บทที่ 6

วิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 อัตราการหายใจ

จากผลการทดลองข้อ 5.1 วัดอัตราการหายใจของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน ในขวดปิดสนิท ที่อุณหภูมิ 10 °ซ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 จากรูปที่ 5.1 แสดงระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลง และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างค่อนข้างคงที่ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สร้างขึ้นภายในขวดวัดอัตราการหายใจเกิดการสะสมเพิ่มขึ้นทุกวัน แสดงว่าผลมะนาวมีการใช้ก๊าซออกซิเจน และสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราคงที่ โดยมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0.30 - 5.11 % ทั้งนี้อธิบายได้ว่าเนื่องจากมะนาวเป็นผลไม้พวก non-climacteric ดังนั้นในช่วงภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจ เป็นผลให้ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบมากนักซึ่งเป็นข้อดีที่ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษา (สายชล เกตุษา, 2528; Ting and Attaway, 1980) เมื่อพิจารณาจากอายุการเก็บเกี่ยวพบว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 5 เดือน มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นรวดเร็วในช่วง 2 วันแรก และจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นลดลง มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 และวันที่ 11 จนมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 5.11% ในวันที่ 15 ส่วนความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 17.66 - 21.74 % โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลงมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน แสดงว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น และอัตราการหายใจดังแสดงในตารางที่ 5.1

จากรูปที่ 5.2 การสร้างเอทธิลีนของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 10 °ซ พบว่าความเข้มข้นของก๊าซเอทธิลีนอยู่ในช่วง 0-0.69 ppm โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีการสร้างก๊าซเอทธิลีนมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือนตามลำดับดังจะเห็นได้ในวันที่ 18 โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีการสร้างเอทธิลีนมากในช่วง 2 วันแรกและลดลงในวันที่ 3 ถึงวันที่ 8 แล้วเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งในวันที่ 10 จนถึงค่าสูงสุดที่ 0.69 ppm ในวันที่ 17 และ 19 หลังจากนั้นจึงลดลงอย่างค่อนข้างคงที่ ซึ่งแนวโน้มการสร้างเอทธิลีนในมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนสอดคล้องกับอัตราการหายใจ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน พบว่ามีการสร้างเอทธิลีนเพิ่มขึ้นในวันที่ 3 และคงที่จนถึงวันที่ 10 จึงลดลง และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 15 จนถึงค่าสูงสุด 0.58 ppm ในวันที่ 19 หลังจากนั้นจึงลดลงจนถึงวันที่ 25 จึงเริ่มคงที่ที่ 0.29 ppm และมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน มีการสร้างเอทธิลีนเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 3 แล้วคงที่ประมาณ 0.2 ppm จนถึงวันที่ 10 จึงลดลง หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 15 แล้วจะค่อนข้างคงที่ที่ประมาณ 0.25-0.27 ppm

6.2 <u>สมบัติของฟิล์มพลาสติก</u>

จากผลการทดลองข้อ 5.2 ดังตารางที่ 5.2 พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด 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 ส่วนอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากจนเกินความสามารถของเครื่องมือที่จะวัดได้ ส่วนฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 97,000 มล./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ ซึ่งต่ำกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE สำหรับอัตราการซึมผ่านของไอน้ำพบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด 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 โดยฟิล์มพลาสติกชนิด PVC,

LLDPE และ HDPE มีความหนาเท่ากับ 6.9, 7.6 และ 7.3 ไมครอน ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด PVC และมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด PVC ซึ่งสอดคล้องกับ Briston (1983)ที่รายงานสมบัติของฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ ที่มีความหนา 25 ไมครอน ดังนี้คือ ฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนมากที่สุด (6,500-8,500 มล./ตร.ม./วัน) รองลงมาคือฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE (1,600-2,000 มล./ตร.ม./วัน)และฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด (30,000-40,000 มล./ตร.ม./วัน) รองลงมาคือฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE (8,000-10,000 มล./ตร.ม./วัน) โดยฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมาก ส่วนอัตราการซึมผ่านของไอน้ำนั้น ฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมากที่สุด (15-40 ก./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 %) รองลงมาคือฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE (15-20 ก./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 %) และฟิล์มพลาสติก HDPE (5 ก./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 %) สมบัติของฟิล์มพลาสติกที่พิจารณานำมาใช้ในการเก็บรักษาผลมะนาวสด คือฟิล์มพลาสติกที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง เพื่อให้มีก๊าซออกซิเจนเพียงพอเป็นการป้องกันไม่ให้ผลมะนาวเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) ซึ่งจะทำให้ได้เอทธานอลซึ่งเป็นผลเสียต่อคุณภาพของผลมะนาว และฟิล์มพลาสติกที่นำมาใช้ควรเป็นฟิล์มพลาสติกที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ เนื่องจากการลดการคายน้ำ (transpiration) ของผลไม้ตระกูลส้มจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ การสูญเสียน้ำจากการคายน้ำนั้นนอกจากจะทำให้ผลเหี่ยว และเกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อแล้วยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลย์ของฮอร์โมนซึ่งจะทำให้เกิดการเน่าเสียได้รวดเร็วขึ้น การลดการคายน้ำอาจทำได้โดยการเคลือบขี้ผึ้ง (wax) แต่ก็เป็นวิธีที่ลดการคายน้ำได้น้อยมากนักทั้งยังเป็นตัวขัดขวางการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลทำให้เกิดสารพวกแอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ และกลิ่นรสเปลกปลอม (off-flavor) ต่าง ๆ (Ben-Yehoshua, 1969, 1985) นอกจากนี้อัตราการซึมผ่านของก๊าซยังขึ้นกับความหนาของฟิล์มพลาสติกด้วย กล่าวคือฟิล์มพลาสติกที่บางจะมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซสูงกว่า ดังนั้นจากสมบัติของฟิล์มพลาสติกข้างต้นจึงสรุปได้ว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE มีศักยภาพที่จะใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวสดให้ได้คุณภาพที่ดีมากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด PVC

6.3 ผลของอายุการเก็บเกี่ยว ชนิดของฟิล์มพลาสติก และอายุการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลมะนาว

6.3.1 ผลของอายุการเก็บเกี่ยว ชนิดของฟิล์มพลาสติก และอายุการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลมะนาวที่อายุการเก็บรักษา 0-8 สัปดาห์

จากผลการทดลองข้อ 5.3.1 ในการเก็บรักษามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือนในฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 10 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 %

6.3.1.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเอทธิลีน

จากการวัดการหายใจของผลมะนาวโดยการวัดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเอทธิลีน ดัดแปลงจากวิธีของ Cohen และคณะ (1990) ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ถึง 5.5 ตามลำดับ และตารางที่ 5.6 ถึง 5.10 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของก๊าซ พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 19.10-21.63 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0.12-1.20 % และก๊าซเอทธิลีนอยู่ในช่วง 0-0.44 ppm โดยอิทธิพลร่วมของอายุการเก็บรักษาและอายุการเก็บเกี่ยว และอิทธิพลร่วมของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกมีผลต่อความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และอิทธิพลร่วมของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติก และอิทธิพลร่วมของอายุการเก็บเกี่ยวและชนิดของฟิล์มพลาสติกมีผลต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นผลมะนาวที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกที่อายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน มีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงว่าตัวอย่างควบคุมมีการหายใจลดลง เนื่องจากผลมะนาวมีการสูญเสียน้ำอย่างมากจากการคายน้ำของมะนาวจนทำให้สมดุลย์ของระบบเปลี่ยนแปลงไปจนไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ส่วนมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกยังคงมีการหายใจและการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามปกติ สำหรับการสร้างเอทธิลีนพบว่าตัวอย่างควบคุมมีการสร้างเอทธิลีนค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 2 ในมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน และในสัปดาห์ที่ 4 ในมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอัตราการหายใจในการสร้างเอทธิลีนในข้อ 6.1 ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ

Ben-Yehoshua, Shapiro, Chen และ Lurie (1983) ซึ่งพบว่าการสร้างและปริมาณก๊าซภายในผลจะค่อนข้างต่ำและแปรมาก แต่สรุปได้ว่าการแยกบรรจุมะนาวฝรั่งในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ไม่มีผลต่อการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์หรือเอทธิลีน หรือปริมาณก๊าซภายในผลโดยมีความเข้มข้นของก๊าซเอทธิลีน 0.14 µl/l และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.53-0.73 % แต่ขัดแย้งกับ Cohen และคณะ (1990) ซึ่งทำการศึกษาในมะนาวฝรั่งพันธุ์ Eureka พบว่ามะนาวฝรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE มีการหายใจหรือสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นมะนาวฝรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติก แต่มีการสร้างเอทธิลีนสูงกว่าตัวอย่างควบคุม สาเหตุที่ผลการทดลองที่ได้แตกต่างกันอาจเนื่องจากลักษณะของผลมะนาว (lime) มีผิวบางและมีขนาดผลเล็กกว่าจึงสูญเสียน้ำได้ง่ายกว่า และเกิดการเปลี่ยนแปลงได้มากกว่ามะนาวฝรั่ง แม้ว่ามะนาวและมะนาวฝรั่งจะจัดอยู่ในผลในตระกูลส้มเช่นเดียวกันก็ตาม

เมื่อพิจารณาจากอายุการเก็บเกี่ยวพบว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการศึกษาอัตราการหายใจในข้อ 6.1

6.3.1.2 เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลมะนาว

จากตารางที่ 5.11 แสดงเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลมะนาว พบว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียสูงสุดคือ 41.71-62.86 % ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ และเกิดการเน่าเสียหมดเนื่องจากเชื้อราหลังการเก็บรักษานานกว่า 8 สัปดาห์ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียน้อยมากคือ 0-1.14 % ยกเว้นมะนาวที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติก (ตัวอย่างควบคุม)มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียสูงกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกคือ 52.14 และ 53.47% ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ โดยผิวของตัวอย่างควบคุมเกิดเป็นจุดสีน้ำตาลและขยายตัวเป็นสีน้ำตาลทั่วทั้งผล ผิวของมะนาวแห้งและแข็ง ขนาดผลเล็กลง ลักษณะภายในเป็นสีคล้ำและเกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ เนื่องจากตัวอย่างควบคุมมีการคายน้ำมากในรูปของไอน้ำ โดยการแพร่ออกทางช่องเปิดต่าง ๆ (อนวัช สุวรรณกุล, 2529) ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน ที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC และ LLDPE มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสีย 1.14% ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Ben-Yehoshua, Apelbaum และ Cohen (1981) ที่รายงานว่าการบรรจุผลมะนาวฝรั่งแยกแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ให้

ผลดีกว่าการบรรจุลงในกล่องโดยตรง และ Eckert, Sievert และ Ratnayake (1984) ที่พบว่าการบรรจุผลมะนาวฝรั่งแยกแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกสามารถลดการเน่าเสียได้มาก โดยมะนาวฝรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติก เกิดการเน่าเสียจาก Stem-end-rot ถึง 72% ในขณะที่มะนาวฝรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติก (polyolefin film) มีการเน่าเสียจากเชื้อ *Alternaria* เท่ากับ 56%

6.3.1.3 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว

จากตารางที่ 5.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน พบว่าตัวอย่างควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงสุดคือ 35.27, 22.49 และ 31.37 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ซึ่งทำให้ผลมะนาวมีลักษณะแห้ง ผิวมะนาวยุบตัวเป็นรอยบุ๋มและผิวเป็นสีน้ำตาล ความหนาของเปลือกคือส่วนของ albedo และ flavedo ลดลง เนื่องจากตัวอย่างควบคุมมีการคายน้ำมาก (อนวัช สุวรรณกุล, 2529) สำหรับมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์เป็น 12.83, 9.71 และ 14.90 % ตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มมากกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (14.04, 7.00 และ 13.15 %) และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE (16.98, 4.64 และ 10.72 %)โดยมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีความอ่อนตัวของผิวและไม่เต่งตึง เหมือนมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักใกล้เคียงกัน ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับสมบัติของฟิล์มพลาสติกในด้านอัตราการซึมผ่านของไอน้ำคือ ฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงสุด (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 และมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 6 เดือน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 6 เดือน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงสอดคล้องกับอัตราการหายใจที่สูงซึ่งทำให้มีการคายน้ำสูงด้วย และมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน มีการสูญเสียน้ำจากบริเวณขั้วผลซึ่งหลุดออกได้ง่ายกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน (สายชล เกตุษา, 2528)

การสูญเสียน้ำหนักและความคงตัวนั้นมีสาเหตุหลักจากการคายน้ำของมะนาวซึ่งทำให้ปริมาณน้ำมะนาวในแต่ละผลลดลงอีกด้วย การเก็บรักษาผลมะนาวในฟิล์มพลาสติกที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำคือฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และ HDPE สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้มากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด PVC และการไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติก

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของนักวิจัยอื่น ๆ กล่าวคือ Cohen และคณะ(1990) พบว่าการแยกบรรจุมะนาวฝรั่ง (lemon) แต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้อย่างมาก โดยมะนาวฝรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ามะนาวฝรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ถึง 10 เท่า หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 °ซ เป็นเวลา 6 เดือน

Eckert, Sievert และ Ratnayake (1984) พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของมะนาวฝรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด polyolefin (D-950) หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 % เป็นเวลา 115 วันเท่ากับ 5 % ในขณะที่มะนาวฝรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกมีการสูญเสียน้ำหนัก 28 %

Ben-Yehoshua, Shapiro, Chen และ Lurie (1983) ซึ่งพบว่าการแยกบรรจุมะนาวฝรั่งแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักและรักษาความคงตัวไว้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยมะนาวฝรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ามะนาวฝรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ถึง 10 เท่า ที่อุณหภูมิ 14 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85% หลังการเก็บรักษานาน 9 เดือน

Ben-Yehoshua, Kobiler และ Shapiro (1979) พบว่าการแยกบรรจุมะนาวฝรั่งแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % นาน 2 สัปดาห์ มีการสูญเสียน้ำหนัก 1.3 % เปรียบเทียบกับมะนาวฝรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกที่เก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % มีการสูญเสียน้ำหนัก 7.3 % อาจเนื่องจากเกิดบรรยากาศอิ่มตัว และไม่มีการถ่ายเทอากาศภายในภาชนะบรรจุ

นอกจากนี้ Passam และ Blunden (1982) พบว่าการบรรจุมะนาวพันธุ์ West Indian ในถุงพลาสติกชนิด polyethylene สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้มาก โดยมีการสูญเสียน้ำหนัก 2% หลังการเก็บรักษา 16 วัน เทียบกับมะนาวที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกมีการสูญเสียน้ำหนัก 11.2% หลังการเก็บรักษา 9 วัน

6.3.1.4 เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.13 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาวพบว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาวต่ำกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน จะเห็นได้จากภายในถุงน้ำ (juice sacs) มีปริมาณน้ำมะนาวอยู่น้อยกว่า โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือนมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาว 30.21-50.04%, 49.46-64.19% และ 53.30-63.75% ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาจากชนิดของฟิล์มพลาสติกที่ใช้และระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาวไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาวคิดเทียบจากน้ำมะนาวที่คั้นได้ต่อน้ำหนักของผลมะนาว ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจะเห็นได้ว่าน้ำหนักของผลมะนาวที่ลดลงคือปริมาณน้ำมะนาวที่ลดลง

ผลการทดลองที่ได้ใกล้เคียงกับ Cohen และคณะ (1990) ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาวฝรั่งมีการเพิ่มขึ้นในช่วง 3 เดือนแรก หลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ในมะนาวฝรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE แต่ในมะนาวฝรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกจะเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 4 และลดลง และเมื่อเก็บรักษานานถึง 6 เดือนจะไม่มีความแตกต่างกันในทั้งสองวิธี

นอกจากนี้ Passam และ Blunden (1982) รายงานว่าอัตราส่วนปริมาณน้ำมะนาว (มิลลิลิตร) ต่อกรัมของผลสดของมะนาวพันธุ์ West Indian อยู่ในช่วง 0.46 ถึง 0.53

6.3.1.5 คะแนนสีผิวของมะนาว

จากตารางที่ 5.14 แสดงคะแนนสีผิวของมะนาว พบว่าคะแนนสีผิวของมะนาวลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมะนาวจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ตัวอย่างควบคุมจะมีคะแนนสีผิวลดลงมากกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกโดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ คะแนนสีผิวของตัวอย่างควบคุมในมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน เท่ากับ 1.0, 1.2 และ 1.0 ตามลำดับ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนมีการเปลี่ยนสีผิวช้ากว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 6 เดือน โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีคะแนนสีผิวเป็น 2.8, 3.2 และ 2.2 ตามลำดับ ขณะที่มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีคะแนนสีผิวเป็น 2.3, 1.5 และ 2.6 ตามลำดับ และมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีคะแนนสีผิวเป็น 2.3, 1.3 และ 2.2 ตาม

ลาดับ

คะแนนสีผิวที่ลดลงแสดงถึงการสลายตัวของคลอโรฟิลล์โดยในมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลที่ผิวกระจายเป็นบริเวณกว้างซึ่งบริเวณนั้นเป็นบริเวณที่เกิดการเน่าเสียในที่สุด ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้มีเบอร์เซ็นต์สีเหลืองที่ผิวมากขึ้นในอัตราที่รวดเร็วกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน (Ting and Attaway, 1980)

เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน การสังเคราะห์เอทธิลีนจะหยุดเนื่องจากบางช่วงของการสังเคราะห์เอทธิลีนต้องการก๊าซออกซิเจน แต่จะเพิ่มขึ้นรวดเร็วเมื่อกลับไปอยู่ในอากาศ อาจเนื่องจากสภาวะการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำให้เกิดการสะสมของสารตั้งต้นในการสร้างเอทธิลีน ซึ่งก็คือ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) นอกจากนี้ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ อาจยับยั้งการทำงานของเอทธิลีนโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะขัดขวางการจับ metal-containing receptor ของเอทธิลีนในลักษณะแข่งขัน (competitive inhibitor) (Wang, 1990)

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของนักวิจัยอื่น ๆ กล่าวคือ Ben-Yehoshua, Kobiler และ Shapiro (1979) ที่พบว่าการบรรจุมะนาวฝรั่งแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE สามารถชะลอการเกิดสีที่ไม่ต้องการได้ โดยมะนาวฝรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกทั้งหมดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองน้ำตาลภายในเวลา 2-6 เดือน ที่อุณหภูมิ 14 °ซ ขณะที่มะนาวฝรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ยังคงมีสีเหลืองที่ระยะเวลาการเก็บรักษานาน 10 เดือน ที่อุณหภูมิ 14 °ซ

Passam และ Blunder (1982) ศึกษาในมะนาว (lime) พันธุ์ West Indian พบว่าสีเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองมากกว่า 50 % ของพื้นที่ผิวทั้งหมดภายใน 3 วัน และภายในวันที่ 13 ตัวอย่างควบคุมทั้งหมดมีสีเหลืองมากกว่า 75 % ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ส่วนผลมะนาวที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด polyethylene มีอัตราการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองน้อยกว่า

ส่วน Cohen และคณะ (1990)พบว่าสีของมะนาวฝรั่งเมื่อเก็บเกี่ยวเป็นสีเขียวอ่อนถึงสีเขียวเข้ม โดยมีค่า "a" อยู่ในช่วง -15 และทั้งมะนาวฝรั่งที่บรรจุและไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหลังการเก็บรักษานาน 2 เดือน ที่อุณหภูมิ 13 °ซ กับอีก 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 17 °ซ มะนาวฝรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกมีความแปรปรวนในการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่ามะนาวฝรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกอย่างไม่มีนัยสำคัญ หลังจากการเก็บรักษา 6 เดือนที่อุณหภูมิ 13 °ซ กับอีก 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 17 °ซ พบว่ามะนาวฝรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์ม

พลาสติกมีค่า "a" อยู่ในช่วง 1.6-2.9 ในขณะที่มะนาวฝรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE มีค่า"a" อยู่ในช่วง 0.7-2.9

6.3.1.6 ปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.15 แสดงปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาว พบว่า ปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนจะลดลงมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือนคือที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน ที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวเป็น 6.63, 5.96, 5.41 และ 6.10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ขณะที่มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน เป็น 7.70, 6.39, 6.91 และ 6.51 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ และมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนเป็น 8.15, 7.52, 7.39 และ 7.43 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวลดลงเนื่องจากกรดซิตริกในน้ำมะนาวถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจโดยผ่านทางวัฏจักรเครบ ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน (สายชล เกตุษา, 2528; Ting and Attaway, 1980) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับอัตราการหายใจของมะนาว คือมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ ดังนั้นมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน จึงใช้กรดซิตริกในกระบวนการหายใจมากกว่า และทำให้มีปริมาณกรดซิตริกลดลงมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างควบคุมมีปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวสูงกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติก แม้ว่าตัวอย่างควบคุมมีอัตราการหายใจลดลง เนื่องจากตัวอย่างควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่าจึงทำให้ความเข้มข้นของกรดซิตริกในน้ำมะนาวสูงขึ้น

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Cohen และคณะ (1990) ที่พบว่าความเป็นกรดของมะนาวฝรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้นานขึ้น และเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดหลังจากการเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน 5 เดือนรวมกับ shelf life ส่วนในมะนาวฝรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นในช่วง 2 เดือนแรก หลังจากนั้นจึงลดลงจนต่ำกว่าค่าเมื่อเก็บเกี่ยวหลังการเก็บรักษานาน 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 13 °ซ และอีก 1 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 17 °ซ แต่การที่ความเป็นกรดของมะนาวฝรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกไม่เพิ่มขึ้นนี้จะไม่เป็นปัญหา ถ้าเก็บเกี่ยวขณะที่มะนาวฝรั่งมีความเป็นกรดสูง

แต่ในสภาวะควบคุมบรรยากาศจะลดการสูญเสียกรดอินทรีย์ต่าง ๆได้

เนื่องจากการยับยั้งเมตาบอลิซึมของกระบวนการหายใจและการใช้กรดลดลง (Wang, 1990)

6.3.1.7 ปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.16 แสดงปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวพบว่าปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนลดลงมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน โดยเฉพาะในตัวอย่างควบคุม มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน มีปริมาณวิตามินซี 4.86-43.62, 17.82-40.82 และ 30.36-41.40 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยปริมาณวิตามินซีเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง 35.72-43.62 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

วิตามินซีเป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหายใจในวัฏจักรเครบ โดยเปลี่ยนจากกลูโคสซึ่งเป็นแหล่งพลังงานให้เป็นกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี แล้วจึงใช้กรดซิตริกเป็นแหล่งพลังงานต่อไป (Phan, Pantastico, Ogata and Chachin, 1975) วิตามินซีเป็นวิตามินที่มีเสถียรภาพต่ำ ปกติในผลไม้มีเอนไซม์ที่ออกซิไดซ์วิตามินซี เช่น แอสคอร์บิกแอซิดออกซิเดส (ascorbic acid oxcidase) ไซโตโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) และเปอร์ออกซิเดส (peroxidase) และการสูญเสียวิตามินซียังเกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์ (nonenzymatic reactions) 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาออกซิไดซ์ (oxidative reaction) และปฏิกิริยาที่ไม่เกิดการออกซิไดซ์ (nonoxidative reaction) ซึ่งปฏิกิริยาที่ไม่เกิดการออกซิไดซ์เกิดรวดเร็วขึ้นที่ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ต่ำ (Wong, 1989)

การเก็บรักษาในสภาวะควบคุมบรรยากาศ (controlled atmosphere) สามารถลดการสูญเสียวิตามินซีได้ (Wang, 1990) ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำการหายใจลดลงจึงลดการสูญเสียจากกระบวนการทางชีวเคมีลงได้ในลักษณะเดียวกับกรดอินทรีย์อื่น ๆ

6.3.1.8 ความเป็นกรดด่างของน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.17 แสดงความเป็นกรดด่างของน้ำมะนาว พบว่าค่าความเป็นกรดด่างของน้ำมะนาวเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณกรดซิตริกและปริมาณวิตามินซีที่ลดลง โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน มีค่าความเป็นกรดด่าง 2.13-2.73, 2.08-2.60 และ 2.11-2.46 ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีความเป็นกรดด่างสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ นันทนา แก้วอุบล (2531) ที่พบว่าค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา

การเก็บรักษา โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0-6 เดือน มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 2.2 - 2.85 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดซิตริกที่ลดลงโดยมีปริมาณกรดซิตริกอยู่ในช่วง 4.42-7.32 %

6.3.1.9 ปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.18 แสดงปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวพบว่าปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา ปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของผลมะนาวโดยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงจากไพรูเวท ไปเป็นอะซีตัลดีไฮด์ และเอทธานอล ตามลำดับ (Hess, 1975; Ulrich, 1975) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวสูงกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน ที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกและบรรจุในฟิล์มพลาสชนิด PVC, LLDPE และ HDPE เป็น 52.72, 137.67, 95.28 และ 132.42 ppm มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน เป็น 86.20, 84.42, 71.72 และ 67.65 ppm และมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน เป็น 176.22, 98.88, 72.69 และ 84.22 ppm ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับสมบัติของฟิล์มพลาสติกในด้านอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 36,000 มล./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ และ 97,000 มล./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 120,000 และ 72,000 มล./ตร.ม./วัน ที่อุณหภูมิ 38 °ซ ตามลำดับ และมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินความสามารถของเครื่องมือที่จะวัดได้

นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้ยังสอดคล้องกับผลการทดลองของCohen และคณะ (1990) ซึ่งพบว่าปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวผรั่งใกล้เคียงกันในทั้งมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE และไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกในระหว่างการเก็บรักษาช่วง 3 เดือนแรก และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หลังการเก็บรักษา 3 เดือนแล้วปริมาณเอทธานอลเริ่มเพิ่มขึ้นในมะนาวผรั่งที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติก ในขณะที่มะนาวผรั่งที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE มีปริมาณเอทธานอลอยู่ในระดับคงที่ตลอดเวลา

สำหรับตัวอย่างควบคุมของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน มีปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวสูง เนื่องจากมะนาวมีการสูญเสียน้ำหนักไปมาก ผิวนอกมีลักษณะแห้ง

มาก และมีการหดตัวของเซลจึงเป็นตัวกีดขวางไม่ให้ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านเข้าออกได้ตามปกติ

ในการหายใจแบบใช้ออกซิเจนนั้นผักผลไม้จะได้พลังงานจากปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชันโดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย แต่ในการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน อิเล็กตรอนผ่านจากสารอินทรีย์ตัวหนึ่งไปยังสารอินทรีย์อีกตัวหนึ่ง และสุดท้ายได้ผลผลิตจากการหมัก เช่น แลคเตท (lactate) อะซิตัลดีไฮด์ และเอทธานอล ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นรสแปลกปลอม (off-flavor) หรือความผิดปกติทางกายภาพได้เมื่อมีการสะสมเอลกอฮอล์หรืออัลดีไฮด์มากเกินไปจากการเก็บรักษาเป็นเวลานาน และทำให้คุณภาพของผักผลไม้ไม่เป็นที่ยอมรับ (Wang, 1990)

6.3.1.10 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.19 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาว พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 5 เดือน มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน ที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาวเป็น 6.90, 6.25, 5.90 และ 6.10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน เป็น 7.10, 6.35, 6.65 และ 6.45 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรและมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน เป็น 7.55, 6.95, 6.75 และ 7.10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาวแสดงถึงปริมาณสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำมะนาวทั้งหมด เช่น กรดซิตริก น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลซูโครส รวมทั้งกรดอินทรีย์และสารต่าง ๆ ที่จำเป็นในกระบวนการหายใจของผลมะนาว ซึ่งสารต่าง ๆ เหล่านี้ถูกใช้ไปเป็นแหล่งพลังงานและทำหน้าที่ต่าง ๆ ในกระบวนการหายใจ (สายชล เกตุษา, 2528; Ting and Attaway, 1980) จึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาและมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 5 เดือนซึ่งมีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน จึงมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงมากกว่า ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับปริมาณกรดซิตริกและวิตามินซีในน้ำมะนาวที่ลดลง และค่าความเป็นกรดด่างของน้ำมะนาวที่เพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ Echeverria และ Burns (1989, 1990)พบว่าการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสในมะนาวพันธุ์ 'Persian' มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง 2 แบบ คือ อินเวอร์เทส (invertase) และซูโครสซินเทส (sucrose synthase) แต่มีผลแก่จัดแอคติวิตี (activity) ของเอนไซม์ทั้งสองลดลงจนไม่มีการทำงาน แต่ปริมาณซูโครสก็ยังลดลงในอัตรา 30.6 pmol/ml/d โดยปฏิกิริยาแอซิดไฮโดรไลซิส (acid hydrolysis)

6.3.1.11 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 5.20, 5.21, 5.22 และ 5.23 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีผิว กลิ่นรส ความเปรี้ยว และการยอมรับรวม ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0-8 สัปดาห์ พบว่าคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีผิวของตัวอย่างควบคุมลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติก โดยตัวอย่างควบคุมของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีผิวลดลงมากในสัปดาห์ที่ 2 คือ 4.40 ส่วนตัวอย่างควบคุมของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 6 เดือนมีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีผิวลดลงมากในสัปดาห์ที่ 4 คือ 1.90 และ 3.10 ตามลำดับ

มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีแนวโน้มเกิดการเน่าเสียขึ้นก่อน แล้วจึงเกิดการเน่าเสียในมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC และ HDPE ตามลำดับ การเน่าเสียเริ่มเกิดโดยสีผิวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เป็นบริเวณกว้างก่อน แล้วจึงเกิดเชื้อราขึ้นหลังการเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน ที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกมีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีผิวลดลงมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนในสัปดาห์ที่ 6 คือ 2.30-4.50 และ 3.80-6.30 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาตามชนิดของฟิล์มพลาสติกพบว่ามีแนวโน้มไม่แน่นอน ทั้งนี้อาจเนื่องจากสีผิวของมะนาวเองขณะอยู่บนต้นนั้นก็มีสีผิวไม่สม่ำเสมอโดยบางส่วนมีสีอ่อนกว่าส่วนอื่น

ตัวอย่างควบคุมมีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในด้านกลิ่นรสลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษามากกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติก โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ตัวอย่างควบคุมของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสเท่ากับ 9.00, 9.10 และ 7.70 ตามลำดับ ส่วนมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกพบว่ามีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสอยู่ในช่วง 8.70-13.50 โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน ที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC

มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสลดลง คือ 11.00, 8.70 และ 10.70 ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ โดยเฉพาะมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวโดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน ที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มีปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาว 137.67, 84.42 และ 98.88 ppm ตามลำดับ กล่าวคือเมื่อปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวเพิ่มขึ้น ทำให้คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสลดลง แต่ในมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ แม้ว่ามีปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาว 137.07 และ 132.42 ppm ตามลำดับ แต่มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสเป็น 11.00 และ 11.10 ตามลำดับอาจมีสาเหตุจากน้ำมะนาวที่คั้นได้จากมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีรสขมมาก เนื่องจากสารที่ทำให้เกิดรสขมในเปลือกของมะนาว เช่น นารินจิน (naringin) เจือปนอยู่ (Blundstone, Woodman and Adams, 1980; Ting and Attaway, 1980) เพราะมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีเปลือกหนามากดังนั้นเมื่อคั้นน้ำมะนาวจึงมีสารดังกล่าวเจือปนมากจึงมีผลต่อคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรส

สำหรับคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความเปรี้ยวพบว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความเปรี้ยวโดยเฉลี่ยแล้วต่ำกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน กล่าวคือที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความเปรี้ยวเป็น 5.20-6.80, 6.70-7.90 และ 6.10-7.30 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาว คือ 5.41-6.63, 6.39-7.70 และ 7.39-8.15 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาตามชนิดของฟิล์มพลาสติกพบว่ามีแนวโน้มไม่แน่นอน ทั้งนี้อาจเนื่องจากแม้ว่าความเปรี้ยวจะเป็นสมบัติของไฮโดรเจนไอออน (Hydrogen ion) แต่ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างความเปรี้ยวกับความเข้มข้นของกรด ความเปรี้ยวขึ้นอยู่กับหมู่ของกรด ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ สมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ และสารประกอบอื่น เช่น น้ำตาล ซึ่งเป็นองค์ประกอบในอาหาร (Pangborn, 1963 quoted in deMan, 1990)

ตัวอย่างควบคุม มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับรวมลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษามากกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกโดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับรวมต่ำกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ทั้งนี้อาจเนื่องจากน้ำมะนาวที่คั้นได้จากมะนาวที่มี

อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีรสขมมาก เนื่องจากสารที่ก่อให้เกิดรสขมในเปลือกของมะนาว 2 ชนิด คือ นารินจินซึ่งเป็นสารพวกเฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และ dilactone limonin ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อ monolactone limonin สัมผัสกับน้ำมะนาวที่เป็นกรด (Blundstone, Woodman and Adams, 1980; Ting and Attaway, 1980) ทำให้น้ำมะนาวเกิดรสขมหลังจากการคั้นน้ำ (delayed bitterness) (Wong, 1989) จึงมีผลต่อคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับรวม โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนที่ไม่บรรจุในฟิล์มพลาสติกและบรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับรวมเป็น 5.40, 8.90, 7.80 และ 9.80 ตามลำดับ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนเป็น 7.70, 8.10, 10.30 และ 10.10 ตามลำดับ และมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนเป็น 5.60, 9.80, 9.40 และ 9.50 ตามลำดับ

ในการเตรียมตัวอย่างน้ำมะนาว (ภาคผนวก จ) ไม่เติมเกลือในน้ำมะนาวในการประเมินผลทางประสาทสัมผัส เพราะเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.01-0.03 โมล/ลิตร จะให้รสหวาน และเกลือโปแตสเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.009-0.02 โมล/ลิตร จะให้รสหวาน ที่ความเข้มข้น 0.02-0.04 โมล/ลิตร จะให้รสขม และที่ความเข้มข้นสูงกว่า 0.05 โมล/ลิตร จะให้รสเค็ม แต่ยังมีรสขมหรือเปรี้ยวเล็กน้อย (Plattig, 1984)

6.3.2 ผลของอายุการเก็บเกี่ยว ชนิดของฟิล์มพลาสติก และอายุการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลมะนาวที่อายุการเก็บรักษา 10-16 สัปดาห์

จากผลการทดลองข้อ 5.3.2 การเก็บรักษาผลมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE ที่อุณหภูมิ 10 °ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90 % ระยะเวลาการเก็บรักษา 10-16 สัปดาห์

6.3.2.1 ระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเอทธิลีน

จากตารางที่ 5.24 ถึง 5.26 แสดงระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเอทธิลีน และตารางที่ 5.27 ถึง 5.30 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของก๊าซ พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา

16 สัปดาห์ ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน ที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC สูงกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE คือมีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 1.23, 1.01 และ 0.51 % ตามลำดับ และมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน มีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 0.62, 0.33 และ 0.38 % ตามลำดับ แสดงว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE สามารถลดอัตราการหายใจของผลมะนาวได้ดีกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนมีระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน และมีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเอทธิลีนสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน แสดงว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนมีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับที่ระยะเวลาการเก็บรักษานาน 0-8 สัปดาห์

6.3.2.2 เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลมะนาว

จากตารางที่ 5.31 แสดงเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลมะนาว พบว่ามะนาวทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาใกล้เคียงกันและที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์มีเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียอยู่ในช่วง 26.28-33.14 % การเน่าเสียที่เกิดขึ้นคือเกิดการเน่าเสียที่ขั้วผล ทำให้บริเวณขั้วผลนิ่มและเป็นสีน้ำตาล ขนาดของแผลขยายออกโดยรอบ แม้ว่ามะนาวที่ใช้ในการทดลองนี้ได้เก็บเกี่ยวโดยการใช้กรรไกรตัดออกทีละผลเพื่อให้มีขั้วผลติดอยู่ก็ตาม ซึ่งการเก็บเกี่ยวผลมะนาวโดยปกติแล้วชาวสวนจะใช้มือปลิดผลออกซึ่งวิธีการดังกล่าวจะทำให้ขั้วผลหลุดออกได้ง่าย โดยเฉพาะมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 5 เดือนขึ้นไป การเน่าเสียนี้เป็นอาการของโรค stem-end rot หรือ Alternaria rot ที่เกิดจากเชื้อ *Alternaria* (Eckert, Sievert and Ratnayake, 1984; Salunkhe and Desai, 1984) ซึ่งเป็นการติดเชื้อจากดินจากแปลงปลูกที่ปนเปื้อนมานั่นเอง

6.3.2.3 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาว

จากตารางที่ 5.32 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวพบว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน และมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีเปอร์เซ็นต์การ

สูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวสูงกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE กล่าวคือมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก 22.55, 13.02 และ 14.74 % ตามลำดับ และมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก 23.67, 20.96 และ 19.82 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีการคายน้ำมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสูญเสียน้ำทางรอยตัดขั้วผลของผลมะนาว (สายชล เกตุษา, 2528) นอกจากนี้มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน มีขั้วผลที่แก่จัดและมีการหลุดร่วงของขั้วผลมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน ส่วนมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE เนื่องจากฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ดังกล่าวแล้วในข้อ 6.3.1.3 ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0-8 สัปดาห์

6.3.2.4 เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.33 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาวที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10-16 สัปดาห์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาวลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือนมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาวอยู่ในช่วง 38.46-58.85 และ 38.27-60.55 % ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0-8 สัปดาห์ คือมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมะนาวสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน

6.3.2.5 คะแนนสีผิวของมะนาว

จากตารางที่ 5.34 แสดงคะแนนสีผิวของมะนาวที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่า มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีเปอร์เซ็นต์สีเหลืองที่ผิวเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีคะแนนสีผิวเป็น 2.7, 3.1 และ 1.7 ตามลำดับ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีคะแนนสีผิวเป็น 1.6, 1.2 และ 1.7 ตามลำดับ และมะนาวทั้งหมดจะมีเปอร์เซ็นต์สีเหลืองที่ผิวมากกว่า 75 % ของพื้นที่ผิวทั้งหมดภายหลังระยะเวลาการเก็บรักษานาน 14 สัปดาห์ ยกเว้นมะนาวที่มีอายุการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เก็บเกี่ยว 5 เดือน ที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC ซึ่งมีคะแนนสีผิวเป็น 2.1

เบอร์เซ็นต์สีเหลืองที่ผิวเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้เห็นสีของคาโรทีนอยด์ที่มีอยู่แล้วในเปลือกมะนาวแต่ถูกบดบังด้วยสีเขียวของคลอโรฟิลล์ โดยในมะนาว (lime) จะมีการสร้างคาโรทีนอยด์ลดลงหลังจากที่คลอโรฟิลล์สลายตัว (Ting and Attaway, 1980) การบรรจุมะนาวแต่ละผลในฟิล์มพลาสติกสามารถชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ โดยมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีคะแนนสีผิวลดลงช้าเนื่องจาก เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน การสังเคราะห์เอทธิลีนจะหยุดเนื่องจากบางช่วงของการสังเคราะห์เอทธิลีนต้องการก๊าซออกซิเจน และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ อาจยับยั้งการสร้างเอทธิลีน (Wang, 1990) รวมทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะยับยั้งการทำงานของเอทธิลีนในลักษณะ competitve inhibitor (สายชล เกตุษา, 2528) ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติของฟิล์มพลาสติกชนิด PVC ในด้านอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

6.3.2.6 ปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.35 แสดงปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวพบว่ามีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนมีปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวลดลงมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาว 5.01, 5.42 และ 5.30 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวเป็น 7.14, 6.16 และ 6.53 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวลดลงสอดคล้องกับผลการทดลองที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0-8 สัปดาห์ คือมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนมีปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวลดลงมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน

6.3.2.7 ปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.36 แสดงปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาว พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน ที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวเป็น 14.92, 20.14 และ 29.11 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีปริมาณวิตามินซี

ในน้ำมะนาวเป็น 35.52, 34.61 และ 43.31 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ จะเห็นว่ามะนาวมีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน มีปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวลดลงมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน อาจเนื่องจากมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน มีการสะสมแหล่งอาหารที่ใช้ในการสังเคราะห์วิตามินซีมากกว่า ตามเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 6.3.1.7

6.3.2.8 ความเป็นกรดด่างของน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.37 แสดงความเป็นกรดด่างในน้ำมะนาว พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีค่าความเป็นกรดด่างของน้ำมะนาวเท่ากับ 2.68, 2.53 และ 2.54 ตามลำดับ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีค่าความเป็นกรดด่างของน้ำมะนาวเท่ากับ 2.52, 2.49 และ 2.48 ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าความเป็นกรดด่างของน้ำมะนาวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดซิตริกและปริมาณวิตามินซีที่ลดลง มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนมีความเป็นกรดด่างสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน สามารถอธิบายได้ตามเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 6.3.1.8

6.3.2.9 ปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.38 แสดงปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาว พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน ที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวเป็น 490.36, 415.00 และ 308.87 ppm ตามลำดับ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน มีปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวเป็น 409.26, 146.01 และ 111.68 ppm ตามลำดับ กล่าวคือมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวสูงกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องมาจากฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีสมบัติของฟิล์มพลาสติกในด้านอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และ ฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE ดังนั้นก๊าซออกซิเจนจากภายนอกฟิล์มพลาสติกจึงผ่านเข้าสู่ภายในฟิล์มพลาสติกได้น้อย ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนรอบ ๆ ผลมะนาวต่ำและในทำนองเดียวกันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการหายใจของผลมะนาวก็ซึมผ่านออกสู่ภายนอกฟิล์มพลาสติกได้น้อย ทำให้เกิดการสะสมจนมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง มีผลให้มะนาวเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนและเกิด

กลิ่นรสแปลกปลอม (off-flavor) ขึ้นจากการสะสมของ เอทธานอล (Hess, 1975; Ulrich, 1975) โดยเฉพาะมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนซึ่งมีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน

6.3.2.10 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาว

จากตารางที่ 5.39 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาว พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาวมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน และมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด PVC ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาวเป็น 5.65, 5.30 และ 5.50 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาวเป็น 6.90, 6.10 และ 6.15 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน และมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีอัตราการหายใจสูงกว่าจึงใช้สารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในกระบวนการหายใจมากกว่า และทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงมากกว่า ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาวที่ลดลงสอดคล้องกับปริมาณกรดซิตริกที่ลดลง

6.3.2.11 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 5.40, 5.41, 5.42 และ 5.47 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีผิว กลิ่นรส ความเปรี้ยว และการยอมรับรวม ตามลำดับ และตารางที่ 5.43 ถึง 5.46 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10-16 สัปดาห์ คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีผิวลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาโดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีผิวลดลงน้อยกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน และมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีผิวลดลงน้อยกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กล่าวคือที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีผิวเท่ากับ 3.40, 1.50 และ 1.20 ตามลำดับ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีผิวเท่ากับ 1.60, 1.20 และ 1.10 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนสีผิวของมะนาวในตารางที่ 5.33

นอกจากนี้คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีผิวของมะนาวที่ต่ำไม่ได้แสดงว่าผู้ทดสอบไม่ยอมรับในตัวอย่างนั้น ๆ เพราะในความเป็นจริงแล้วมะนาวที่ผิวมีเปอร์เซ็นต์สีเหลืองที่ผิวมากกว่า 75 % ของพื้นที่ผิวทั้งหมด แต่ยังคงมีความสด มีกลิ่นรสที่ดี มีขนาดผลใหญ่และมีปริมาณน้ำมะนาวมากก็ยังสามารถนำออกจำหน่ายได้

คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสลดลงมากกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE กล่าวคือที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสเท่ากับ 7.40, 9.50 และ 10.10 ตามลำดับ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่นรสเท่ากับ 8.80, 8.80 และ 8.80 ตามลำดับ คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสที่ลดลงนี้สอดคล้องกับปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์ ซึ่งมีปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวเป็น 409.26 ppm เนื่องจากเอทธานอลอาจลดความเปรี้ยวของกรดอินทรีย์ลงและทำให้กลิ่นรสดีขึ้น (Wucherpfennig, 1969 quoted in deMan, 1990)

คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเปรี้ยวมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความเปรี้ยวเท่ากับ 5.80, 6.20 และ 6.70 ตามลำดับ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความเปรี้ยวเป็น 5.90, 5.80 และ 6.10 ตามลำดับ ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ความเปรี้ยวปานกลางถึงความเปรี้ยวมาก โดยคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเปรี้ยวที่ลดลงนี้สอดคล้องกับปริมาณกรดซิตริกที่ลดลง

คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา และมะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับรวมต่ำกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 16 สัปดาห์ มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC, LLDPE และ HDPE มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับรวมเท่ากับ 6.00, 8.50 และ 9.00 ตามลำดับ ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือนมีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านการยอมรับรวมเท่ากับ 7.20, 7.90 และ 8.60 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือนที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด PVC มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีผิวสูงกว่ามะนาวที่บรรจุในฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด HDPE แต่มีคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสและคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมต่ำกว่า ส่วนคะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเปรี้ยวไกล้เคียงกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย