บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 พันธุ์มะนาวที่ปลูกในประเทศไทย (4)

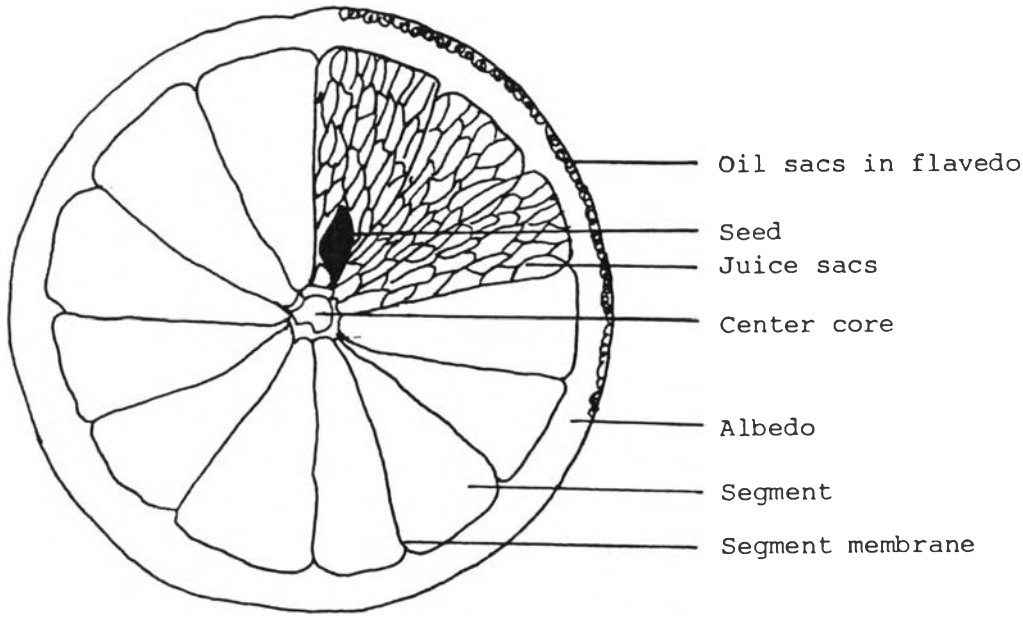
มะนาว (Lime) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Citrus aulantifolia Swingle เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทุกภูมิอากาศของประเทศไทย สามารถขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด ปลูกได้ตั้งแต่ที่ดินดอนถึงที่ลุ่ม แต่ต้องไม่มีน้ำขังแฉะ มะนาวที่นิยมปลูกในเมืองไทยมีหลายพันธุ์คือ

1. มะนาวหนัง มีลักษณะผลกลม เปลือกหนา
2. มะนาวไข่ ผลกลมค่อนข้างยาวรี เปลือกบาง ผลโตกว่ามะนาวหนัง
3. มะนาวหวาน ลักษณะผลกลมเปลือกสีเขียวคล้ำ เนื้อค่อนข้างแดงคล้ายส้ม-เขียวหวาน รสหวานดี มีกลิ่นฉุน ไม่ค่อยเป็นที่นิยมกันมากนัก แต่มีปลูกกันอยู่บ้าง
4. มะนาวพันธุ์ตาฮิติ เป็นมะนาวพันธุ์ต่างประเทศซึ่งกรมวิชาการเกษตรได้นำมาศึกษาค้นคว้าและพบว่าสามารถปลูกได้ดีในบ้านเรา มีลักษณะผลโตเมื่อสุก เปลือกมีสีเขียวเข้ม มีน้ำมาก ไม่มีเมล็ด
5. มะนาวพันธุ์อื่น ๆ เช่น มะนาวพม่า มะนาวพันธุ์โมฬี

2.2 ลักษณะโครงสร้างของผลมะนาว (5)

มะนาวที่ปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ดังกล่าวมาแล้ว แต่ละพันธุ์ก็มีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกัน แต่ลักษณะโครงสร้างของผลมะนาวนั้นโดยทั่วไปจะเหมือน ๆ กัน คือ ผิวมะนาวจะมีสารที่เคลือบอยู่ภายนอก เรียก cutin เคลือบอยู่บาง ๆ ทำให้น้ำซึมเข้าและออกไม่ได้ เมื่อผ่ามะนาวออกเป็น 2 ซีกตามขวาง จะเห็นว่ามะนาวแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนเปลือกประกอบด้วย ผิวนอกสีเขียวเรียกว่า Flavedo มีต่อมน้ำมัน (Oil Sacs) ใต้ชั้นนี้ และชั้นถัดมาสีขาวเรียก Albedo อีกส่วนเป็นเนื้อ เป็นส่วนที่เรารับประทานได้ อยู่ถัดจากส่วน Albedo ประกอบด้วยกลีบ หรือ Segment และแกนกลางของผลเรียก Center core ผลหนึ่ง ๆ จะมีประมาณ 10-12 กลีบ แต่ละกลีบประกอบด้วย ผนังกลีบ (Segment membrane) และถุงน้ำ

(Juice sacs) หลายถุง และเมล็ดที่ติดอยู่ที่แกนกลางของผล ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของผลมะนาว ผ่าซีกตามขวาง (5)

2.3 คุณค่าทางอาหารของมะนาว (6 , 7)

มะนาวเป็นผลไม้ประเภทส้มชนิดหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นแหล่งอาหารและพลังงานที่สำคัญแก่ผลมะนาว มีปริมาณโปรตีนและไขมันน้อยมาก ที่เหลือเป็นกาก องค์ประกอบเหล่านี้จะแปรผันไปตามชนิดและความแก่ ในมะนาวขนาดกลาง 1 ผล มีน้ำหนัก 60 กรัม จะมีคุณค่าทางอาหารดังต่อไปนี้

น้ำ	89.37 %
กาก	0.65 %
โปรตีน	0.82 %
ไขมัน	0.89 %
คาร์โบไฮเดรต	7.84 %
คัลเซียม	0.033 %
ฟอสฟอรัส	0.024 %
เหล็ก	0.0006 %

โปตัสเซียม 0.193 %

วิตามินซี 42 ± 11 มิลลิกรัมต่อน้ำมะนาว 100 มิลลิลิตร

2.4 องค์ประกอบที่สำคัญของมะนาว (8)

2.41 สารประกอบไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนในผลมะนาวได้แก่ กรดอะมิโน เอมีน (Amine), เปบไทด์ (Peptide) และโปรตีนซึ่งมีอยู่ในปริมาณน้อย

2.4.2 กรดอินทรีย์

กรดอินทรยที่พบมากในผลมะนาวคือ กรดซิตริก (Citric acid) ดังนั้นในการวัดความเป็นกรดของมะนาวจึงมักวัดออกมาในรูปของปริมาณกรดซิตริกด้วยการไตเตรท ในระหว่างการเจริญเติบโตและการพัฒนาของมะนาวปริมาณกรดจะลดต่ำลง เนื่องมาจากการเพิ่มขนาดผลและปริมาณน้ำคั้น พร้อมทั้งมีการเพิ่มของปริมาณน้ำตาลด้วย

2.4.3 สารที่ให้รสขม

ในน้ำมะนาวจะมีสารที่มีผลทำให้มะนาวมีรสขม กล่าวคือ จะมีสารบางตัวทำให้เกิด (Precursors) ความขมอยู่ในส่วนเนื้อของมะนาว ซึ่งสารนี้โดยปกติจะไม่ขม แต่สามารถละลายได้ในน้ำ แต่เมื่อเนื้อเยื่อนี้ขาดออกในระหว่างการคั้นผลไม้ สารนี้จะเปลี่ยนเป็นลิโมนิน (Limonin) ปริมาณลิโมนินเพียง 2 ppm ก็ทำให้เกิดรสขมได้ เนื่องจากลิโมนินสามารถละลายน้ำได้น้อย ๆ การเก็บรักษาที่ยาวนานก็สามารถเพิ่มความเข้มข้นของลิโมนินได้

2.4.4 สารระเหย

สารระเหยในมะนาวได้แก่ พวก terpene hydrocarbon, carbonyl component, alcohols, ester และกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้เกิดกลิ่นรสในมะนาว

2.4.5 วิตามินซี

วิตามินที่พบมากในน้ำมะนาวคือ วิตามินซี หรือ Ascorbic acid ในมะนาวไทยจะมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในระหว่าง 42±11 มิลลิกรัมต่อน้ำมะนาว 100 ซีซี (7)

2.5 การเปลี่ยนแปลงหลังจากการเก็บเกี่ยว (9)

มะนาวหลังจากการเก็บเกี่ยวยังมีชีวิตอยู่ กระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางสรีระและชีวเคมียังคงดำเนินอยู่ เช่นเดียวกับที่ติดอยู่กับต้นหรือยังไม่ได้เก็บเกี่ยว ดังนั้นมะนาวหลังจากการเก็บเกี่ยว ยังคงมีการหายใจต่อไปโดยการดูดเอากาซออกซิเจนเข้าไป และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา มีการคายน้ำหรือการสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียเนื่องจากการหายใจ และคายน้ำขณะที่ผลิตผลยังอยู่กับต้นเดิมจะถูกแทนที่หรือชดเชยโดยน้ำหล่อเลี้ยงภายในต้น (Cell sap) ส่วนอาหารได้จากการสังเคราะห์แสง และแร่ธาตุได้จากดินหรือปุ๋ยที่ใส่ให้ หลังจากที่มะนาวถูกเก็บเกี่ยวแล้วจะถูกตัดขาดจากแหล่งน้ำ อาหาร และแร่ธาตุ ดังนั้นมะนาวหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วจึงต้องขึ้นกับอาหารที่สะสมไว้และความชื้นในเนื้อเยื่อที่มีอยู่ การสูญเสียอาหารและน้ำที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อของมะนาวจะไม่ถูกชดเชย และกระบวนการเน่าเสียจะเกิดขึ้น การเปลี่ยนแปลงในด้านชีวเคมีที่เกิดขึ้นกับมะนาวหลังจากการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อคุณภาพของมะนาว การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ได้แก่

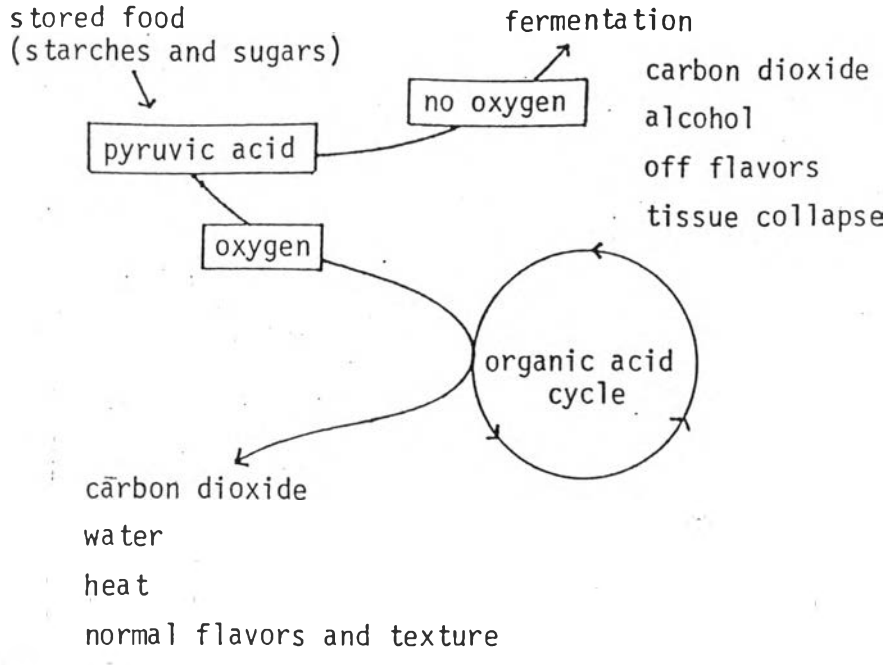
2.5.1 การหายใจของผลมะนาว (9)

ผลมะนาวที่เก็บจากต้นจะมีการหายใจตลอดเวลา เช่นเดียวกับเซลที่มีชีวิตบนต้นไม้ ในการหายใจต้องการออกซิเจนไปเผาผลาญ (Oxidise) อาหารจำพวกแป้งและน้ำตาล เพื่อให้เกิดพลังงาน, คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำตามต้องการ

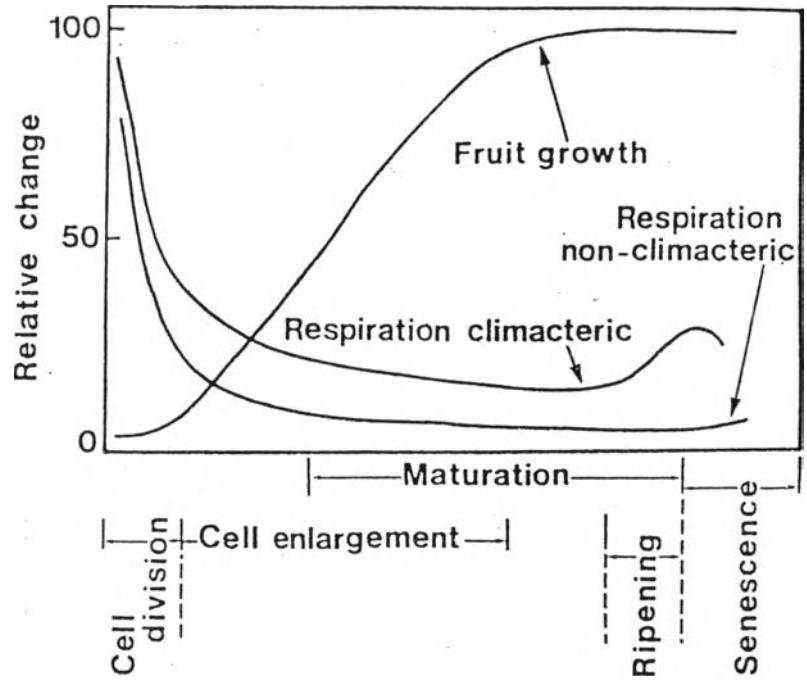
$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 = 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 673\ Cal$$

การหายใจของมะนาวจะเป็นไปอย่างช้า ๆ สม่ำเสมอ ตลอดเวลาเราสามารถควบคุมให้การหายใจช้าลงได้ โดยการชลอปฏิกิริยาให้ช้าลงนั่นเอง ซึ่งวิธีหนึ่งที่จะทำได้ก็คือ การลดปริมาณออกซิเจนที่จะไปเผาผลาญน้ำตาลและแป้งในมะนาว แต่ในกรณีที่อากาศนั้นมีปริมาณออกซิเจนน้อยหรือไม่มีเลย ก็จะทำให้เกิดการหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) ซึ่งจะได้แอลกอฮอล์ ทำให้มะนาวมีรสชาติผิดปกติ และเนื้อเยื่อของมะนาวก็ถูกทำลาย ดังรูปที่ 2.2 (9)

มะนาวเป็นผลไม้ประเภท Non-climacteric ซึ่งอัตราการหายใจจะลดลงเมื่อมะนาวอายุมากขึ้น และอัตราการหายใจจะไม่เพิ่มขึ้นขณะที่ผลมีการสุก ซึ่งต่างกับผลไม้ประเภท Climacteric เช่น กล้วย มะม่วง น้อยหน่า ซึ่งเป็นผลไม้ประเภทที่สามารถบ่มให้สุกได้ ดังรูปที่ 2.3 (9) มะนาวพันธุ์ Eureka มีอัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 20 °C เท่ากับ 5 ml. CO_2/kg/hr



รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงการหายใจของมะนาวโดยสังเขป ทั้งแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน (9)



รูปที่ 2.3 การเจริญเติบโตและลักษณะการหายใจของผลไม้ประเภท Climacteric และ non-Climacteric (9)

2.5.2 การคายน้ำของผลมะนาว (Transpiration) (9,10,11)

มะนาวเป็นเนื้อเยื่อที่มีชีวิต จึงยังคงมีการคายน้ำออก หากเก็บมะนาวที่อุณหภูมิห้อง มะนาวจะสูญเสียน้ำหนักในอัตรา 1-2% ต่อวัน ทำให้ผิวของมะนาวเหี่ยวย่นไม่สด น้ำหนักและคุณภาพลดลง หากมะนาวสูญเสียน้ำหนักถึง 12-14% ของน้ำหนักสด มะนาวจะมีผิวเหี่ยวแห้ง (10) อัตราการสูญเสียน้ำขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ลักษณะโครงสร้างของผลไม้ สารเคลือบผิว รอยบาดแผล อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนที่ของอากาศ และความดันบรรยากาศ

โดยทั่วไปสามารถลดการสูญเสียน้ำได้ โดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของการเก็บมะนาวให้อยู่ระหว่าง 85-90% และอุณหภูมิ 9-10 °C (11) หรืออาจจะลดการสูญเสียน้ำ โดยการเคลือบด้วยขี้ผึ้ง ซึ่งจะมีผลในการลดอัตราการหายใจและลดการสูญเสียน้ำไปพร้อมกัน

2.5.3 การเปลี่ยนสีผิวของมะนาว (9)

มะนาวมีสีที่เห็นได้ชัดเจน 2 สีคือ สีเขียวของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) และสีเหลืองของคาโรตินอยด์ (Carotenoid) ขณะที่ผลมะนาวแก่เต็มที่สีที่ปรากฏมากคือ สีเขียวของคลอโรฟิลล์ การเปลี่ยนสีผิวของมะนาวเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัด ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิด Senescence ของพืช การเปลี่ยนสีเกิดขึ้นมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้สีเหลืองของคาโรตินอยด์นั้น ปรากฏขึ้นมาให้เห็น

การคงสภาพของสีเขียวและอัตราการเกิดสีเหลือง มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดเกี่ยวกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาการเก็บรักษา และส่วนประกอบของบรรยากาศในห้องเก็บรักษา

ถ้าให้เอทธิลีนแก่ผลมะนาว จะทำให้มีการสูญเสียคลอโรฟิลล์จากผิวของมะนาว ทำให้มะนาวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองได้เร็วกว่าปกติ (9)

2.6 โรคที่เกิดกับผลมะนาว (9 , 11)

2.6.1 Alternaria rot

โรคนี้เกิดจากเชื้อรา Alternaria citri ส่วนมากจะเรียกโรคนี้ว่า Black rot ลักษณะอาการของโรคนี้ คือ บริเวณขั้วจะมีลักษณะสีดำคล้ายเม็ดกระดุม เชื้อรานี้จะเจริญในบริเวณ vascular tissue ของบริเวณแกนกลาง แล้วจึงเคลื่อนย้ายไปจนกระทั่งเกิดการเปลี่ยนสีผิวของมะนาวบริเวณขั้ว

2.6.2 Blue and Green molds rots

โรคนี้เกิดจากเชื้อรา Penicillium italicum และ P. digitatum ลักษณะอาการของโรคนี้คือ เปลือกมะนาวจะนุ่ม และดูฉ่ำน้ำ (watery spot) เมื่ออุณหภูมิเหมาะสมบริเวณที่ฉ่ำน้ำจะแพร่กระจายไปอย่างรวดเร็วจนมีขนาด 4-5 เซนติเมตร จากนั้นจะมองเห็นราสีขาวบนผิว และเมื่อสร้างสปอร์บริเวณตรงกลางจะมีสีเขียวมะกอก ของ Green mold rot ซึ่งล้อมรอบด้วยเส้นใยสีขาว แต่สำหรับของ Blue mold rot บริเวณตรงกลางจะเป็นสีน้ำเงิน ล้อมรอบด้วยวงแหวนสีขาวของเส้นใย

2.6.3 Brown rot

โรคนี้เกิดจากเชื้อ Phytophthora sp. ลักษณะอาการของโรคนี้คือ สีผิวจะมีสีน้ำตาลแกมเขียว ถึงสีน้ำตาล แต่บริเวณแผลยังคงแน่นแข็ง และมะนาวจะมีกลิ่นหมัก

2.6.4 Fusarium rot

โรคนี้เกิดจากเชื้อ Fusarium ลักษณะอาการของโรคนี้จะคล้ายกับ Alternaria rot บริเวณที่เป็นโรคจะมีสีดำน้ำตาล และมีความลึก

2.7 ปฏิบัติการเพื่อยืดอายมะนาวหลังการเก็บเกี่ยว (9, 12)

มะนาวหลังการเก็บเกี่ยวแล้วยังมีชีวิตอยู่ กระบวนการต่าง ๆ ที่เคยดำเนินอยู่ภายใต้เนื้อเยื่อของมะนาวขณะที่ยังติดอยู่บนต้น หลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วก็ยังคงมีอยู่ต่อไป และอาจมีกระบวนการใหม่เกิดขึ้น และนำไปสู่การเน่าเสียได้ ดังนั้นจึงต้องมีการปฏิบัติเพื่อยืดอายุการเก็บของมะนาว ดังนี้

2.7.1 การลดการเกิดบาดแผลเนื่องจากการกระทบกระแทก

เนื่องจากมะนาวหลังจากการเก็บเกี่ยวจะเกิดบาดแผลหรือรอยช่วนได้ง่าย ผลของบาดแผลจะทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่ายขึ้น อัตราการหายใจจะสูงขึ้น และทำให้เกิดสีน้ำตาลบนบาดแผล (12)

2.7.2 การยืดอายุของมะนาวโดยการใช้สารเคมี

การใช้สารเคมี มีเป้าหมายเพื่อควบคุมและป้องกันการเจริญเติบโตของแมลงหรือจุลินทรีย์ เช่น ยาฆ่าเชื้อราต่าง ๆ สารเคมีที่ใช้สำหรับป้องกันการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระวิทยาของมะนาว เช่น การใช้ฮอร์โมน ผลมะนาวส่วนมากในแคลิฟอร์เนียใช้ Isopro-

pylester ของ 2,4-D (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid) ก่อนเก็บรักษา เพื่อยับยั้งการเกิด senescence ของขั้ว (Calyx plus disc) ซึ่งเป็นจุดที่เชื้อ Alternaria citri เข้าทำลายถ้าขั้วของผลมะนาวเกิด senescence (9) นอกจากนี้ยังมีการใช้พวกขี้ผึ้งเคลือบผิว (Wax) สำหรับป้องกันการคายน้ำของผลมะนาว สำหรับสารเคมีที่ใช้สำหรับควบคุมเชื้อราของมะนาว ได้แก่ (9,11)

2.7.2.1 Boron compound เช่น น้ำยา Borax เข้มข้น 2.5% ใช้ในการควบคุม Penicillium rot

2.7.2.2 Phenol compound ที่นิยมใช้คือ Sodium o-phenylphenate tetrahydrate (SOPP) ใช้ในการควบคุม Alternaria rot และ Penicillium rot นอกจากนี้ยังมี Orthophenylphenol ซึ่งมีประสิทธิภาพดีเช่นกัน ทั้ง SOPP และ Orthophenyl-phenol ใช้ใส่ลงในขี้ผึ้งเคลือบผิวผลไม้ และใช้ SOPP ในกระดาษสำหรับห่อผลไม้

2.7.2.3 2-Aminobutane ใช้ในการควบคุม Blue และ Green mold rot

2.7.2.4 Thiabendazole (TBZ) ใช้ในการควบคุม Alternaria rot และ Penicillium rot

2.7.2.5 Benomyl (Benlate) อัตราที่ใช้ 500-1000 ppm มีประสิทธิภาพในการดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชได้ง่ายกว่า Thiabendazole จึงมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อโรคได้ดีกว่า ใช้ในการควบคุม Alternaria rot, Green และ Blue mold rot ในการวิจัยนี้ได้ใช้ Benlate เข้มข้น 1 กรัม/น้ำ 1 ลิตร เป็นยาฆ่าเชื้อรา

2.7.2.6 Imazalil เป็นยาฆ่าเชื้อราชนิดใหม่ เป็นสารเคมีประเภท Imidazole ใช้ได้ผลดีในการควบคุมโรคเน่าจากเชื้อ Penicillium sp. โดยเฉพาะในสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อ Thiabendazole และ Benomyl

สำหรับรายละเอียดของยาฆ่าเชื้อราชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา แสดงในตารางที่ 2.1 (11)

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของยาฆ่าเชื้อราชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา (11)

Fungicides	Concentration	Application	Residue tolerance
Thiabendazole (TBZ)	0.1 %	water solutions or as wax emulsion after washing	10 ppm.
Benomyl (Benlate)	0.06 %	water solution or in solvent type wax	10 ppm
sodium o-phynylphenate	2.0 %	water solution at pH 11.5 to 12 with 1 % Hexamine	10 ppm
Sec-Butylamine (2-aminobutane)	1.0-2.0 %	water solution as phosphate salt	30 ppm
Biphenyl (diphenyl)	2.35 g per 28 by 41 cm. (11 by 17 in pad)	2 pads 4/5 bu box (0.028 m^3)	110 ppm

2.7.3 การยืดอายุของมะนาวด้วยการใช้รังสี

การใช้รังสีมีเป้าหมายเพื่อควบคุมโรค โดยเฉพาะโรคจากเชื้อราชนิดต่าง ๆ มีรายงานว่ารังสีแกมม่ามีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราในมะนาวฝรั่ง (Lemon) (13)

2.7.4 การยืดอายุของมะนาวด้วยการปรับสิ่งแวดล้อมในการเก็บรักษาให้เหมาะสม

2.7.4.1 อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการหายใจของมะนาวและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการหายใจของมะนาวจะสูงขึ้น การคายน้ำจะสูงขึ้นด้วย เมื่อนำมะนาวมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง มะนาวจะสูญเสียน้ำหนักในอัตรา 1-2% ต่อวัน และหลังจากสูญเสียน้ำหนักถึง 12-14% ของน้ำหนักสด มะนาวจะมีผิวเหี่ยวแห้ง คุณภาพเสียไปภายในเวลา 2 สัปดาห์ (10) แต่ถ้ามะนาวนั้นผ่านการเคลือบขี้ผึ้ง เช่น ขี้ผึ้งจอนสัน (Johnson

wax) ก่อน แล้วจึงนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องก็จะสามารถคงความสดไว้ได้ 21 วัน (14) การเก็บมะนาวไว้ที่อุณหภูมิต่ำลงเท่าใด อายุการเก็บรักษาจะนานขึ้น แต่การลดอุณหภูมิจะต้องมิให้ต่ำจนทำให้เกิดอันตรายกับมะนาว (Chilling injury) อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเก็บมะนาวสด คือ 9-10 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% ซึ่งจะสามารถเก็บรักษามะนาวสดได้ 6-8 สัปดาห์ (11) หากอุณหภูมิของมะนาวต่ำกว่า 8.3 °C ก็จะทำให้เกิดอันตรายเนื่องมาจากอุณหภูมิต่ำได้ (11) ซึ่งนับเป็นความผิดปกติทางสรีระอย่างหนึ่ง ทำให้มะนาวมีลักษณะดังต่อไปนี้ (9, 11)

2.7.4.1.1 ผิวมีสีน้ำตาล (Brown staining) ลักษณะที่ปรากฏคือ เปลือกจะมีสีน้ำตาลหรือสีแทน ซึ่งจะพบเพียงบางส่วนของเปลือกหรือทั้งผล ในกรณีที่รุนแรงเนื้อเยื่อส่วนที่ติดกับเปลือกอาจมีการเปลี่ยนสี การเกิดจะรุนแรงที่อุณหภูมิ 0 °C ถึง 1 °C

2.7.4.1.2 ผิวมีรอยบุ๋ม (Pitting) ลักษณะที่ปรากฏคือ มีรอยบุ๋มลึกลงไปจากผิวของเนื้อเยื่อ ความรุนแรงของการเกิดรอยบุ๋มของเนื้อเยื่อของมะนาวนั้นขึ้นกับความรุนแรงของอันตรายของอุณหภูมิที่ได้รับเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ และความชื้นในบรรยากาศ รอยบุ๋มจะเกิดขึ้นรุนแรงในสภาพที่มีความชื้นน้อยกว่าสภาพที่มีความชื้นมาก ในสภาพที่มีความชื้นน้อย เซลของมะนาวที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ จะสูญเสียความชื้นมากกว่าความชื้นที่จะได้รับ เซลของมะนาวที่ขาดน้ำจะแห้งและทำให้สูญเสียลักษณะของการทรงตัวหรือโครงสร้างเดิม และทำให้เนื้อเยื่อบริเวณนั้นเกิดรอยบุ๋ม เมื่อมะนาวได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำมากขึ้น รอยบุ๋มของเนื้อเยื่อจะรวมตัวกันมาก และกลายเป็นรอยบุ๋มตื้น ๆ เป็นบริเวณกว้าง ความชื้นที่มากในอากาศจะลดหรือป้องกันการเกิดรอยบุ๋มในพืชที่ได้รับอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ แต่ไม่ได้ป้องกันอันตรายของพืช เนื่องจากอุณหภูมิต่ำนั้นไม่ให้เกิดขึ้น

2.7.4.2 <u>ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)</u> ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะลดการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ แต่จะเพิ่มอัตราการคายน้ำทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งทำให้มะนาวมีลักษณะเหี่ยวแห้ง และเสียคุณภาพไปในที่สุด ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการเก็บมะนาวคือ 85-90% อุณหภูมิ 9-10 °C (11)

2.7.4.3 <u>การควบคุมบรรยากาศและบรรยากาศดัดแปลง</u> (15) การปฏิบัติต่อมะนาวแบบนี้มีเป้าหมายเพื่อลดอัตราการหายใจของมะนาว โดยการควบคุมระดับความเข้มข้นของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ การปฏิบัติแบบนี้มี 3 วิธี

2.7.4.3.1 Controlled atmosphere storage (CA)

2.7.4.3.2 Modified atmosphere storage (MA)

2.7.4.3.3 Low pressure หรือ Hypobarric storage (LPS)

สำหรับ CA และ MA จะกล่าวโดยละเอียดต่อไป ส่วน LPS นั้นก็เป็นวิธีหนึ่งของ CA แต่การลดความเข้มข้นของกาซออกซิเจนได้มาจากการลดความดันของบรรยากาศ ซึ่งการลดความดันทำให้ความดันย่อยของเอทธิลีนลดลง ความเข้มข้นของเอทธิลีนก็ลดลงด้วย มีการวิจัยพบว่า การเก็บมะนาวที่ 10 หรือ 15 °C ที่ 170 มิลลิเมตรปรอท ความชื้นสัมพัทธ์ 90-100% จะทำให้มะนาวยังคงมีผิวสีเขียว น้ำมะนาวคงคุณภาพดี และยังมีการเน่าเสียน้อยมาก ส่วนมะนาวที่เก็บที่บรรยากาศปกติมะนาวจะเปลี่ยนสีผิวเป็นสีเหลืองภายใน 3 สัปดาห์ (11) การเก็บมะนาวภายใต้ระบบ LPS ที่อุณหภูมิ 2.2 °C ไม่สามารถป้องกันการเกิดอันตรายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำได้ (11)

2.8 การเก็บรักษามะนาวโดยการควบคุมบรรยากาศ (Controlled atmosphere storage) (9)

คือการเก็บรักษามะนาวในสภาพของบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ และ/หรือมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าปกติ ซึ่งในสภาวะเช่นนี้จะลดอัตราการหายใจของมะนาว การเปลี่ยนสีผิวของมะนาวจะช้าลง และยังสามารถยับยั้งการแพร่กระจายของเชื้อโรคได้ด้วย

2.8.1 วัตถุประสงค์ทั่วไปของการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศ

2.8.1.1 เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาพืชผักผลไม้ให้นานออกไปจากระยะเวลาที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิเท่า ๆ กัน หรือ

2.8.1.2 ผักและผลไม้จะอยู่ในสภาพที่ดีกว่าหลังจากเก็บในสภาพควบคุมบรรยากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ และอุณหภูมิเท่ากัน สภาพที่ดีนี้ได้แก่ มองแล้วดีกว่า รสชาติดีกว่า เนื้อดี เน่าน้อย ผิดปกติทางสรีระน้อยกว่า

ในการใช้ประโยชน์จากการเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศนั้น จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนที่ใช้ เพราะความเข้มข้นที่ไม่เหมาะสมนั้นจะก่อให้เกิดผลเสียมากกว่าประโยชน์ เพราะจะทำให้เกิด

ความผิดปกติทางสรีระ (Physiological disorder) แต่ถ้าความเข้มข้นนั้นเหมาะสมจะเกิดประโยชน์มาก มีรายงานการเก็บรักษาด้วยวิธีนี้กับมะนาวและผักผลไม้อื่น ๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รายงานการใช้ประโยชน์จากการเก็บรักษาโดยการควบคุมบรรยากาศในมะนาวและผักผลไม้ชนิดอื่น ๆ ในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา ในประเทศสหรัฐอเมริกา (15)

Commodity	Temp. range (°C)	CA		Potential for benefit	Extent of commercial use
		% O_2	% CO_2		
Deciduous tree fruits					
Apple	0-5	2-3	1-2	Excellent	About 40% of US production is stored under CA
Apricot	0-5	2-3	2-3	Fair	No commercial use
Cherry, sweet	0-5	3-10	10-12	Good	Some commercial use (pallet covers or box liners)
Fig	0-5	5	15	Good	Limited commercial use
Grape	0-5	-	-	Slight or none	(No commercial use; incompatible with SO_2 fumigation)
Kiwifruit	0-5	2	5	Excellent	Limited commercial use
Nectarine	0-5	1-2	5	Good	Limited commercial use
Peach	0-5	1-2	5	Good	Limited commercial use
Pear	0-5	2-3	0-1	Excellent	Some commercial use
Persimmon	0-5	3-5	5-8	Fair	No commercial use
Plum and prune	0-5	1-2	0-5	Good	No commercial use
Strawberry	0-5	10	15-20	Excellent	Increasing use during transit
Subtropical and tropical fruits					
Avocado	5-13	2-5	3-10	Good	Limited commercial use
Banana	12-15	2-5	2-5	Excellent	Some commercial use
Grapefruit	10-15	3-10	5-10	Fair	No commercial use
Lemon	10-15	5	0-5	Good	Limited commercial use
Lime	10-15	5	0-10	Good	Limited commercial use
Olive	8-12	2-5	5-10	Fair	No commercial use
Orange	5-10	10	5	Fair	No commercial use
Mango	10-15	5	5	Fair	No commercial use
Papaya	10-15	5	10	Fair	No commercial use
Pineapple	10-15	5	10	Fair	No commercial use
Vegetable fruits					
Cantaloupe	5-10	3-5	10-15	Good	Limited commercial use
Honeydew melons	10-12	3-5	0	Fair	No commercial use
Peppers, Bell	8-12	3-5	0	Fair	Limited commercial use
Peppers, chilli	8-12	3-5	0	Fair	No commercial use; 10-15% CO_2 is beneficial at 5-8°C
Tomatoes					
mature-green	12-20	3-5	0	Good	Limited commercial use
partially ripe	8-12	3-5	0	Good	Limited commercial use

2.8.2 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเก็บรักษามะนาวสดโดยการควบคุมบรรยากาศ

การวิจัยเกี่ยวกับการเก็บมะนาวสดโดยการควบคุมบรรยากาศนั้นมีมากในมะนาวฝรั่ง (Lemon) ส่วนมะนาวไทย (Lime) การวิจัยในด้านนี้ยังมีอยู่น้อย

ในมะนาวฝรั่ง Ryall และ Pentzer (11) ได้รวบรวมรายงานการวิจัยของการเก็บรักษามะนาวฝรั่งโดยการควบคุมบรรยากาศดังนี้คือ ที่ความเข้มข้นของออกซิเจน 5% ที่ 15 °C มะนาวจะมีลักษณะการผิดปกติทางสรีระน้อย และที่ความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าหรือเท่ากับ 5% ที่ 13.5 °C จะสามารถชลอการเปลี่ยนสีผิวของมะนาวได้ แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าหรือเท่ากับ 10% แล้ว จะทำให้รสชาติเสียไป และการเน่าเสียจะเกิดขึ้นมาก และเมื่อควบคุมความเข้มข้นของกาซออกซิเจนให้ได้ 10% ที่ 10 °C และใส่สารดูดกาซเอทธิลีน (Ethylene absorbent) ลงไปด้วย จะทำให้มะนาวดูเขียวและสด

ปราณี ทิพยางค์ และ ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล (16) ได้ทดลองเก็บมะนาว (Lime) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อราด้วยน้ำยาเบนเลท (Benlate) แล้วเก็บภายใต้การควบคุมบรรยากาศ โดยมีออกซิเจน 10% คาร์บอนไดออกไซด์ 5% ที่อุณหภูมิ 15 °C โดยทดลองเก็บมะนาว 3 เดือน พบว่า สี กลิ่น รส รูปร่าง และลักษณะภายนอกไม่เปลี่ยนแปลงไปจากของสด โดยเฉพาะสีผิวยังคงมีสีเขียว มีการเน่าเสียจากเชื้อราเป็นส่วนน้อย ในการทดลองเก็บครั้งนี้ แม้ผลการทดลองจะเป็นที่น่าพอใจ แต่วิธีการก็ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะจะต้องทำการตรวจสอบปริมาณของกาซภายในขวดเก็บทุก ๆ 24 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนบรรยากาศใหม่โดยการไล่อากาศเดิมออกให้หมด แล้วค่อยผ่านกาซผสมที่มีอัตราส่วนของออกซิเจน 10% คาร์บอนไดออกไซด์ 5% เข้าไปใหม่

วารุณี อนุสรณ์พานิช (3) ได้ทดลองเก็บมะนาว (Lime) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อราด้วยน้ำยาเบนเลท (benlate) แล้วเก็บภายใต้การควบคุมบรรยากาศ โดยมีระดับของความเข้มข้นของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ดังนี้คือ ออกซิเจน 10% และคาร์บอนไดออกไซด์ 5% ออกซิเจน 10% และคาร์บอนไดออกไซด์ 30% ออกซิเจน 10% และคาร์บอนไดออกไซด์ 15% ออกซิเจน 5% และคาร์บอนไดออกไซด์ 5% พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ ออกซิเจน 10% และคาร์บอนไดออกไซดื 5% ซึ่งสามารถเก็บมะนาวได้ 5 เดือน โดยลักษณะทั่วไปคือ สี กลิ่น รส ยังคงเป็นที่ยอมรับ ส่วนคุณสมบัติทางเคมีมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก การเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ เป็น 15 และ 30% จะทำให้เกิดการเน่าเสียของมะนาวมากขึ้น ซึ่งการวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานของ Ryall และ Pentzer (11)

2.9 การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (Modified atmoshphere storage) (9,15,17)

เป็นการเก็บมะนาวในภาชนะบรรจุหรือห้อง ซึ่งอากาศหรือกาซจะถูกบรรจุเข้าไปในตอนเริ่มต้น จากนั้นบรรยากาศดัดแปลงก็จะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ โดยความเข้มข้นของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกำหนดโดยการหายใจของมะนาว และอัตราการซึมผ่านของกาซ (Gas permeability) รอบ ๆ ภาชนะบรรจุหรือห้อง เช่น การเก็บมะนาวในถุงพลาสติกปิดปากถุงไว้แน่น ปริมาณออกซิเจนภายในถุงพลาสติกจะลดลง เนื่องจากถูกใช้ไปในการหายใจ ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกควบคุมโดยคุณสมบัติของภาชนะบรรจุในการยอมให้กาซซึมผ่านได้ ซึ่งขึ้นกับอัตราการหายใจและอุณหภูมิขณะนั้น บางครั้งเรียกการเก็บแบบนี้ว่า Self-controlled atmosphere

ในการทำวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเก็บมะนาวสดโดยวิธีนี้ โดยศึกษาผลของฟิล์มพลาสติกต่าง ๆ 5 ชนิด อัตราการซึมผ่านของกาซต่าง ๆ กัน

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเก็บมะนาวในสภาพบรรยากาศดัดแปลงยังมีไม่มากนัก แต่มะนาวก็เป็นผักผลไม้ซึ่งเป็นผลผลิตที่เน่าเสียได้ง่าย การเก็บมะนาวโดยวิธีนี้จึงต้องพิจารณารายละเอียดทั่วไปของการเก็บรักษาผักผลไม้ในสภาพบรรยากาศดัดแปลง ดังนี้

2.9.1 บรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

การบรรจุผักผลไม้ในฟิล์มพลาสติกซึ่งอากาศผ่านเข้าออกได้นั้น จะมีบรรยากาศใหม่รอบ ๆ ผักผลไม้ ซึ่งบรรยากาศนี้เกิดขึ้นจาก 2 กระบวนการคือ การหายใจของผักผลไม้และการซึมผ่านของกาซ (Permeation) ผ่านฟิล์ม กล่าวคือ ในกระบวนการหายใจ ออกซิเจนจะถูกนำมาใช้อย่างต่อเนื่องและขณะเดียวกันคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะถูกปล่อยออกมา ผลที่ตามมาก็คือ จะเกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของกาซระหว่างภายนอกกับภายในภาชนะบรรจุ ทำให้ออกซิเจนซึมเข้ามาในภาชนะบรรจุ และคาร์บอนไดออกไซด์ซึมออกไปในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งอัตราการซึมผ่านของกาซจะขึ้นกับโครงสร้างของฟิล์มนั้น ๆ (Structure of polymeric film) ความหนาของฟิล์ม พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนกาซ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา ระดับความเข้มข้นระหว่างบรรยากาศภายนอกกับภายใน ชนิดและน้ำหนักของผลไม้ อัตราการหายใจ และปริมาตรของช่องว่างภายในภาชนะบรรจุ

2.9.1.1 ชนิดของฟิล์มที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ เนื่องจากแผ่นฟิล์มมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีอัตราซึมผ่านของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 อัตราการซึมผ่านไอน้ำและกาซของฟิล์มพลาสติก (18)

ชนิดพลาสติก	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ g-mil/100 aq in/24 hr at 37°C	อัตราการซึมผ่านของกาซ cc/100 sq in/mil thickness/ 24 hr/atm. at 25°C	
		CO_2	O_2
1 LDPE	1.0-1.5	2700	500
2 PP	0.7	500-800	150-240
3 HDPE	0.3	1000-2500	250-535
4 OPP	0.25	540	160
5 NYLON	4.00	153-336	34-92

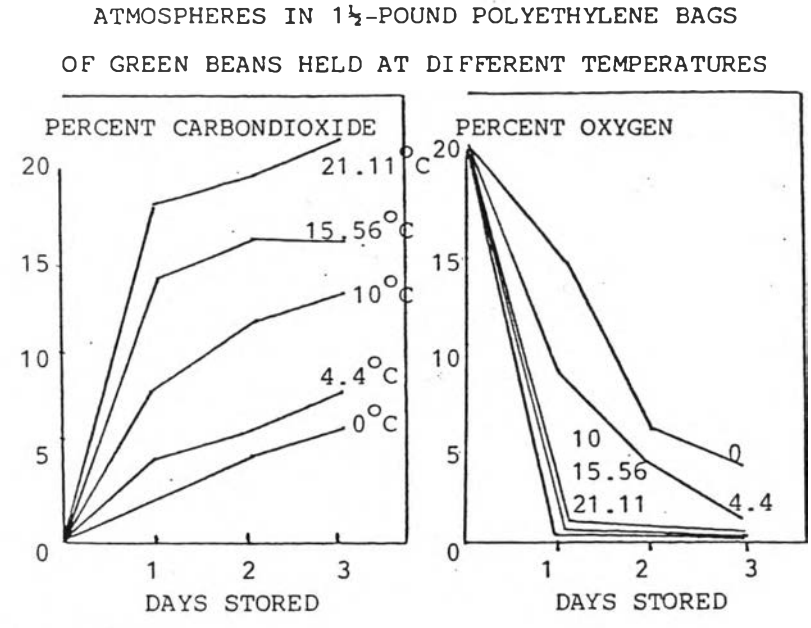
การนำแผ่นฟิล์มพลาสติกมาใช้จึงต้องพิจารณาให้เหมาะสม เช่น การเก็บแอปเปิ้ลในถุงโพลีเอทธิลีน (Polyethylene) ไว้ที่ 0°C พบว่าจะได้ความเข้มข้นของกาซออกซิเจนที่สภาวะสมดุล 3% แต่ถ้าเป็นฟิล์มชนิดอื่น ซึ่งมีการระบายอากาศน้อยอาจได้ออกซิเจนที่สมดุลเพียง 1% ซึ่งอาจทำให้รสชาติของแอปเปิ้ลผิดปกติไป การเลือกฟิล์มที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟิล์มซึ่งมีอากาศผ่านได้น้อย ๆ หรือไม่ได้เลย จะทำให้เกิดการสะสมของกาซคาร์บอน-ไดออกไซด์ในภาชนะที่บรรจุผักผลไม้นั้น ซึ่งจะทำให้เกิดสภาพการหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) ผักผลไม้ก็จะผลิตแอลกอฮอล์ขึ้นมา ทำให้รสชาติของผักผลไม้นั้นด้อยลงไป จนถึงผิดปกติ

2.9.1.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิจะมีผลต่ออัตราการหายใจของผักผลไม้ อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการหายใจของผลไม้สูงขึ้น ดังตารางที่ 2.4 (17)

ตารางที่ 2.4 อัตราการหายใจของผักผลไม้ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน (17)

ชนิด	Milligrams of CO_2/kg/hr			
	$0^{\circ}C$	$4.4^{\circ}C$	$15.6^{\circ}C$	$21.1^{\circ}C$
แอปเปิ้ล	3	4	22	56
พีช	5	8	38	72
สตรอเบอร์รี่	15	27	82	149
มันฝรั่ง	3	6	9	13
คื่นฉ่าย (Celery)	7	11	37	64
ข้าวโพดหวาน	30	43	162	228

ดังนั้นในการบรรจุผักผลไม้ในภาชนะบรรจุจะต้องคำนึงถึงอุณหภูมิในการเก็บรักษา จากการทดลองเก็บถั่วเขียว (Green bean) ซึ่งเป็นผักที่มีอัตราการหายใจสูงไว้ในถุงโพลี-เอทธิลีน (Polyethylene) ในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 5 ระดับ พบว่าบรรยากาศใหม่จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 21.11 °C โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นถึง 20% ภายใน 3 วัน และออกซิเจนจะลดลงเหลือ 1% หรือน้อยกว่า 1% ภายในเวลาเพียง 1 วัน (17) ดังรูปที่ 2.4 (17)



รูปที่ 2.4 ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนภายในถุง-โพลีเอทธิลีนที่ปิดสนิทที่บรรจุถั่วเขียว

2.9.1.3 น้ำหนักของผลไม้ น้ำหนักของผักผลไม้มีผลต่อบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ ตัวอย่างเช่น การเก็บแอปเปิ้ลขนาดเท่า ๆ กัน บรรจุในถาดขนาดเท่า ๆ กัน เป็นจำนวน 5, 10, 15 ผล ตามลำดับ แล้วห่อด้วยพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีนแล้วเก็บที่ 15 °C พบว่าอัตราการเพิ่มของคาร์บอนไดออกไซด์ในถาดค่อนข้างจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนแอปเปิ้ล กล่าวคือ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเป็น 7%, 12% และ 16% ตามลำดับ

2.9.1.4 การระบายอากาศ ภาชนะบรรจุส่วนมากจะมีการเจาะรูเพื่อเป็นการระบายอากาศ การเจาะรูจะสามารถลดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการเก็บรักษาได้ ผักผลไม้บางชนิด เช่น บรอคโคลี (Broccoli) ซึ่งถ้าเก็บในถุงเซลโลเฟน (Cellophane) จะมีลักษณะภายนอกดีกว่าภาชนะบรรจุที่มีการระบายอากาศ แต่พบว่าจะมีกลิ่นและรสชาติที่ด้อยลง และหากเก็บต่อไปอีกก็จะมีกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติจนรับประทานไม่ได้

2.9.2 ความชื้น

การบรรจุผักผลไม้ในภาชนะบรรจุ พบว่าจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุอาจขึ้นถึง 100% ดังนั้นการใช้ภาชนะบรรจุจึงมีประโยชน์มากต่อการป้องกันการสูญเสียน้ำหนักหรือความชื้น โดยเฉพาะในผักที่รับประทานใบ

ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของภาชนะบรรจุและการระบายอากาศ ถ้าหากมีการเจาะรูระบายอากาศมากขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ก็จะลดต่ำลง (9)

2.10 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเก็บรักษาผักผลไม้ในสภาพบรรยากาศดัดแปลง

การเก็บรักษาผักผลไม้ในบรรยากาศดัดแปลงนั้น มีการศึกษาวิจัยกันอย่างมากมายในผักผลไม้หลายชนิด ทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ ดังต่อไปนี้

Geeson และคณะ (19) ได้ทดลองเก็บมะเขือเทศไว้ในภาชนะบรรจุประเภทฟิล์มพลาสติกต่างชนิดกันที่ปิดสนิท ซึ่งมีคุณสมบัติในด้านการซึมผ่านกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์และการซึมผ่านไอน้ำต่าง ๆ กัน เขาพบว่าการเก็บมะเขือเทศไว้ในฟิล์มพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี (Polyvinylchloride) หรือการเก็บไว้ในฟิล์มพลาสติกเค-เรซิน (K-resin) ซึ่งเป็น butadiene-styrene copolymer จะทำให้ได้บรรยากาศใหม่ในภาชนะบรรจุภายใน 3-4 วัน ซึ่งมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 3-9% และออกซิเจนประมาณ 3-9% ที่อุณหภูมิ 10 หรือ 12.5 °C ที่บรรยากาศนี้การสุกของมะเขือเทศจะช้าลง แต่ก็สามารถสุกเป็นปกติหลังจากนำออกมาสู่บรรยากาศ โดยไม่มีผลต่อกลิ่น รส และเนื้อสัมผัสเลย แต่ถ้าเก็บมะเขือเทศไว้ในฟิล์มที่มีอัตราการซึมผ่านของกาซน้อย ๆ เช่น Cellulose acetate พบว่าบรรยากาศภายในจะมีกาซคาร์บอนไดออกไซด์เข้มข้น 10-18% และกาซออกซิเจนน้อยกว่า 2% ภายใต้บรรยากาศนี้ การสุกจะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์ และทำให้เกิดการเน่าเสียของมะเขือเทศมาก การที่มีความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุมาก ก็จะเร่งการเน่าเสียจากเชื้อราได้

สมชาย ภู่ชัย (20) พบว่า การเก็บบรอคโคลี (Broccoli) ไว้ในถุงโพลีเอทธิลีนที่ปิดสนิทและมีกาซคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งต้น 10% ที่อุณหภูมิ 1 °C และ 10 °C จะเก็บบรอคโคลีได้นาน 28 วัน ซึ่งยังคงสภาพสด มีการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์และวิตามินซีน้อย ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งต้นเป็น 20% และ 50% บรอคโคลีจะมีกลิ่นฉุน และมีสีเขียว-คล้ำ เนื่องจากอันตรายจากกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้มข้นเกินไป

สมชาย ภู่ชัย สายชล เกตุษา และ สุรพงษ์ โกสิยะจินดา (21) ได้ทดลองเก็บผักคะน้าในถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีน (Polyethylene) ที่ปิดสนิท ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน คือ 1°, 5°, 10°C และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ พบว่าคะน้าที่เก็บในถุงที่ปิดสนิทที่เก็บที่อุณหภูมิ 1°C จะเก็บได้ดีที่สุด คือเก็บได้นานถึง 25 วัน ส่วนการเก็บที่อุณหภูมิห้อง ทั้งในตะกร้าและในถุงพลาสติกปิดสนิท จะหมดสภาพซื้อขายตั้งแต่ 2-4 วัน

อนุกูล แต้มประเสริฐ (22) ได้ทดลองเก็บมะนาวสดในถุงพลาสติกปิดสนิทและเจาะรู 8, 16, 32 รู ตามลำดับ แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิห้อง และที่ 10°C พบว่าเมื่อเก็บมะนาวได้ 13 สัปดาห์ มะนาวที่เก็บในถุงพลาสติกปิดสนิทที่ 10°C มะนาวยังคงมีลักษณะสด ส่วนการเก็บมะนาวในถุงพลาสติกที่เจาะรูทั้ง 8, 16, 32 รู ตามลำดับ จะมีลักษณะภายนอกไม่แตกต่างกัน คือสีจะมีสีเขียวน้อยกว่าแบบบรรจุในถุงพลาสติกแบบปิดสนิท และมีผิวแห้งกว่าด้วย แม้ว่าการวิจัยนี้จะศึกษาการเก็บมะนาวในถุงพลาสติกก็ตาม แต่ก็มิได้มีการศึกษาวิจัยถึงชนิดและความหนาของพลาสติกที่ใช้ คุณสมบัติของพลาสติก ความเข้มข้นของส่วนประกอบของกาซภายในถุงพลาสติกที่บรรจุมะนาวและอายุการเก็บเกี่ยวของมะนาว

ถนอมนวล พรหมบุญ และ พูนศุข ศรีโยธา (23) ได้ศึกษาถึงเอทธิลีนจากมะนาวในระหว่างเก็บ โดยเก็บมะนาวในถุงโพลีโพรไพลีน (Polypropylene) หนา 0.05 มิลลิเมตร ในกาซผสมของไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน ในอัตราส่วน 73:15:2 โดยปริมาตร พบว่าปริมาณเอทธิลีนเมื่อเก็บในถุงพลาสติกที่มีกาซผสมจะต่ำกว่าในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทภายใต้บรรยากาศปกติ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน ที่อุณหภูมิ 10°C

นอกจากการเก็บผักผลไม้หลาย ๆ ผลในภาชนะบรรจุประเภทฟิล์มพลาสติก ดังกล่าวมาแล้ว ยังมีการห่อผลไม้ผลโดด ๆ ในฟิล์มพลาสติกที่ปิดสนิทอีกด้วย ซึ่งการวิจัยนี้ได้ทำแพร่หลายในผลไม้ตระกูลส้ม (24,25,26) แผ่นฟิล์มที่ใช้คือ High density polyethylene (26) มีการวิจัยพบว่า ถ้าหากใช้ฟิล์มที่มีการระบายอากาศต่ำ จะทำให้น้ำผลไม้มีปริมาณเอทธานอลสูงและมีรสชาติผิดปกติไป (27)

การเก็บผักผลไม้ในภาชนะบรรจุประเภทฟิล์มพลาสติกนั้น จะต้องคำนึงถึงชนิดของฟิล์มที่เหมาะสม หากเลือกฟิล์มที่ไม่เหมาะสม ก็จะทำให้เกิดผลเสียได้ กล่าวคือ ถ้าฟิล์มพลาสติกนั้นมีอัตราซึมผ่านของกาซต่ำ ก็จะก่อให้เกิดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนออกซิเจนก็จะค่อย ๆ หมดไป เมื่อเป็นเช่นนี้ผักผลไม้ก็จะมีการหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic

respiration) ทำให้ได้เอทธานอล ซึ่งทำให้ผักผลไม้มีกลิ่นรสเสียไป (17, 27) ดังนั้นจึงมีนักวิทยาศาสตร์หลายคนพยายามที่จะนำคณิตศาสตร์มาใช้ในการประมาณความเข้มข้นของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะสมดุล เช่น Jurin และ Karel (28) ได้ทำการทดลองกับแอปเปิ้ล แม้ว่าสูตรที่เขาสร้างขึ้นมานั้นสามารถจะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นเกณฑ์ในการเลือกฟิล์มมาใช้ แต่สูตรของเขาก็สร้างขึ้นมาจากสมมุติฐานที่ว่า นับตั้งแต่เริ่มบรรจุแอปเปิ้ลในภาชนะบรรจุ และตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษานั้น อัตราการหายใจของแอปเปิ้ลคงที่และสม่ำเสมอ ต่อมา Hayakawa Henig และ Gilbert (29) ก็ได้พัฒนาสูตรในการประมาณความเข้มข้นของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ Transient และ Steady state แต่อย่างไรก็ตามก็พบว่าค่าความเข้มข้นที่ประมาณได้จากสูตร สามารถประมาณความเข้มข้นของออกซิเจนได้ แต่ความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากสูตร และจากการทดลองจริงมีค่าแตกต่างกันมาก ดังนั้น Deily และ Rizvi (30) จึงได้วิจัยเพื่อสร้างสูตรใหม่ขึ้นมาใน ค.ศ. 1981 ซึ่งเขาเสนอว่า สูตรสมการของเขาจะเป็นประโยชน์ในด้านการทำนายความเข้มข้นของกาซออกซิเจน และคาร์บอน-ไดออกไซด์ ที่ Transient และ Equilibrium state