บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลอง

7.1.1 อัตราการหายใจ

เมื่อทำการศึกษาอัตราการหายใจของมะนาวที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 °ซ พบว่าภายในขวดวัดอัตราการหายใจ ระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลง และระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเอทธิลีนเพิ่มขึ้น โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีอัตราการหายใจ และการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งการสร้างก๊าซเอทธิลีนมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ

7.1.2 สมบัติของฟิล์มพลาสติก

ฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนมากที่สุด (120,000 มล./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ) รองลงมาคือฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE (72,000 มล./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ) และฟิล์มพลาสติกชนิด PVC (36,000 มล./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ) ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันกับอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากจนเกินความสามารถของเครื่องมือที่จะวัดได้ ส่วนฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (97,000 มล./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38°ซ) ต่ำกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE สำหรับอัตราการซึมผ่านของไอน้ำนั้น ฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมากที่สุด (48 ก./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 %) รองลงมาคือฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (20 ก./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 %) และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE (19 ก./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 %) ตามลำดับ

7.1.3 ผลของอายุการเก็บเกี่ยว ชนิดของฟิล์มพลาสติก และอายุการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลมะนาว

7.1.3.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเอทธิลีน

ตัวอย่างควบคุมมีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาแสดงว่าตัวอย่างควบคุมมีการหายใจลดลง เนื่องจากตัวอย่างควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูง และมีลักษณะแห้ง จนทำให้สมดุลย์ของระบบเปลี่ยนแปลงไปจนไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือมีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC สูงกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE แสดงว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE สามารถลดอัตราการหายใจของผลมะนาวได้ดีกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด PVC

7.1.3.2 เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลมะนาว

ตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นมะนาวที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกมีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียสูงจากการสูญเสียน้ำมากจนผิวของมะนาวแห้งและแข็ง ขนาดผลเล็กลง และเสียรูปร่างไป โดยเริ่มแสดงอาการตั้งแต่หลังการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ จนถึง 8 สัปดาห์เล้วจึงเน่าเสียหมด สำหรับมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกนั้นพบว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียสูงสุดจากเชื้อราหลังการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน นั้นมีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาการเก็บรักษา 10 - 16 สัปดาห์ โดยมีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียที่ 16 สัปดาห์อยู่ระหว่าง 29.14 - 33.14 %

7.1.3.3 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว

มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 6 เดือนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน แสดงว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 6 เดือน มีการคายน้ำมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน เนื่องจากมะนาวที่มี

อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน มีชั้วผลที่หลุดร่วงง่าย ดังนั้นจึงเกิดการคายน้ำได้มาก ตัวอย่างควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงสุดโดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักหลังการเก็บรักษา 8 สัปดาห์เป็น 35.27, 22.49 และ 31.37 ตามลำดับ หลังจากนั้นเกิดการเน่าเสียหมด สำหรับมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติของฟิล์มพลาสติกในด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ คือ ฟิล์มพลาสติกชนิด PVC ฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเป็น 48, 20 และ 19 ก./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % ตามลำดับ

7.1.3.4 เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาว

มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาวต่ำกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน แต่เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาวไม่เปลี่ยนแปลงตามชนิดของฟิล์มพลาสติกและระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากน้ำหนักของผลมะนาวที่ลดลงคือปริมาณน้ำมะนาวที่ลดลง

7.1.3.5 คะแนนสีผิวของมะนาว

คะแนนสีผิวของมะนาวลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ตัวอย่างควบคุมมีคะแนนสีผิวลดลงมากกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติก และมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนมีคะแนนสีผิวลดลงช้ากว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 6 เดือน

7.1.3.6 ปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาว

ปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนลดลงมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ เนื่องจากมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.1.3.7 ปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาว

ปริมาณวิตามินซีลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีปริมาณวิตามินซีลดลงน้อยกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 5 เดือน ปริมาณวิตามินซีลดลงจากปฏิกิริยาการออกซิไดซ์โดยเอนไซม์ที่มีอยู่ในผลมะนาว และจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์ (nonenzymatic reactions) 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาออกซิไดซ์ (oxidative reaction) และปฏิกิริยาที่ไม่เกิดการออกซิไดซ์ (nonoxidative reaction) ซึ่งปฏิกิริยาที่ไม่เกิดการออกซิไดซ์เกิดรวดเร็วขึ้นที่ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ต่ำ

7.1.3.8 ความเป็นกรดด่างของน้ำมะนาว

ความเป็นกรดด่างของน้ำมะนาวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา สอดคล้องกับปริมาณกรดซิตริกและปริมาณวิตามินซีที่ลดลง โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีความเป็นกรดด่างสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน

7.1.3.9 ปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาว

ปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวซึ่งเป็นผลมาจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น โดยมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวสูงกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE สอดคล้องกับสมบัติของฟิล์มพลาสติกในด้านอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของฟิล์มพลาสติกชนิด PVC ซึ่งต่ำกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ตามลำดับ

7.1.3.10 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาว

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาว มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน มะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงมากกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด PVC ตามลำดับ สอดคล้องกับปริมาณกรดซิตริกที่ลดลง เนื่องจากถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการหายใจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.1.3.11 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างควบคุมมีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีผิว กลิ่นรส และการยอมรับรวมของตัวอย่างควบคุมต่ำกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติก

มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความเปรี้ยวต่ำกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน เนื่องจากมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีปริมาณกรดซิตริกต่ำกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน นอกจากนี้น้ำมะนาวที่คั้นได้จากมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีรสขมมากซึ่งมีผลต่อการยอมรับรวม

มะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสต่ำกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE สอดคล้องกับปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวซึ่งปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดกลิ่นรสเปลกปลอม (off-flavor) ในลักษณะกลิ่นรสหมักดองขึ้นในน้ำมะนาว

จากผลการทดลองการเก็บรักษาผลมะนาวสดโดยการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกสรุปได้ว่า อายุการเก็บเกี่ยวของมะนาวที่เหมาะสมในการเก็บรักษาคือมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์น้ำมะนาวสูงและน้ำมะนาวที่คั้นได้ไม่มีรสขม และฟิล์มพลาสติกที่เหมาะสมคือฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ซึ่งสามารถลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวได้มากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด PVC และการไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติก โดยเกิดกลิ่นรสเปลกปลอมจากเอทธานอล เนื่องจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ต่ำกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC และไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติก โดยการเก็บรักษาผลมะนาวไว้ที่อุณหภูมิ 10±2 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 % สามารถเก็บรักษาได้นาน 16 สัปดาห์ ซึ่งนานเพียงพอในการเก็บรักษามะนาวสดไว้ใช้ในช่วงขาดแคลน คือระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เห็นได้ว่าการเก็บรักษาผลมะนาวสดโดยการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกนั้นเป็นวิธีการเก็บรักษาผลมะนาวให้คงคุณภาพที่ดีไว้ได้ แต่มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียสูง ดังนั้นจึงควรมีการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น 2,4-D(2,4-dichlorophenoxyacetic acid) ร่วมกับยาฆ่าเชื้อรา เพื่อชะลอการหลุดร่วงของขั้วผล ซึ่งจะชะลอการเกิดการเน่าเสียจาก stem-end rot จากเชื้อ *Alternaria* (Eckert, Sievert and Ratnayake, 1984; Sharkey, Little and Thornton, 1985) รวมทั้งการรักษาความสะอาดของห้องเย็นที่ใช้เก็บรักษาซึ่งมีความสำคัญในการเก็บรักษาผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว (สายชล เกตุษา, 2528)

นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่า ตามปกติแล้วชาวสวนจะเก็บเกี่ยวผลมะนาวโดยการปลิดผลมะนาวจากกิ่ง ซึ่งวิธีการเก็บเกี่ยวนี้จะทำให้ขั้วผลหลุดจากผลมะนาวได้ง่ายโดยเฉพาะมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการเก็บรักษามะนาวจึงควรมีการพัฒนาเครื่องมือสำหรับใช้ในการเก็บเกี่ยวผลมะนาวให้สามารถตัดขั้วผลมะนาว และเก็บผลมะนาวได้สะดวก เนื่องจากลักษณะต้นมะนาวมีหนามแหลมและหนาแน่นไม่สะดวกในการใช้กรรไกรตัดกิ่งตัดและอาจทำให้ผลมะนาวตกกระทบพื้นอันจะมีผลให้การหายใจของผลมะนาวเพิ่มขึ้น (สายชล เกตุษา, 2528)

การเก็บรักษาผลมะนาวสดโดยการบรรจุแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกนี้อาจนำมาพัฒนาใช้กับผักผลไม้ชนิดอื่น ๆ ได้ เช่น การเก็บรักษาพริกหวาน (bell pepper) (Ben-Yehoshua, Shapiro, Chen and Lurie, 1983) ส้มเขียวหวาน (tangerine) รวมทั้งผลไม้ประเภท non-climacteric อื่น ๆ

จากสมบัติของฟิล์มพลาสติกจะพบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีข้อเสียคือมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนต่ำและมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูง ส่วนฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE มีข้อดีคืออัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงและมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ แต่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ซึ่งถ้าสามารถปรับปรุงให้ได้ฟิล์มพลาสติกที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำต่ำ แต่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงจะทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวสดได้ โดยผลมะนาวมีอัตราการหายใจและการสูญเสียน้ำหนักต่ำ แต่ไม่เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้น

มีงานวิจัยเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ที่ใช้หลาย ๆ ชนิด เช่น พลาสติกชนิด polyolefins พลาสติกชนิด polyethylene หลายชนิด รวมทั้งชนิด HDPE และ LDPE รวมไปถึงพลาสติกชนิด polypropylene ด้วย การใช้พลาสติกหลายชนิดร่วมกัน (co-polymer)จะให้ผลดีกว่าการ

ใช้พลาสติกเพียงชนิดเดียว นอกจากนั้นการใช้ multiple films co-extruded ให้เป็นฟิล์มแผ่นเดียวจะให้ผลดียิ่งขึ้น คือจะทำให้ปิดผนึกได้สนิทและมีลักษณะปรากฏที่ดึงดูดใจ อย่างไรก็ตามการดึงยืดฟิล์ม (stretching film) ให้แนบสนิทกับผลไม้จะมีประสิทธิภาพในการใช้งานดีกว่าฟิล์มชนิดหดรัดตัว (shrinkable film) และการที่สามารถลดความหนาของฟิล์มพลาสติกในการผลิตฟิล์มพลาสติกได้จะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงได้ (Ben-Yehoshua, 1985)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย