บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

6.1.1 มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน จะมีอัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 10 °ซ เท่ากับ 9.1, 8.7 และ 6.7 มล. O_2/ชม./กก. หรือเท่ากับ 11.0, 8.1 และ 6.7 มล. CO_2/ชม./กก. ตามลำดับ และจากการเก็บมะนาวในปริมาณเท่า ๆ กัน (ประมาณ 200 กรัม) ในภาชนะบรรจุแก้วปิดสนิท ซึ่งมีปริมาตรภายในประมาณ 2300 มิลลิลิตร แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 10 °ซ พบว่าความเข้มข้นของเอทธิลีนในภาชนะบรรจุจะค่อนข้างต่ำและคงที่ (0.2-0.4 ppm) ในช่วง 4-11 วัน และหลังจากนั้นจะเกิดการสะสมของเอทธิลีนเพิ่มขึ้นเป็น 0.7-0.8 ppm ในช่วง 16-23 วัน พร้อมกับสีผิวของมะนาวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในบางส่วน เนื่องจากเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่ผิวของมะนาวตามธรรมชาติ ซึ่งถูกกระตุ้นได้ด้วยเอทธิลีน ในช่วงต่อมาพบว่า เอทธิลีนภายในภาชนะบรรจุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 1.8-2.2 ppm แต่เปอร์เซ็นต์สีเหลืองที่ผิวของมะนาวมิได้เพิ่มขึ้นมากนัก ขณะเดียวกันพบว่าผิวของมะนาวบางส่วนเกิดสีน้ำตาลขึ้น ซึ่งเกิดจากการที่ภายในภาชนะบรรจุมีออกซิเจนค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 4-5%) ในช่วง 23-30 วัน ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอทธิลีนลดลงได้ เพราะออกซิเจนไม่เพียงแต่จำเป็นในการสร้างเอทธิลีนเท่านั้น ยังจำเป็นในการทำงานของเอทธิลีนอีกด้วย ในขณะที่การสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ จะทำให้เนื้อเยื่อของมะนาวถูกทำลายและเน่าเสียได้

6.1.2 การบรรจุมะนาวในปริมาณ 430 ± 5 กรัม ในถุงพลาสติกชนิด HDPE ความหนา 0.35 มิลลิเมตร ขนาด 9 × 14 นิ้ว จะเหมาะสมในการเก็บรักษามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน โดยจะมีความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุง 8-9%, 9-12 และ 10-14% และมีคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงเป็น 3-5%, 3-4%, และ 2-5% สำหรับเอทธิลีนภายในถุงจะเป็น 0.4-2.4 ppm, 0.4-2.3 ppm และ 0.2-3.2 ppm โดยเมื่อเก็บมะนาวเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มะนาวจะเกิดการเน่าเสีย 23.52, 12.50 และ 0% ตามลำดับ และมี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณเอทธานอลสะสมอยู่ในน้ำมะนาวประมาณ 0.13-0.14% เป็นสาเหตุทำให้มะนาวมีคุณภาพในด้านกลิ่น รส ลดลง และผู้บริโภคมีการยอมรับ 60-75% สำหรับการบรรจุมะนาวในปริมาณ 645± 5 กรัม และ 860 ±5 กรัม จะมีความเข้มข้นของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทธิลีนภายในถุงเป็น 3-7%, 2-11% และ 0.6-7.0 ppm ตามลำดับ มะนาวจึงเกิดการเน่าเสียเร็วเนื่องจากเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนสีผิวเป็นสีเหลืองของมะนาวที่ระดับการบรรจุ 430± 5 กรัม จะเกิดขึ้นเร็วกว่าที่ระดับการบรรจุ 645± 5 กรัม และ 860± 5 กรัม ซึ่งมีเอทธิลีนสะสมภายในถุงสูงกว่าที่ระดับการบรรจุ 430± 5 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับการบรรจุ 645 ±5 กรัม และ 860± 5 กรัม มีออกซิเจนภายในถุงค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอทธิลีนลดลง การเปลี่ยนสีผิวเป็นสีเหลืองของมะนาวจึงเกิดขึ้นช้า

6.1.3 จากข้อ 6.1.1 และ 6.1.2 แสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทธิลีน ในสภาพบรรยากาศการเก็บรักษามะนาวจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะนาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนสีผิวเป็นสีเหลืองของมะนาว เนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และสีเหลืองของคาร์โรทีนอยล์ก็ปรากฏออกมาให้เห็น เอทธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่สามารถเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ให้เกิดเร็วขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของเอทธิลีนยังขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของออกซิเจนในสภาพบรรยากาศการเก็บมะนาว กล่าวคือในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ ประสิทธิภาพการทำงานของเอทธิลีนจะลดลง เนื่องจากการทำงานของเอทธิลีนในการเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในพืชจะเกิดขึ้นในสภาพที่มีออกซิเจนเป็นปกติ โดยออกซิเจนและเอทธิลีนจะเข้าไปจับกับส่วนที่เป็นโลหะของเอนไซม์ (8, 6) ดังนั้นการเก็บมะนาวในภาชนะแก้วปิดสนิทเป็นเวลา 23-30 วันที่อุณหภูมิ 10 °ซ ถึงแม้ว่าเอทธิลีนจะเพิ่มขึ้นถึง 1.8-2.2 ppm แต่สีผิวของมะนาวก็มิได้เปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะภายในภาชนะบรรจุมีออกซิเจนเพียง 4-5% ในขณะที่การเก็บมะนาวในถุงพลาสติกชนิด HDPE ขนาด 9×14 นิ้ว ความหนา 0.35 มิลลิเมตร ในปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม ซึ่งจะให้ระดับความเข้มข้นของออกซิเจน 3-7% มะนาวจึงเปลี่ยนเป็นสีเหลืองช้ากว่าในปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม ที่ให้ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุง 8-14% ถึงแม้ว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม จะเกิดการสะสมของเอทธิลีนภายในถุง 0.6-7.0 ppm ซึ่งมากกว่าที่ระดับการบรรจุ 430±5 กรัม ที่มีเอทธิลีนสะสมในถุง 0.2-3.2

ppm จากผลการทดลองดังกล่าวให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Wild ในปี 1977 และ 1976 (16, 18) ซึ่งพบว่าการเก็บมะนาว (Lemon) ในสภาพที่มีออกซิเจน 5% และ 11% เป็นเวลา 6 เดือน จะมีเอทธิลีนสะสม 300 และ 6 ppm แต่การกระตุ้นให้เกิดการสูญเสียสีเขียวที่ผิวของมะนาวโดยเอทธิลีนในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 5% จะเกิดช้ากว่าในสภาพการเก็บที่มีออกซิเจน 11% นอกจากนั้นจากรายงานของ Craff ในปี 1970 (17) พบว่าการกระตุ้นอัตราการหายใจของมะนาว (Lemon) โดยเอทธิลีนในสภาพที่มีออกซิเจน 5% จะต่ำกว่าในสภาพที่มีออกซิเจน 10% ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้มีผลในการยับยั้งการทำงานของเอทธิลีน

จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นข้อมูลใหม่ที่แสดงบทบาทของเอทธิลีนและออกซิเจนที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีผิวมะนาวโดยเฉพาะมะนาวไทย และเป็นฐานข้อมูลทางวิชาการเพื่อใช้กำหนดระดับร่วมของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทธิลีน ที่เหมาะสมในการเก็บรักษามะนาวสด ซึ่งจะเอื้อประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการเก็บมะนาวสดในรูปแบบอื่นต่อไป

6.1.4 การเก็บมะนาวในถุงพลาสติกชนิด HDPE ความหนา 0.35 มิลลิเมตร ขนาด 9 × 14 นิ้ว ในปริมาณการบรรจุ 430 ± 5 กรัม พร้อมกับดูดกาซเอทธิลีนภายในถุงจะช่วยชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ และการเน่าเสียของมะนาวได้ดีกว่าการดูดกาซเอทธิลีนพร้อมกับคาร์บอนไดออกไซด์ และการดูดกาซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว พบว่าเมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ มะนาวจะไม่เกิดการเน่าเสียขึ้นเลย และเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานาน 16 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 6 เดือน จะเกิดการเน่าเสียถึงประมาณ 85-90% ในขณะที่มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน ยังคงมีการเน่าเสียเพียง 0-4% และมีเอทธานอลสะสมอยู่ในน้ำมะนาวประมาณ 0.15%

6.1.5 การเก็บมะนาวในสภาพบรรยากาศดัดแปลง โดยการเก็บในถุงพลาสติกชนิด HDPE ความหนา 0.35 มิลลิเมตร ขนาด 9 × 14 นิ้ว ควรเลือกมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน และบรรจุในปริมาณ 430 ± 5 กรัม พร้อมกับดูดกาซเอทธิลีนภายในถุงด้วยโปตัสเซียมเปอร์-มังกาเนตดูดซับบนอลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งจะทำให้บรรยากาศภายในถุงมีออกซิเจน 9-12% คาร์บอนไดออกไซด์ 3-4% และ เอทธิลีน 0-1 ppm จะสามารถเก็บได้นานถึง 16 สัปดาห์ โดยที่มะนาวมีการเน่าเสียเพียง 0-4%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2 ข้อเสนอแนะ

การเก็บมะนาวในสภาพบรรยากาศดัดแปลงโดยการเก็บในถุงพลาสติกชนิด HDPE นี้เป็นวิธีที่ให้ผลดี กล่าวคือ การเก็บมะนาวในถุงพลาสติกชนิด HDPE ความหนา 0.35 มิลลิเมตร ขนาด 9 × 14 นิ้ว ในปริมาณการบรรจุ 430 ± 5 กรัม แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 10 °ซ จะให้บรรยากาศภายในถุงที่มีออกซิเจน 9-14% และคาร์บอนไดออกไซด์ 3-5% ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมในการเก็บมะนาว และจากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาก็พบว่า บรรยากาศที่มีออกซิเจน 10% และคาร์บอนไดออกไซด์ 5% เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษามะนาว (4) นอกจากนั้นการดูดกาซเอทธิลีนภายในถุงบรรจุมะนาวจะช่วยชะลอการเปลี่ยนสีผิวเป็นสีเหลืองและการเน่าเสียของมะนาวลงได้ การเก็บมะนาวโดยวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษามะนาวด้วยวิธีนี้ ปัญหาอันหนึ่งที่สำคัญคือการเน่าเสียของมะนาวผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการติดเชื้อ ซึ่งอาจเกิดจากมะนาวมีการติดเชื้อที่ดอกและยังคงอยู่ภายในผลขณะอยู่บนต้น จึงเป็นสาเหตุทำให้มะนาวผลอื่นที่อยู่ในถุงเกิดการติดเชื้อจากผลต่อผล ปัญหาการเน่าเสียเนื่องจากการติดเชื้อจากผลต่อผลนี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกันกับการเก็บผลไม้ตระกูลส้มในถุงพลาสติกเช่นกัน (29) ดังนั้นการแก้ไขปัญหานี้ ประการแรกอาจทำได้โดยการลดจำนวนผลต่อถุง หรือบรรจุเพียงผลเดียวต่อถุงที่เรียกว่า Individual seal packaging ซึ่งเป็นเทคนิคที่กำลังได้รับความสนใจในหลายประเทศ อาทิ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น เพราะนอกจากจะลดการเน่าเสียเนื่องจากการติดเชื้อจากผลต่อผลแล้วยังสามารถยืดอายุการเก็บผลไม้ได้นานกว่า (29) อีกประการหนึ่งคือ การคัดเลือกมะนาวที่มีคุณภาพดี กล่าวคือ มะนาวที่จะนำมาเก็บรักษาควรเลือกมะนาวที่ได้รับการติดเชื้อน้อยหรือไม่เกิดการติดเชื้อ โดยจะต้องได้รับความร่วมมือจากเกษตรกรในการดูแลเอาใจใส่ต่อมะนาวในขณะออกดอกและติดผล ควรป้องกันมิให้มะนาวเกิดการติดเชื้อซึ่งอาจทำได้โดยการฉีดพ่นยาในขณะมะนาวออกดอก เป็นต้น ด้วยวิธีการดังกล่าวก็จะช่วยลดปัญหาการเน่าเสียจากการติดเชื้อจากผลต่อผลของมะนาวลงได้

ด้วยข้อคิดสืบเนื่องจากผลงานวิจัยทั้งหมดนี้ จะได้มีส่วนร่วมในการให้ประโยชน์ทั้งด้านข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับผลมะนาวไทยซึ่งมีแนวโน้มสำหรับการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับประเทศ และข้อมูลที่สำคัญที่จะก่อประโยชน์ต่อเกษตรกรที่จะปลูกมะนาวสำหรับอุตสาหกรรมการเก็บมะนาวสดให้มีฐานะทางเศรษฐกิจดีขึ้นอยู่ในลักษณะที่พึ่งตนเองได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย