บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การวัดอัตราการหายใจของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 10 °C

จากผลการทดลองในข้อ 4.1 รูปที่ 4.1 จะเห็นว่าความเข้มข้นของออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุจะลดลงในขณะที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจะเพิ่มขึ้น และการลดลงของออกซิเจนและการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรงแล้วค่อย ๆ คงที่ในระยะต่อมา ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกภายในภาชนะบรรจุมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ การหายใจของมะนาวจึงเกิดขึ้นได้อย่างเต็มที่ การลดลงของออกซิเจนและการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์จึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้การหายใจของมะนาวลดลงในระยะต่อมา การเปลี่ยนแปลงของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจึงเกิดช้าลง และมีแนวโน้มว่าจะคงที่ในที่สุด อัตราการหายใจสามารถวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง (21) โดยคำนวณเป็นปริมาณการใช้ออกซิเจนหรือการคายคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยน้ำหนัก (มล. O_2 หรือ CO_2/ชม./กก.) พบว่าอัตราการหายใจของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกันจะแตกต่างกัน ดังแสดงตารางที่ 4.1 โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน จะมีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทธิลีนภายในภาชนะบรรจุที่เวลาต่าง ๆ กัน จะเห็นว่าเอทธิลีนภายในภาชนะบรรจุจะค่อนข้างต่ำและคงที่อยู่ระยะหนึ่งในช่วง 4-11 วัน หลังจากนั้นจะเกิดการสะสมของเอทธิลีนเพิ่มขึ้นจาก 0.2-0.4 ppm เป็น 0.7-0.8 ppm ในช่วง 16-23 วันต่อมา พร้อมกับที่สีผิวของมะนาวเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองในบางส่วน (ประมาณ 25% ของพื้นที่ผิว) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ที่ผิวมะนาวตามธรรมชาติที่มีรายงานว่า การสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการสะสมของคาร์โรทีนอยด์ที่ผิวของผลไม้ตระกูลส้มสามารถถูกกระตุ้นได้ด้วยเอทธิลีน (10,11,12,13) ในช่วงต่อมาพบว่าเอทธิลีนภายในภาชนะบรรจุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

0.7-0.8 ppm เป็น 1.8-2.2 ppm อย่างไรก็ตามพบว่าถึงแม้เอทธิลีนจะเพิ่มขึ้นมาก แต่เปอร์เซ็นต์สีเหลืองที่ผิวของมะนาวมิได้เพิ่มขึ้นมากนัก ขณะเดียวกันพบว่าผิวของมะนาวบางส่วนเกิดสีน้ำตาลขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการที่ภายในภาชนะบรรจุมีออกซิเจนในช่วง 23-30 วัน ค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 4-5%) ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอทธิลีนลดลงได้ เพราะออกซิเจนไม่เพียงแต่จำเป็นในการสร้างเอทธิลีนเท่านั้น ยังจำเป็นในการทำงานของเอทธิลีนอีกด้วย (7,8) จึงทำให้ผิวของมะนาวไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งหมด ดังมีรายงานว่าการเก็บมะนาวในสภาพที่มีออกซิเจน 5 และ 11% ในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมาก ๆ (0.1%) เป็นเวลา 6 เดือน จะมีเอทธิลีนสะสมอยู่ 300 และ 6 ppm ตามลำดับ แต่การกระตุ้นให้เกิดการสูญเสียสีเขียวที่ผิวของมะนาวโดยเอทธิลีนในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 11% จะเกิดขึ้นมากกว่าการเก็บในสภาพที่มีออกซิเจน 5% (16,18) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการกระตุ้นอัตราการหายใจของมะนาวโดยเอทธิลีน ซึ่งพบว่าในสภาพที่มีออกซิเจน 10% การกระตุ้นอัตราการหายใจของมะนาวโดยเอทธิลีนจะสูงกว่าในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 5% ในขณะที่การเก็บในสภาพที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ ไม่ได้มีผลยับยั้งการกระตุ้นอัตราการหายใจโดยเอทธิลีน (16,17) แต่อย่างไรก็ตามการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ จะทำให้เกิดการเน่าเสียเพิ่มขึ้นได้ (16) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ผิวของมะนาวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและเน่าเสียในที่สุด

5.2 <u>ผลของระดับปริมาณการบรรจุ และอายุการเก็บเกี่ยวของมะนาวต่อคุณภาพของมะนาวในขณะเก็บรักษา</u>

จากผลการทดลองในข้อ 4.2

5.2.1 ระดับความเข้มข้นของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทธิลีนภายในถุง

จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.6 แสดงความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในถุงที่ระยะเวลาต่างกัน จะเห็นว่าความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุงจะลดลงในขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดการสะสมเพิ่มขึ้นมากในช่วง 2 สัปดาห์แรก ทั้งนี้เป็นเพราะการหายใจของมะนาวนั่นเอง จึงทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกและภายในถุงแตกต่างกัน และเกิดการแลกเปลี่ยนกาซขึ้น โดยออกซิเจนจากภายนอกก็จะซึมผ่านฟิล์มพลาสติกเข้าภายในถุง ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะซึมผ่านออกภายนอกถุง จนกระทั่งถึงจุดสมดุล ดังนั้นความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงจึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในระยะเวลาต่อมา นอกจากนี้จากตารางที่ 4.2 แสดงระดับความเข้มข้นของออกซิเจน

และคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงในขณะเก็บรักษา จะเห็นว่า ความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงที่ระดับปริมาณการบรรจุต่าง ๆ กันจะแตกต่างกัน กล่าวคือ ความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุงที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม จะต่ำกว่าที่ปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม ตามลำดับ ในขณะเดียวกันที่ปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม ก็จะเกิดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นภายในถุงมากกว่าที่ปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม เช่นกัน ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงเกิดขึ้นเนื่องจากการหายใจของมะนาว และการซึมผ่านของกาซผ่านฟิล์มพลาสติก ระดับความเข้มข้นของออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงที่จุดสมดุลจึงขึ้นอยู่กับอัตราการซึมผ่านของกาซซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ปัจจัยคือ ชนิดและความหนาของฟิล์มพลาสติก และอัตราการหายใจหรืออัตราการใช้ออกซิเจนของมะนาว ในการทดลองนี้ใช้ฟิล์มพลาสติกชนิดและความหนาเดียวกัน ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจหรือการใช้ออกซิเจนของมะนาว ดังนั้นที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม ซึ่งมีอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม ตามลำดับ จึงทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุงที่ปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม ต่ำกว่าที่ปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน ระดับปริมาณการบรรจุที่มีอัตราการใช้ออกซิเจนมากก็จะมีการคายคาร์บอนไดออกไซด์มากตาม การสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม จึงมากกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม ตามลำดับ นอกจากนั้น จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่า ความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุงที่บรรจุมะนาวอายุ 4 เดือน จะต่ำกว่าถุงที่บรรจุมะนาวอายุ 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน คาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงที่บรรจุมะนาวอายุ 4 เดือน ก็จะสูงกว่าถุงที่บรรจุมะนาวอายุ 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากมะนาวอายุ 4 เดือน มีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวอายุ 5 และ 6 เดือน ดังปรากฏในตารางที่ 4.1

สำหรับความเข้มข้นของเอทธิลีนภายในถุงที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 จะเห็นว่าการสะสมของเอทธิลีนภายในถุงที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม จะมากกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม ตามลำดับ เนื่องจากเอทธิลีนเป็นผลได้ที่เกิดจากกระบวนการหายใจของมะนาวเช่นเดียวกับคาร์บอนไดออกไซด์

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของเอทธิลีนภายในถุงจึงเกิดขึ้นในทำนองเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนไดออกไซด์

5.2.2 เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของมะนาว

จากตารางที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของผลมะนาวที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน จะเห็นว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม จะเกิดขึ้นได้เร็วและมากกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม ตามลำดับ เนื่องจากที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม มีคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงค่อนข้างสูง คืออยู่ในช่วง 7-11% ในมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 5 เดือน ในขณะที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม มีคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงอยู่ในช่วง 3-5% ดังนั้นที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม มะนาวจึงเกิดการเน่าเสียขึ้นเร็วและมากกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม นอกจากนั้น ออกซิเจนภายในถุงที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม ซึ่งต่ำกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม เป็นสาเหตุให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ คาร์บอนไดออกไซด์และเอทธานอลซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์มะนาวจึงเกิดการเน่าเสียมากกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม ซึ่งถึงแม้ว่าในระยะแรกจะไม่เกิดการเน่าเสียแต่ก็จะเกิดในระยะต่อมา สำหรับมะนาวอายุ 6 เดือน จะเห็นว่าที่แต่ละระดับปริมาณการบรรจุ เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม จะเกิดการเน่าเสียเร็วและมากกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 645±5 กรัม และ 430±5 กรัม เป็นเพราะที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม มีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 6-9% ซึ่งสูงกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 645±5 กรัม และ 430±5 กรัม ซึ่งอยู่ในช่วง 2-8% ในทำนองเดียวกันออกซิเจนภายในถุงที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม ซึ่งต่ำกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 645±5 กรัม และ 430±5 กรัม จึงทำให้ที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม เกิดการเน่าเสียเร็วและมากกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 645±5 กรัม และ 430±5 กรัม และด้วยเหตุผลในทำนองเดียวกัน จะเห็นว่ามะนาวที่มีอายุ 4 เดือน ซึ่งมีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวที่มีอายุ 5 และ 6 เดือน จะเกิดการเน่าเสียขึ้นได้มากกว่ามะนาวที่มีอายุ 5 และ 6 เดือน เช่นกัน

5.2.3 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

เนื่องจากในขณะเก็บรักษามะนาวยังคงมีการหายใจและการคายน้ำ ดังนั้น จากตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน จะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวก็จะเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเก็บมะนาวเป็นเวลา 14 สัปดาห์ มะนาวจะมีการสูญเสียน้ำหนักเพียงประมาณ 2% เนื่องจากการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มพลาสติกจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในถุงเพิ่มขึ้น การคายน้ำของมะนาวจึงเกิดขึ้นได้น้อย

5.2.4 คะแนนสีผิวของมะนาว

จากรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงคะแนนสีผิวของมะนาว จะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นคะแนนสีผิวของมะนาวจะลดลง หรือมะนาวจะเกิดการเปลี่ยนสีเขียวที่ผิวของมะนาวเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น และการเปลี่ยนแปลงคะแนนสีผิวของมะนาวที่ระดับปริมาณการบรรจุต่างกันจะแตกต่างกัน โดยที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม คะแนนสีผิวจะสูงกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 645±5 กรัม และ 430±5 กรัม ซึ่งหมายถึงที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม มะนาวจะมีสีเขียวมากกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 645±5 กรัม และ 430±5 กรัม ตามลำดับ ถึงแม้ว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม จะมีการสะสมของเอทธิลีนภายในถุงสูงกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม ทั้งนี้เป็นเพราะว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม มีออกซิเจนภายในถุงค่อนข้างต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จึงมีผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอทธิลีนลดลง เนื่องจากออกซิเจนจำเป็นและเกี่ยวข้องในการทำงานของเอทธิลีน (7,8) ดังนั้นที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม ผิวมะนาวจะยังคงมีสีเขียวในระยะ 2 ถึง 6 สัปดาห์ แต่หลังจากนั้นมะนาวจะเกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุงค่อนข้างต่ำ ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้เอทธานอล และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์ทำให้มะนาวเน่าเสียได้ในที่สุด ส่วนที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม การเปลี่ยนสีผิวของมะนาวจะเกิดขึ้นตามธรรมชาติ กล่าวคือมะนาวจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง เนื่องจากกระบวนการสลายตัวตามธรรมชาติของคลอโรฟิลล์ แล้วสีเหลืองของคาร์โรทีนอยด์ก็ปรากฏออกมาให้เห็น นอกจากนั้นจากรูปที่

4.13, 4.14 และ 4.15 จะเห็นว่ามะนาวที่มีอายุ 4 เดือน จะเกิดการเปลี่ยนสีผิวเป็นสีเหลืองช้ากว่ามะนาวอายุ 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่ามะนาวอายุ 4 เดือน มีคลอโรฟิลล์สะสมที่ผิวมากกว่ามะนาวอายุ 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ

5.2.5 ปริมาณกรดซิตริคในน้ำมะนาว

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าเมื่อเก็บมะนาวเป็นระยะเวลานานขึ้น ปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวจะลดลง ซึ่งอาจเนื่องจากมะนาวมีการใช้กรดซิตริคเป็นแหล่งพลังงานทดแทนคาร์โบไฮเดรทสะสมภายในเซลล์ที่ลดลง จึงทำให้ปริมาณกรดซิตริคในน้ำมะนาวลดลงเมื่อเก็บมะนาวนานขึ้น ดังนั้นมะนาวอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน ซึ่งมีอัตราการหายใจสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ การลดลงของกรดซิตริกในน้ำมะนาวที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน จึงเกิดขึ้นมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งนอกจากนี้จะเห็นว่าการลดลงของกรดซิตริกในน้ำมะนาวที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม ก็จะมากกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะให้พลังงานน้อยกว่าการหายใจแบบใช้ออกซิเจนตามปกติ ดังนั้นที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม จึงมีการใช้กรดซิตริคมากกว่าที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม

5.2.6 ปริมาณไวตามินซีในน้ำมะนาว

จากตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณไวตามินซีในน้ำมะนาวที่ระยะเวลาต่างกัน จะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น ปริมาณไวตามินซีในน้ำมะนาวจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเสื่อมคุณภาพตามธรรมชาติ (Senescence) ของผลไม้ นอกจากนั้นจากตารางจะเห็นว่าปริมาณไวตามินซีในน้ำมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน จะสูงกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 4 เดือน ตามลำดับ ในขณะที่ระดับปริมาณการบรรจุต่าง ๆ กัน ปริมาณไวตามินซีจะไม่แตกต่างกันมากนัก

5.2.7 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาว

ดังได้กล่าวในข้อ 5.2.5 ในขณะเก็บรักษาปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวจะลดลง เนื่องจากมะนาวใช้กรดซิตริคเป็นแหล่งพลังงานทดแทนคาร์โบไฮเดรท ดังนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำมะนาวในขณะเก็บรักษาจึงลดลงดังแสดงในตารางที่ 4.7

5.2.8 ปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาว

เอทธานอลในน้ำมะนาวเกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมะนาว ดังนั้นที่ระดับปริมาณการบรรจุ 860±5 กรัม และ 645±5 กรัม ซึ่งมีออกซิเจนภายในถุงค่อนข้างต่ำ (3-5%) จึงเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้เอทธานอลมากกว่าที่ระดับการบรรจุ 430±5 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 อย่างไรก็ตามจากกราฟจะแสดงให้เห็นว่า เมื่อเก็บมะนาวเป็นระยะเวลานานขึ้น ปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวก็จะสะสมเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อเก็บมะนาวเป็นระยะเวลานาน 12 สัปดาห์ ปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน ที่ระดับปริมาณการบรรจุ 430±5 กรัม จะเท่ากับ 1,290, 1,340 และ 1,390 ppm หรือ .129, .134 และ .139% ตามลำดับ ซึ่งเป็นสาเหตุให้กลิ่น รส ของมะนาวด้อยลง และจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสก็พบว่าคะแนนกลิ่น และรสของมะนาว จะอยู่ในช่วงกลิ่นและรสมะนาวลดน้อยลงถึงมีกลิ่นและรสเปลกปลอมเล็กน้อย และผู้บริโภคมีการยอมรับ 60-75% ดังแสดงในตารางที่ 4.8

5.3 ผลของอายุการเก็บเกี่ยวของมะนาวและสารดูดกาซเอทธิลีน คาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพของมะนาวในขณะเก็บรักษา

จากผลการทดลองในข้อ 4.3

5.3.1 ความเข้มข้นของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทธิลีนภายในถุง

จากรูปที่ 4.16, 4.17 และ 4.18 แสดงความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุงที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน จะเห็นว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันกับข้อ 5.2.1 กล่าวคือในช่วง 2 สัปดาห์ ความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุงจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการหายใจของมะนาวและหลังจากนั้นความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุงก็จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนกาซระหว่างภายในและภายนอกถุงนั่นเอง นอกจากนั้นจะพบว่าความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุงซึ่งมีการบรรจุสารดูดกาซเอทธิลีน คาร์บอนไดออกไซด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และสวรดูดกาซเอทธิลีนพร้อมกับสารดูดกาซคาร์บอนไดออกไซด์ จะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยความเข้มข้นของออกซิเจนในถุงที่บรรจุมะนาวอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน เป็น 7-14, 6-13 และ 7-13% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ทั้งนี้เนื่องจากในการทดลองนี้บรรจุมะนาวในปริมาณที่เท่ากันทุกสภาพการทดลอง (Treatment combination) คือ 430±5 กรัม ดังนั้นระดับความเข้มข้นของออกซิเจนภายในถุง จึงไม่แตกต่างกันมากนัก

สำหรับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงที่มิได้บรรจุแคลเซียม-ไฮดรอกไซด์ ซึ่งใช้ดูดคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะเกิดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ ในทำนองเดียวกันกับข้อ 5.2.1 โดยพบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงที่บรรจุมะนาวที่อายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน ซึ่งมิได้บรรจุแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 2-7, 3-6 และ 2-6% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ในขณะที่ถุงที่บรรจุแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะมีคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 0.1%) ในช่วง 2-10 สัปดาห์ เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตนั่นเอง แต่หลังจากนั้นจะเห็นว่าคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่บรรจุลงไปเปลี่ยนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตจนหมด จึงทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจของมะนาวเกิดการสะสมขึ้นภายในถุง ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.19, 4.20 และ 4.21 ในทำนองเดียวกันกับเอทธิลีนภายในถุงที่มิได้บรรจุสารดูดกาซเอทธิลีน (โปแตสเซียมเปอร์มังกาเนตดูดซับบนอลูมิเนียมออกไซด์) ก็จะเกิดสะสมของเอทธิลีนภายในถุง โดยพบว่าความเข้มข้นของเอทธิลีนภายในถุงบรรจุมะนาว 4, 5 และ 6 เดือน ที่ไม่ได้บรรจุสารดูดกาซเอทธิลีนเป็น 1-1.5, 1-1.3 และ 0.5-1.2 ppm ตามลำดับ ส่วนถุงที่บรรจุสารดูดกาซเอทธิลีนพบว่าในช่วง 2 ถึง 8 สัปดาห์ จะไม่เกิดการสะสมของเอทธิลีนภายในถุง แต่ระยะเวลาต่อมาพบว่าจะเกิดการสะสมกาซเอทธิลีนขึ้นภายในถุง ดังแสดงในรูปที่ 4.25, 4.26 และ 4.27 พร้อมกับโปแตสเซียมเปอร์มังกาเนตซึ่งมีสีม่วงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ทั้งนี้เนื่องมาจากในระยะแรกโปแตสเซียมเปอร์มังกาเนตเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับเอทธิลีน และเปลี่ยนรูปจาก MnO_4^- ซึ่งมีสีม่วงเป็นสีน้ำตาลของ MnO_2 ในที่สุด (19)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2 เปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของมะนาว

จากตารางที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของมะนาวที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน จะเห็นว่าในระยะ 8 สัปดาห์แรก มะนาวจะไม่เกิดการเน่าเสียเลย แต่เมื่อเก็บมะนาวเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่ามะนาวถุงที่มีการดูดกาซคาร์บอนไดออกไซด์และถุงที่ดูดทั้งคาร์บอนไดออกไซด์และเอทธิลีนจะเริ่มเกิดการเน่าเสียขึ้นก่อนมะนาวถุงที่ดูดกาซเอทธิลีนเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จะช่วยชะลอการหายใจของมะนาวลงได้ การสูญเสียคุณภาพของมะนาวจึงเกิดขึ้นได้ช้ากว่าการเก็บในสภาพที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนั้นในสภาพที่ปราศจากเอทธิลีนก็จะช่วยชะลอการหายใจของมะนาวลงได้อีกเช่นกัน ดังนั้นการเก็บมะนาวในถุงที่ดูดกาซเอทธิลีนเพียงอย่างเดียวจึงเกิดการเน่าเสียขึ้นน้อยและช้ากว่ามะนาวถุงที่ดูดคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 6 เดือน จะเกิดการเน่าเสียขึ้นมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน อาจเป็นเพราะว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีอัตราการหายใจสูง การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ จึงเกิดขึ้นเร็ว ส่วนมะนาวอายุการเก็บเกี่ยว 6 เดือน เป็นมะนาวที่แก่เต็มที่แล้ว ดังดังนั้นการสูญเสียคุณภาพต่าง ๆ จึงเกิดขึ้นได้เร็วเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นการเน่าเสียของมะนาวบางส่วน พบว่าเกิดขึ้นเนื่องจากเชื้อรา

5.3.3 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณกรดซิตริก และปริมาณไวตามินซีในน้ำมะนาว

จากตารางที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณกรดซิตริก และไวตามินซี ในน้ำมะนาวที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน จะมีลักษณะเดียวกันกับข้อ 5.2.3, 5.2.5 และ 5.2.6 ตามลำดับ กล่าวคือเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นการสูญเสียน้ำหนักของมะนาวก็จะเกิดเพิ่มขึ้น เนื่องจากในขณะเก็บมะนาวจะยังคงมีการคายน้ำอยู่ตลอดเวลานั่นเอง และด้วยเหตุผลเดียวกันกับข้อ 5.2.5 และ 5.2.6 ปริมาณกรดซิตริกและไวตามินซีในน้ำมะนาวก็จะลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น

5.3.4 คะแนนสีผิวของมะนาว

การเปลี่ยนแปลงคะแนนสีผิวของมะนาวที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.22, 4.23 และ 4.24 จะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น คะแนนสีผิวของมะนาวจะลดลง นั่นคือมะนาวจะเกิดการสูญเสียสีเขียวที่ผิว เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น เนื่องจากเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่ผิว แล้วสีเหลืองของคาร์โรทีนอยด์ก็ปรากฏออกมาให้เห็น ดังได้กล่าวไปแล้วในข้อ 4.2.4 ว่า การสลายตัวของคลอโรฟิลล์นอกจากจะเกิดเนื่องจากสภาพที่เป็นกรดแล้วยังเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ Chlorophyllase ซึ่งถูกกระตุ้นการทำงานด้วยเอทธิลีนทำให้กระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เกิดเร็วขึ้น นอกจากนั้นเอทธิลีนยังกระตุ้นให้เกิดการสร้างและสะสมคาร์โรทีนอยด์ที่เปลือกของผลไม้ตระกูลส้มได้อีกด้วย (10,11,12,13) ดังนั้นการสูญเสียสีเขียวที่ผิวของมะนาวในถุงที่ดูดกาซเอทธิลีนจึงเกิดขึ้นช้ากว่ามะนาวในถุงที่ไม่ได้ดูดกาซเอทธิลีน ดังแสดงในรูปที่ 4.22, 4.23 และ 4.24 โดยมะนาวในถุงที่ดูดกาซเอทธิลีนเพียงอย่างเดียวจะสูญเสียสีเขียวช้ากว่ามะนาวในถุงที่ดูดทั้งคาร์บอนไดออกไซด์และเอทธิลีน และมะนาวในถุงที่ดูดคาร์บอนไดออกไซด์อย่างเดียว ตามลำดับ นอกจากนั้นจากกราฟจะเห็นว่าการสูญเสียสีเขียวที่ผิวของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน จะเกิดขึ้นช้ากว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 และ 6 เดือน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมะนาวอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีคลอโรฟิลล์สะสมที่ผิวมากกว่ามะนาวอายุ 5 และ 6 เดือน

5.3.5 ปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาว

จากรูปที่ 4.25, 4.26 และ 4.27 แสดงปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวที่เวลาต่าง ๆ กัน จะเห็นว่าปริมาณเอทธานอลในน้ำมะนาวในถุงที่ดูดกาซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว จะมากกว่าในถุงที่ดูดทั้งกาซคาร์บอนไดออกไซด์และเอทธิลีน และในถุงที่ดูดกาซเอทธิลีนเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะการดูดกาซเอทธิลีนจะช่วยชะลอการหายใจของมะนาว ดังนั้นเอทธานอลซึ่งเกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมะนาวในถุงที่ดูดกาซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว ซึ่งนอกจากจะมีเอทธิลีนสะสมอยู่ในถุงแล้วยังมีคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้การหายใจของมะนาวเกิดขึ้นเร็วกว่าในถุงที่ดูดทั้งกาซเอทธิลีนพร้อมกับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะเห็นว่าเอทธานอลสะสมในน้ำมะนาวใกล้เคียงกับมะนาวในถุงที่ดูดกาซเอทธิลีนเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามมะนาวในถุงที่ดูดกาซเอทธิลีนเพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่าจะมีเอทธานอลในน้ำมะนาวต่ำในระยะแรก แต่เมื่อเก็บนานถึง 14 สัปดาห์ พบว่าจะมีปริมาณเอทธานอลสะสมอยู่ในน้ำมะนาวถึง 1710, 1510 และ 1545 ppm

หรือเท่ากับ 0.171,0.151 และ 0.154 % ในมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4, 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพในด้านกลิ่น และรสของมะนาวลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อน้ำมะนาว จะเห็นว่าการยอมรับรวมของผู้บริโภคมีเพียงประมาณ 60% เมื่อเก็บมะนาวเป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย