ้นได้ (7)

การสร้างเอทธิลีนในพืชจะถูกควบคุมจากปัจจัยหลายประการเช่น ในขณะเกิดการงอกของเมล็ด การสุกของผลไม้ การเหี่ยวเฉาของดอกและใบ และการเน่าเสียพืชจะมีการสร้างเอทธิลีนขึ้นมาก นอกจากนั้นการสร้างเอทธิลีนยังอาจถูกกระตุ้นจากออกซิน (Auxin) ไซโตไคนิน (Cytokinin) Ca^{2+} หรือการเกิดบาดแผล โดยพบว่าจะไปกระตุ้นให้เกิดการสร้างเอนไซม์ ACC synthase เพิ่มมากขึ้น (7)

ในสภาวะที่ขาดออกซิเจนพืชจะไม่สามารถสร้างเอทธิลีนได้เนื่องจากในการเปลี่ยน ACC เป็นเอทธิลีนจะต้องเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนปกติ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมก็มีผลต่อการสร้างเอทธิลีน กล่าวคือ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสร้างเอทธิลีนในพืชคืออุณหภูมิประมาณ 30° ซ ดังนั้นในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้ การสร้างเอทธิลีนก็จะลดลง นอกจากนี้มีสารบางชนิดสามารถยับยั้งการสร้างเอทธิลีนได้ สารพวกนี้ได้แก่ 2, 4-dinitrophenol (DNP) และ Co^{2+} ซึ่งมีผลยับยั้งขั้นตอนการเปลี่ยน ACC เป็นเอทธิลีน และสารพวก AOA ((Aminoxy) acetic acid) และ AVG (L-2-amino-4-(2-aminoethoxy)-trans-3-butenoic acid) ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACC synthase(7)

2.4.2.2 <u>การทำงานของเอทธิลีนในพืช</u>

การทำงานของเอทธิลีนในการชักนำให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ ในพืชต้องอยู่ในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจนเป็นปกติ กล่าวคือในสภาพที่ความเข้มข้นของออกซิเจนเป็นปกติ เอทธิลีนจะเข้าไปจับกับส่วนที่เป็นโลหะของเอนไซม์ (Metallic enzyme acceptor) ซึ่งอยู่ในเนื้อเยื่อพืช โลหะนี้จะเป็นตัวเดียวกับที่ออกซิเจนไปเกาะอยู่ ในสภาพที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าปกติหรือมีสารพวก Norbornadiene ความสามารถ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการทำงานของเอทธิลีนจะลดลงเนื่องจาก ทั้งคาร์บอนไดออกไซด์และ Norbornadiene จะเข้าไปจับกับโลหะแทนที่เอทธิลีนในลักษณะ Competitive inhibitor นอกจากนี้ Ag^+ สามารถลดประสิทธิภาพการทำงานของเอทธิลีนได้เช่นกัน โดยคาดว่า Ag^+ จะเข้าไปจับกับโลหะทำให้เอทธิลีนไม่สามารถทำงานได้ หรืออาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง (8, 6)

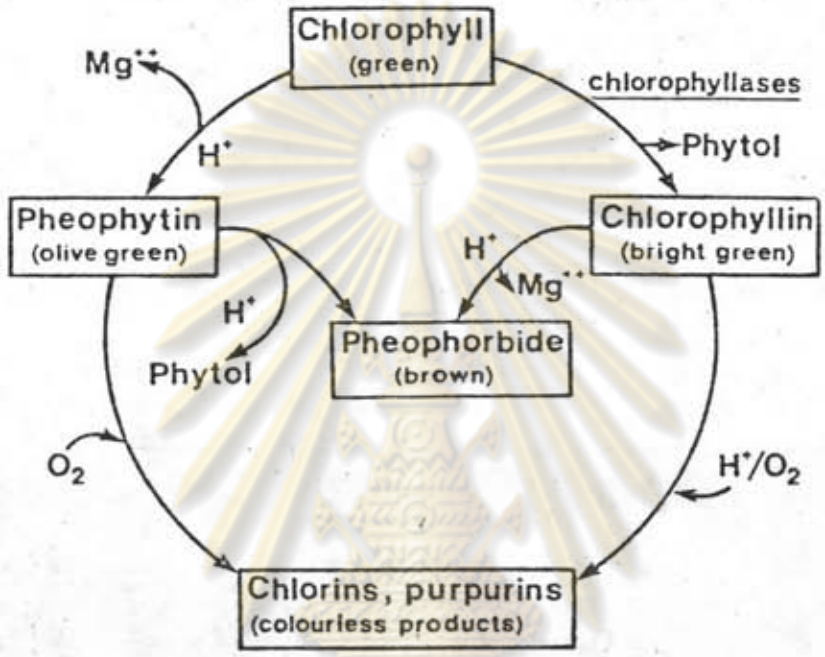
2.4.2.3 การสร้างเอทธิลีนในผลไม้ตระกูลส้ม

ผลไม้ตระกูลส้มเป็นผลไม้ที่จัดอยู่ในประเภท Non-climacteric ซึ่งจะมีการสร้างเอทธิลีนเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาของการแก่และสุก อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าผลไม้ตระกูลส้มที่ยังไม่แก่เต็มที่ (Young immature) ภายหลังเก็บจากต้นแล้วจะมีอัตราการหายใจและการสร้างเอทธิลีนเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการเกิดบาดแผลหรือการเจริญของเชื้อราบนผิวของผลไม้ตระกูลส้มจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างเอทธิลีนเพิ่มขึ้นได้ (9) สำหรับมะนาว (Lemon) ตลอดระยะเวลาของการแก่และสุก ความเข้มข้นของเอทธิลีนภายในผล (Internal concentration) จะอยู่ในช่วง 0.1-0.2 ppm (6)

2.4.2.4 ผลของเอทธิลีนต่อคุณภาพของผลไม้ตระกูลส้ม

การเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้อันหนึ่งที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือการสูญเสียสีเขียวที่ผิวซึ่งเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้สีเหลืองของคาร์โรทีนอยด์ปรากฏออกมาให้เห็น กลไกการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในพืชสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพที่เป็นกรดทำให้ Mg^{++} เคลื่อนย้ายจากโครงสร้าง Tetrapyrole ได้เป็นสารใหม่คือ Pheophytin ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์เป็นสารไม่มีสีในที่สุด นอกจากนี้การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ยังอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ Chlorophyllase ซึ่งมีอยู่ในเนื้อเยื่อพืชได้อีกทาง และจากการศึกษาการเปลี่ยนสีผิวของผลไม้ตระกูลส้ม พบว่าเอทธิลีนสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Chlorophyllase ทำให้กระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เกิดเร็วขึ้น อีกทั้งกระตุ้นให้เกิดการสร้างและสะสมของคาร์โรทีนอยด์ที่เปลือกขึ้นได้อีกด้วย (10, 11, 12, 13) ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการนำเอาประโยชน์จากเอทธิลีนในด้านนี้ไปใช้ทางการค้า โดยใช้เปลี่ยนสีผิวของผลไม้จากสีเขียวให้เป็นสีเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้ม

เกรพฟรุท มะนาว (Lemon) เป็นต้น (14) นอกจากนี้มีรายงานว่า เอทธิลีนมีผลทำให้เกรพฟรุทเกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง (Chilling injury) ได้มากขึ้น (15)



รูปที่ 2.4 กระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในพืช (6)

2.4.3 การคายน้ำ

เนื่องจากภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วมะนาวคงมีการหายใจจึงมีการคายน้ำซึ่งอัตราการคายน้ำของผลมะนาวจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น รอยบาดแผล ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพบรรยากาศการเก็บ การเคลื่อนที่ของอากาศ และความดันบรรยากาศ การลดการคายน้ำหรือการสูญเสียน้ำหนักสามารถทำได้โดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศการเก็บให้สูงขึ้นหรือลดอุณหภูมิลง สำหรับมะนาวควรเก็บในสภาพบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 85 - 90 % และอุณหภูมิ 9 - 12 ซ (16) หรือโดยการเก็บในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีน ซึ่งมีรายงานว่าสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของมะนาวได้ (3)

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของมะนาวขณะเก็บรักษา

ดังได้กล่าวไปแล้วว่าภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วมะนาวยังคงมีการหายใจ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะนาวและเน่าเสียในที่สุด ดังนั้นการลดอัตราการหายใจของมะนาวในระหว่างการเก็บรักษาก็จะสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงและยืดอายุการเก็บรักษาของมะนาวได้ การลดอัตราการหายใจของมะนาวสามารถทำได้โดยการปรับสภาพสิ่งแวดล้อมในขณะเก็บรักษามะนาวให้เหมาะสม ซึ่งจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.5.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยลดอัตราการหายใจและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุของการเน่าเสียลงได้ นอกจากนี้ความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บจะมีผลต่อการคายน้ำของมะนาว กล่าวคือการเก็บในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะช่วยลดการคายน้ำของผลมะนาวลงได้ มีรายงานว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมในการเก็บมะนาวคือ 9 - 12 °ซ และ 85 - 90 % (16)

2.5.2 ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพการเก็บรักษา ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่ออัตราการหายใจของมะนาว โดยการเก็บในสภาพที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ และคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะช่วยลดอัตราการหายใจของมะนาวลงได้ แต่อย่างไรก็ตามการเก็บในสภาพที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูง หรือออกซิเจนต่ำมากก็จะทำให้เกิดการเน่าเสียมากขึ้นได้ มีรายงานว่าการเก็บมะนาวในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 10 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 5 % สามารถเก็บมะนาวได้นาน 5 เดือน แต่การเน่าเสียจะเกิดเพิ่มขึ้นมากหากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 15 - 30 % (4) และการเก็บมะนาวในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำกว่า 2.5 % จะสามารถลดการสูญเสียสีเขียวที่ผิวของมะนาวลงได้ แต่จะทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) ได้คาร์บอนไดออกไซด์และเอทธานอลซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์ของมะนาวและเป็นสาเหตุของการเน่าเสียได้ในระยะยาว (16)

2.5.3 ความเข้มข้นของเอทธิลีนในสภาพบรรยากาศเก็บ มะนาวจัดเป็นพืชตระกูลส้ม ซึ่งเป็นผลไม้ประเภท Non-climacteric มีอัตราการหายใจและการสร้างเอทธิลีนค่อนข้างต่ำ (0.1-0.2 ppm) (6) แต่การสะสมของเอทธิลีนในบรรยากาศการเก็บรักษาจะมีผลต่ออัตราการหายใจและการสูญเสียสีเขียวที่ผิวของมะนาว การเก็บมะนาวในสภาพบรรยากาศที่มีเอทธิลีนความเข้มข้น 200 ppm ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นเวลา 20 ชม. จะกระตุ้นอัตราการหายใจของมะนาวเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า อย่างไรก็ตามพบว่าความสามารถในการกระตุ้นอัตราการหายใจโดยเอทธิลีนในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 10% จะสูงกว่าในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 5% และในสภาพที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ ไม่ได้มีผลยับยั้งการกระตุ้นอัตราการหายใจโดยเอทธิลีน (16,17) นอกจากนี้มีรายงานว่าความเข้มข้นของออกซิเจนในสภาพบรรยากาศการเก็บรักษาจะมีผลต่อการกระตุ้นให้เกิดการสูญเสียสีเขียวที่ผิวของมะนาวเนื่องจากเอทธิลีน โดยพบว่าการเก็บในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 11 และ 5% ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมาก ๆ(0.1%) เป็นเวลา 6 เดือน จะมีเอทธิลีนสะสมอยู่ 6 และ 300 ppm ตามลำดับ แต่การกระตุ้นให้เกิดการสูญเสียสีเขียวที่ผิวของมะนาวโดยเอทธิลีนในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 11% จะเกิดขึ้นมากกว่าการเก็บในสภาพที่มีออกซิเจน 5% (16,18)

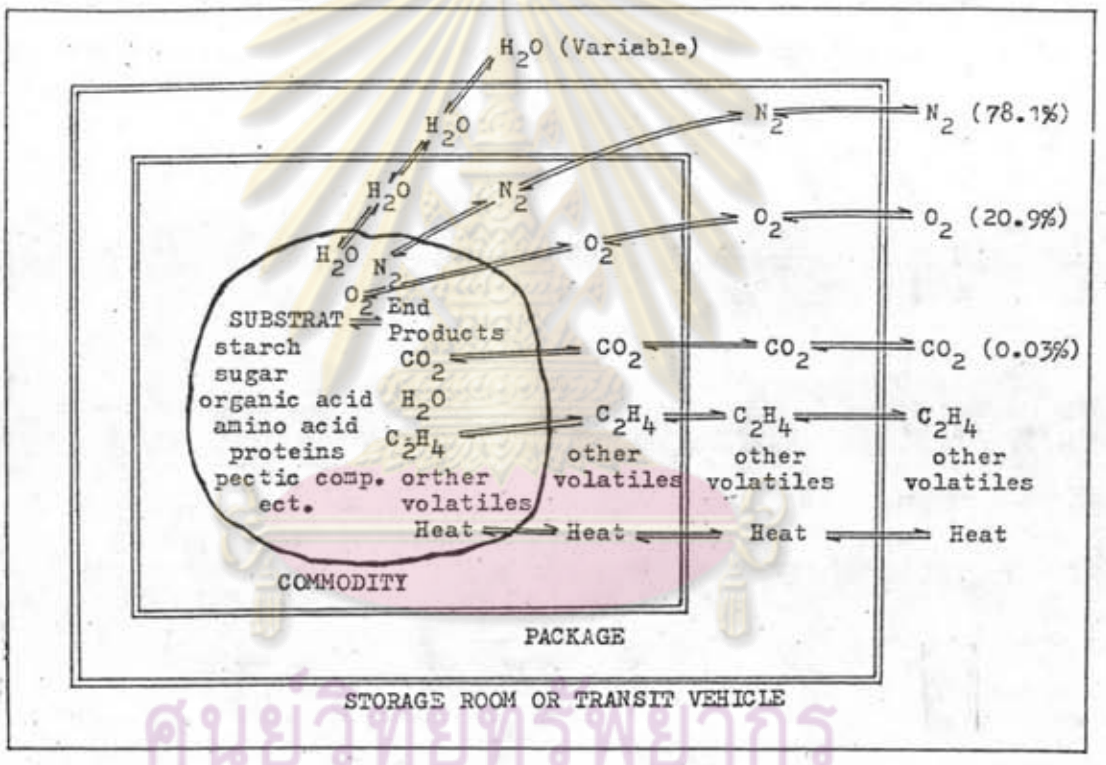
การลดการสะสมของเอทธิลีนในสภาวะการเก็บสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ตัวดูดซับ (Scrubber) ที่นิยมใช้กันคือ ด่างทับทิม ($KMnO_4$) ซึ่งจะใช้ในสภาพที่ถูกตรึงบนตัวกลาง เช่น ซิลิกาเจล (Siliga gel) เวอร์มิคูไลท์ (Vermicullite) และอลูมินา (Alumina pellet) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส หรืออาจใช้ Heat catalyst ethylene scrubber และ UV light ซึ่งเหมาะที่จะใช้กับการเก็บในสภาพบรรยากาศการควบคุม (19)

2.5.4 อายุการเก็บเกี่ยวของมะนาว ดังได้กล่าวไปแล้วว่า มะนาวเป็นผลไม้พวก Non-climacteric ซึ่งมีการสร้างเอทธิลีนค่อนข้างต่ำ และสม่ำเสมอในขณะแก่และสุก อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าผลไม้ตระกูลส้มที่ยังไม่แก่เต็มที่ ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีอัตราการหายใจพร้อมกับการสร้างเอทธิลีนเพิ่มขึ้นเหมือนกับผลไม้พวก Climacteric (9,16) อายุการเก็บเกี่ยวจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะนาว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 การเก็บมะนาวในภาชนะบรรจุประเภทฟิล์มพลาสติก

การเก็บมะนาวในภาชนะบรรจุประเภทฟิล์มพลาสติกเป็นการเก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปลง กล่าวคือการเก็บมะนาวด้วยวิธีการดังกล่าวจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ เนื่องจากการหายใจของมะนาวและการซึมผ่านของกาซระหว่างภายในและภายนอกภาชนะบรรจุ ดังแสดงได้ตามรูปที่ 2.5 สภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่ถูกดัดแปลงก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของมะนาวในขณะเก็บรักษา



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการแลกเปลี่ยนกาซที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บผักผลไม้ในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (20)

2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (21,22)

ในขณะเก็บมะนาวในภาชนะบรรจุ ความเข้มข้นของออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุจะลดลง ในขณะที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการหายใจของ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มะนาวเป็นผลทำให้บรรยากาศภายในและภายนอกเกิดความแตกต่างกัน จึงเกิดการแลกเปลี่ยนกาซระหว่างภายในและภายนอกภาชนะบรรจุ สภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่เปลี่ยนแปลงไปก็จะขึ้นอยู่กับอัตราการซึมผ่านของกาซระหว่างภายในและภายนอกภาชนะบรรจุ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาของฟิล์มพลาสติก อุณหภูมิ อัตราการหายใจของมะนาว น้ำหนักของมะนาว และปริมาตรช่องว่างภายในภาชนะบรรจุ

2.6.1.1 ชนิดของฟิล์มพลาสติก คุณสมบัติในการยอมให้กาซซึมผ่านได้ (Permeability) ของฟิล์มพลาสติกแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ดังนั้นการเลือกใช้ฟิล์มพลาสติกในการเก็บผักผลไม้จึงควรคำนึงถึงคุณสมบัติในข้อนี้ของฟิล์มพลาสติก กล่าวคือ การเลือกใช้ฟิล์มพลาสติกที่มีคุณสมบัติในการยอมให้กาซซึมผ่านได้ต่ำจะทำให้เกิดสภาพออกซิเจนต่ำ และคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากขึ้นภายในภาชนะบรรจุ ทำให้ผักผลไม้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ สำหรับมะนาวมีรายงานว่าการเก็บในภาชนะบรรจุประเภทฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE หรือ HDPE แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 10 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% จะให้ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงเป็น 14-19% และ 2-6% ตามลำดับ และสามารถเก็บมะนาวได้นานถึง 14 สัปดาห์ (5)

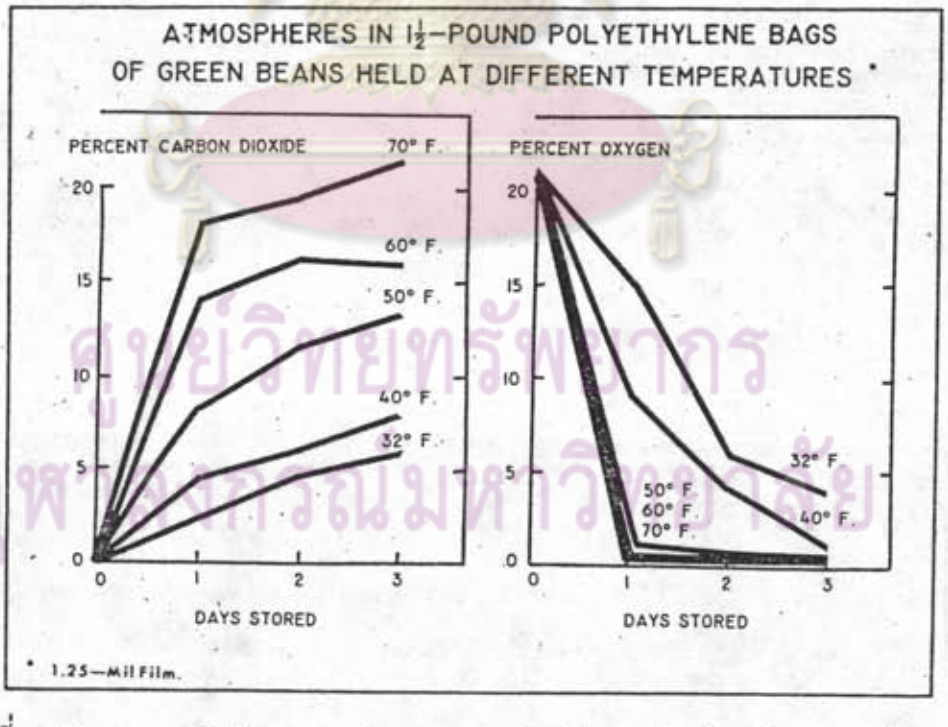
ตารางที่ 2.1 อัตราการซึมผ่านฟิล์มพลาสติกของไอน้ำและกาซ (23)

ชนิดพลาสติก	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ g-mil/100 sq in/ 24 hr at 37°C	อัตราการซึมผ่านของกาซ cc/100 sq in/mil thickness/ 24 hr/atm. at 25°C	
		CO_2	O_2
LDPE	1.0-1.5	2700	500
HDPE	0.3	1000-2500	250-535
PP	0.7	500-800	150-240
OPP	0.25	540	160

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.1.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิจะมีผลต่ออัตราการหายใจของมะนาวดังกล่าวในข้อ 2.5.1 การเก็บในสภาพที่อุณหภูมิต่างกันจะมีผลต่อระดับความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุ ดังมีรายงานว่าการเก็บถั่วลันเตา (Green bean) ในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีน แล้วเก็บที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงที่เก็บที่อุณหภูมิ 70 °ฟ จะสูงถึง 20% ภายในระยะเวลา 3 วัน ในขณะที่ความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุงเหลือต่ำกว่า 1% ภายในระยะเวลา 1 วัน (24,25)

2.6.1.3 น้ำหนักของผลมะนาวต่อปริมาตรช่องว่างภายในภาชนะบรรจุ น้ำหนักของผลไม้ต่อปริมาตรช่องว่างภายในภาชนะบรรจุจะมีผลต่ออัตราการใช้ออกซิเจนและการคายคาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวคือ การบรรจุผลไม้ในปริมาณมาก อัตราการใช้ออกซิเจนและการคายคาร์บอนไดออกไซด์ย่อมเกิดขึ้นเร็วกว่าการบรรจุในปริมาณน้อย และส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ดังเช่น การเก็บแอปเปิ้ลจำนวน 5, 10 และ 15 ผล ในฟิล์มพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีน ที่อุณหภูมิ 10 °ซ พบว่าการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็น 7,12 และ 13% ตามลำดับ (25)



รูปที่ 2.6 ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีนที่บรรจุถั่วลันเตา แล้วเก็บที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน