บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การวัดอัตราการหายใจของมะนาวที่ 10 °C

อัตราการหายใจของมะนาวที่ 10±2 °C นั้น วัดในรูปของอัตราการใช้กาซออกซิเจน และอัตราการคายกาซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยวิธีของ Deily และ Rizvi (30) แต่ใช้กาซมาตรฐานเป็นกาซผสมที่มีอัตราส่วนของกาซต่าง ๆ กัน ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในข้อ 3.1.2 จากการทดลองพบว่า อัตราการใช้กาซออกซิเจนเท่ากับ 1.5444 มิลลิลิตร/ชั่วโมง/กิโลกรัม และอัตราการคายกาซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 2.0317 มิลลิลิตร/ชั่วโมง/กิโลกรัม ซึ่งอัตราการหายใจค่อนข้างต่ำเพราะเป็นผลไม้ประเภท non-Climacteric (11) มีการวัดอัตราการคายกาซ-คาร์บอนไดออกไซด์ของมะนาวพันธุ์ Euraka ที่อุณหภูมิ 20 °C ซึ่งพบว่าเท่ากับ 5 มิลลิลิตร/ชั่วโมง/กิโลกรัม

5.2 การศึกษาสมบัติของฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ

สมบัติของฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำและกาซของฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆจะมีค่าแตกต่างกันโดยอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม Cellophane จะมีค่าสูงสุดคือ 15.22 gm/24 hr/m^2 รองลงมาคือ HDPE, LDPE, PP และ OPP ซึ่งมีค่า 6.26, 5.85, 4.46 และ 3.68 gm/24 hr/m^2 ตามลำดับ ส่วนอัตราการซึมผ่านของกาซทั้งกาซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน ฟิล์ม Cellophane จะมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือ OPP, PP, LDPE และ HDPE โดยมีค่าอัตราการซึมผ่านของกาซคาร์บอน-ไดออกไซด์ดังนี้คือ 194, 4298, 6537, 12686 และ 18144 ml/m^2/24 hr/atm.38^{o}C ตามลำดับ และอัตราการซึมผ่านของกาซออกซิเจนเท่ากับ 25, 1881, 2304, 4190 และ 6508 ml/m^2/24 hr/atm.38^{o}C ตามลำดับ ซึ่งสมบัติของฟิล์มพลาสติกที่แตกต่างกันดังกล่าวนี้ขึ้นกับขนาดของรูเปิดในเนื้อพลาสติก (Porosity) ความหนาของพลาสติกและชนิดของกาซ

5.3 ผลของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกต่อความเข้มข้นของกาซภายในภาชนะ-บรรจุและคุณภาพของมะนาวสด

5.3.1 ผลของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกต่อความเข้มข้นของกาซภายในภาชนะบรรจุ

จากการเก็บมะนาวในภาชนะบรรจุชนิดต่าง ๆ พบว่าบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะเปลี่ยนแปลงไป โดยความเข้มข้นของกาซออกซิเจนในฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane ในช่วง 2-4 สัปดาห์จะอยู่ในช่วง 0-4% ต่อจากนั้นก็จะมีค่าสูงขึ้น ในฟิล์ม HDPE และ LDPE นั้น ความเข้มข้นของกาซออกซิเจนตลอดช่วงของการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 14-19% ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกทั้ง 5 ชนิด ดังตารางที่ 4.5 พบว่า อายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติก มีผลต่อเปอร์เซนต์ของกาซออกซิเจนในภาชนะบรรจุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซนต์กาซออกซิเจนในภาชนะบรรจุ ดังตารางที่ 4.7 พบว่าฟิล์ม HDPE และ LDPE จะให้เปอร์เซนต์กาซออกซิเจนในภาชนะบรรจุที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane จะให้เปอร์เซนต์กาซออกซิเจนในภาชนะบรรจุที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ฟิล์ม LDPE และ HDPE จะแตกต่างกับฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อวิเคราะห์ผลของอายุการเก็บรักษา และชนิดของฟิล์มเพียง 2 ชนิดคือ LDPE และ HDPE ตลอดช่วงของการเก็บรักษา พบว่าอายุการเก็บรักษาจะมีผลต่อเปอร์เซนต์ของกาซออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ LDPE และ HDPE ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.6

สำหรับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะ-บรรจุ พบว่าฟิล์ม Cellophane ความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุ เมื่ออายุการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ มีค่าประมาณ 8% ต่อจากนั้นจะลดต่ำลง ส่วนฟิล์ม PP และ OPP ความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่ออายุการเก็บรักษา 2 สัปดาห์ ประมาณ 16% ต่อจากนั้นจะค่อย ๆ ลดต่ำลง เช่นเดียวกัน ส่วนฟิล์ม HDPE และ LDPE มีความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดช่วงของการเก็บรักษาใกล้เคียงกัน คือประมาณ 2-6% ดังแสดง

ในรูปที่ 4.4 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ก็ได้ผลในลักษณะเดียวกับความเข้มข้นของกาซออกซิเจน ดังตารางที่ 4.8 และ 4.9 แต่การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซนต์ของกาซออกซิเจนพบว่า ฟิล์ม Cellophane จะให้ค่าความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างจากฟิล์มพลาสติกทุกฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนฟิล์ม LDPE และ HDPE ให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่แตกต่างจากฟิล์ม PP และ OPP อย่างมีนัยสำคัญางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.10 ซึ่งผลการทดลองเป็นดังนี้ เนื่องมาจากในระหว่างการเก็บรักษามะนาวหรือผักผลไม้ในภาชนะบรรจุประเภทฟิล์มพลาสติก ซึ่งอากาศซึมผ่านเข้าออกได้นั้น จะมีกระบวนการ 2 กระบวนการเกิดขึ้น คือ การหายใจของมะนาวซึ่งยังคงมีอยู่หลังการเก็บเกี่ยว (9) และการซึมผ่านของกาซผ่านฟิล์ม ซึ่งนำไปสู่การแลกเปลี่ยนกาซระหว่างภายนอกกับภายในภาชนะบรรจุ และเกิดสมดุลของบรรยากาศใหม่ที่มีความเข้มข้นของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ต่างไปจากเดิม ซึ่งถ้าหากใช้ฟิล์มพลาสติกที่มีอัตราการซึมผ่านของกาซต่ำแล้ว ก็จะก่อให้เกิดการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุ โดยมีความเข้มข้นของออกซิเจนน้อยมาก หรือแทบไม่มีเลย (17,30) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยดังกล่าว ซึ่งตรงกับฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane ที่มีการสะสมของคาร์บอน-ไดออกไซด์ ส่วนในฟิล์ม LDPE และ HDPE นั้น เนื่องจากมีอัตราการซึมผ่านของกาซสูง การสะสมของกาซคาร์บอนไดออกไซด์จึงมีน้อย

5.3.2 ผลของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกต่อลักษณะปรากฏและคะแนนเฉลี่ยของสีผิวของมะนาว

จากการเก็บรักษามะนาวในฟิล์มพลาสติกชนิด PP, OPP และ Cellophane จะได้มะนาวที่มีลักษณะเป็นสีผิวสีน้ำตาล และมีเนื้อเยื่อภายในเป็นสีค่อนข้างคล้ำเมื่อเทียบกับมะนาวสด ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงนั้นจะก่อให้เกิดการผิดปกติทางสรีระ คือทำให้สีผิวของผลไม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Brown discoloration) (12) ซึ่งตรงกับผลการทดลองในมะนาวไทย โดยวารุณี อนุสรณ์พานิช ด้วย (3) การถูกทำลายของเนื้อเยื่อนั้นเกิดขึ้นจากการหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) แม้ว่าบรรยากาศรอบผลไม้จะมีออกซิเจน 1-3 เปอร์เซนต์ แต่ภายในเซลล์มีเพียง 0.2% ซึ่งน้อยมาก (12) ซึ่งผลจากการหายใจแบบไร้ออกซิเจน จะทำให้ได้เอทธานอลและสารอื่นที่เป็น

พิษต่อเซล (9,12,17) และกลไกการเปลี่ยนสีผิวก็จะผิดปกติไปด้วย ส่วนมะนาวที่เก็บในฟิล์ม LDPE และ HDPE นั้น ยังคงมีลักษณะปรากฏปกติ เพียงแต่สีผิวค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 4.7, 4.9, 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.15 ส่วนลักษณะเนื้อเยื่อภายในก็ยังคงมีลักษณะฉ่ำน้ำ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.8, 4.10, 4.14 และ 4.16 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนสีผิวของมะนาว พบว่า อายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคะแนนเฉลี่ยของสีผิวของมะนาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยที่ฟิล์ม HDPE และ LDPE จะไม่มีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่จะแตกต่างจากฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในตารางที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 ซึ่งสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาวในขณะเก็บรักษาเกิดขึ้นจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และทำให้สีเหลืองของคาโรตินอยด์ (Carotenoid) ที่มีอยู่นั้นปรากฏขึ้นมาให้เห็น (9)

5.3.3 ผลของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกต่อเปอร์เซนต์การเน่าเสียของมะนาวในภาชนะบรรจุ

เปอร์เซนต์การเน่าเสียของมะนาวในฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane จะใกล้เคียงกัน โดยที่อายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ เปอร์เซนต์การเน่าเสียจะมีมากกว่าหรือเท่ากับ 50% และที่ 6 สัปดาห์ เปอร์เซนต์การเน่าเสียจะเท่ากับ 100% ส่วนการเน่าเสียของมะนาวในฟิล์ม LDPE และ HDPE นั้น ปรากฏเมื่อ 6-8 สัปดาห์ขึ้นไป โดยเปอร์เซนต์การเน่าเสียในฟิล์ม LDPE จะมีมากกว่าในฟิล์ม HDPE และที่อายุการเก็บ 14 สัปดาห์ เปอร์เซนต์การเน่าเสียของมะนาวในฟิล์ม LDPE และ HDPE เท่ากับ 15.63 และ 3.13% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.14 โดยที่ลักษณะการเน่าเสียของมะนาวในฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane จะมีลักษณะเฉพาะตัว คือ ผิวบางส่วนมีสีน้ำตาลโดยส่วนผิวที่เหลือยังคงมีสีเขียวเข้ม เนื้อเยื่อภายในก็มีสีน้ำตาล ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 ซึ่งลักษณะปรากฏนี้เกิดขึ้นเนื่องจากในภาชนะบรรจุมีความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์สูง และออกซิเจนต่ำ ซึ่งแทนที่มะนาวจะมีการหายใจปกติ แต่มะนาวกลับมีการหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) ซึ่งก่อให้เกิดเอทธานอลและสารอื่น ๆ ที่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งเนื้อเยื่อของพืชจะถูกทำลายและเน่าเสียไปในที่สุด (9,12,17) ส่วนการเน่าเสียของมะนาวในฟิล์ม LDPE และ HDPE นั้น

สาเหตุส่วนใหญ่มาจากเชื้อรา (ดูรูปที่ 4.18, 4.19, 4.20 และ 4.21) แม้จะฆ่าเชื้อราที่ผิวด้วยน้ำยาเบนเลทแล้วก็ตาม แต่ในระหว่างการเก็บรักษาเชื้อราก็สามารถเข้าทำลายผลมะนาวได้ ตามบาดแผลที่เรามองไม่เห็นหรือตามรอยขั้วที่เด็ดผลไม้ (9) หรือการที่มะนาวเข้าสู่ Senescence มะนาวจะเริ่มอ่อนแอ และติดเชื้อได้ง่าย (9,11,12) ซึ่งความชื้นในภาชนะบรรจุก็เหมาะสมกับการเข้าทำลายของเชื้อรา นอกจากนี้ในกรณีของเชื้อราที่ชื่อ Alternaria citri ยังสามารถงอกเส้นใย (Mycelium) ลงไปใต้ผิวของเนื้อเยื่อและพักตัวอยู่ในระหว่างที่ผลกำลังเจริญเติบโต เรียกการพักตัวของโรคว่า Latent infection เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสม เช่น ผลแก่หรือสุก ก็จะเจริญเติบโตและทำลายมะนาวได้ (9) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติต่อเปอร์เซนต์การเน่าเสียเมื่อศึกษาผลของฟิล์มพลาสติกทั้ง 5 ชนิด และอายุการเก็บรักษาพบว่าชนิดของฟิล์มและอายุการเก็บรักษาจะมีผลต่อเปอร์เซนต์การเน่าเสียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.15 แต่เมื่อวิเคราะห์ผลความแตกต่างระหว่างฟิล์ม 2 ชนิด คือ LDPE และ HDPE ตลอดช่วงของการเก็บรักษาพบว่า ทั้งชนิดฟิล์มและอายุการเก็บไม่มีผลแตกต่างต่อเปอร์เซนต์การเน่าเสีย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.16

5.3.4 ผลของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกต่อน้ำหนักสูญเสียของมะนาว

การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น แต่เปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนักก็มีไม่เกิน 3% ที่อายุการเก็บรักษา 14 สัปดาห์ ทั้งของฟิล์ม LDPE และ HDPE ส่วนในฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane มีประมาณ 2% ที่อายุการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ ดังรูปที่ 4.22 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่า ชนิดของฟิล์มทั้ง 5 ชนิด และอายุการเก็บรักษามีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.17 แต่ถึงอย่างไรเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนักในช่วง 2-4 สัปดาห์ การสูญเสียน้ำหนักของแต่ละฟิล์มก็แตกต่างกันน้อยมาก คืออยู่ในช่วง 0.44 ถึง 1.43% เท่านั้น ดังตารางที่ 4.19 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของเปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนักตลอดช่วงการเก็บรักษาพบว่า อายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มคือ LDPE และ HDPE มีผลแตกต่างกันต่อเปอร์เซนต์น้ำหนักที่สูญเสียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.18 ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักเนื่องมาจากมะนาวหลังการเก็บเกี่ยวยังมีชีวิตอยู่ จึงคายน้ำ (Transpiration) ออกจากเนื้อเยื่อ ซึ่งหากเก็บมะนาวไว้ที่อุณหภูมิห้องและมีความชื้นต่ำ มะนาวจะสูญเสียน้ำหนักในอัตรา 1-2% ต่อวัน (10) ในที่สุดมะนาวจะมีผิวเหี่ยวแห้ง สูญเสียคุณสมบัติของการบริโภค แต่การเก็บมะนาวในฟิล์มพลาสติกเช่นนี้จะสามารถ

ป้องกันการสูญเสียน้ำหนักได้ดีมาก เพราะในฟิล์มพลาสติกนั้นความชื้นภายในอาจขึ้นถึง 100% (17) ส่วนสาเหตุที่ฟิล์มต่าง ๆ มีผลทำให้การสูญเสียน้ำหนักแตกต่างกันนั้นเนื่องมาจากฟิล์มแต่ละชนิดมีอัตราการซึมผ่านไอน้ำได้ไม่เท่ากัน (ตารางที่ 4.3) ทำให้ความชื้นภายในภาชนะบรรจุแตกต่างกัน อัตราการสูญเสียน้ำหนักจึงต่างกันโดยฟิล์มที่มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำสูง ความชื้นจะต่ำ ทำให้สูญเสียน้ำหนักได้มากกว่าฟิล์มที่มีอัตราการซึมผ่านไอน้ำต่ำ

5.3.5 ผลของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกต่อคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว

คุณภาพทางเคมีที่ให้ผลในลักษณะเดียวกันในเรื่องของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ ได้แก่ ปริมาณเอทธานอล ปริมาณกรดซิตริก และ pH ของมะนาว กล่าวคือ เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางเคมีเหล่านี้ โดยศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกทั้ง 5 ชนิด พบว่า อายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มจะมีผลต่อคุณภาพเหล่านี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของชนิดของฟิล์มเพียง 2 ชนิด คือ LDPE และ HDPE ตลอดช่วงของการเก็บรักษา พบว่าอายุการเก็บรักษาจะมีผลต่อคุณภาพทางเคมีเหล่านี้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ฟิล์ม LDPE และ HDPE ไม่มีผลแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.20 และ 4.21 (ปริมาณเอทธานอล), 4,23, 4.24 (ปริมาณกรดซิตริก) และ 4.26, 4.27 (pH ของมะนาว) ส่วนผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางเคมีทางด้านปริมาณวิตามินซีและปริมาณของแข็งที่ละลายมีลักษณะต่างไปจากคุณภาพทางเคมีที่กล่าวมาแล้ว

สำหรับรายละเอียดของคุณภาพทางเคมีของสมบัติแต่ละอย่างมีดังนี้

5.3.5.1 ปริมาณเอทธานอล ปริมาณเอทธานอลที่อายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane มีปริมาณสูงเกินกว่า 1000 ppm ส่วนฟิล์ม HDPE และ LDPE มีไม่เกิน 200 ppm เมื่อเก็บรักษาต่อไปจนถึงอายุการเก็บรักษา 14 สัปดาห์ พบว่าปริมาณเอทธานอลจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็น 800 ppm ดังรูปที่ 4.23 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณเอทธานอลในแต่ละฟิล์มแล้ว พบว่า ปริมาณเอทธานอลในฟิล์ม HDPE และ LDPE ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่จะแตกต่างจากฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.22 ซึ่งปริมาณเอทธานอลในฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane มีค่าสูงขึ้น เพราะว่าการหายใจแบบไร้ออกซิเจนจะเร่ง

การสร้างเอทธานอล (9,12,17) ส่วนในฟิล์ม HDPE และ LDPE นั้น ปริมาณเอทธานอลที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานั้น ยังไม่มีรายงานถึงสาเหตุและกลไกการสร้างเอทธานอล แต่คาดว่าการสร้างเอทธานอลผ่านเส้นทางการหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) และยังสามารถสร้างได้จากกรดอะมิโนบางตัว เช่น ไกลซีน (Glycine) และอะลานีน (Alanine) (35) ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่า ในระหว่างการเก็บรักษานั้น มีการหายใจแบบไร้ออกซิเจนเกิดขึ้นบ้าง แต่ปริมาณที่ปรากฏก็มีเพียง 800 ppm เท่านั้น

5.3.5.2 <u>ปริมาณกรดซิตริกของมะนาว</u> ปริมาณกรดซิตริกของมะนาวทุกฟิล์มจะลดจาก 7.3 mg/100 ml โดยของฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane ที่อายุการเก็บ 4 และ 6 สัปดาห์ มีค่า 6 และ 5.5 mg/100 ml ตามลำดับ ส่วนฟิล์ม HDPE และ LDPE นั้น ในระหว่างการเก็บรักษา ปริมาณกรดซิตริกจะค่อย ๆ ลดต่ำลงจนเหลือ 5 mg/100 ml ที่อายุการเก็บ 14 สัปดาห์ ดังรูปที่ 4.24 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกรดซิตริกของมะนาวในฟิล์ม 5 ชนิด ที่อายุการเก็บ 2 และ 4 สัปดาห์ พบว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังตารางที่ 4.25 อายุการเก็บรักษามีผลทำให้ปริมาณกรดซิตริกลดต่ำลง เพราะว่ามะนาวหลังจากการเก็บเกี่ยวก็ยังมีชีวิตอยู่ กระบวนการหายใจก็ดำเนินไปตามปกติ โดยมะนาวสลายกรดซิตริกซึ่งอยู่ในรูปของเกลือซิเตรท (Citrate) ผ่านวงจรเครป (Krebs' Cycle หรือ Tricarboxylic acid cycle) เพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ (36) สำหรับปริมาณกรดซิตริกของมะนาวในฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane ที่มีปริมาณต่ำกว่าปริมาณกรดซิตริกของมะนาวในฟิล์ม LDPE และ HDPE นั้นเนื่องมาจากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีเกินกว่า 10% ขึ้นไปนั้น จะกระตุ้นอัตราการหายใจของผลมะนาวให้มีมากขึ้น (9)

5.3.5.3 <u>การเปลี่ยนแปลง pH ของมะนาว</u> pH ของมะนาวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น ฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane มี pH สูงกว่าฟิล์ม HDPE และ LDPE โดยที่อายุการเก็บรักษา 4-6 สัปดาห์ pH ของฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane จะอยู่ในช่วง 2.3-2.5 ส่วนในฟิล์ม HDPE และ LDPE จะอยู่ในช่วง 2.1-2.3 แต่เมื่อเก็บรักษาไป pH จะเพิ่มขึ้นเป็น 2.4 เมื่ออายุการเก็บรักษา 14 สัปดาห์ ดังรูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ pH ของฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ พบว่าฟิล์ม HDPE และ LDPE ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่แตกต่างจากฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.28 ซึ่งการที่ pH สูงขึ้นเพราะว่าปริมาณกรดซิตริกลดต่ำลงนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้อ 5.3.5.2

5.3.5.4 ปริมาณวิตามินซี ปริมาณวิตามินซีของมะนาวในช่วง 0-6 สัปดาห์ ของฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane จะลดลงไปอยู่ในช่วง 10-20 mg/100 ml ส่วนปริมาณวิตามินซีของมะนาวในฟิล์ม HDPE และ LDPE มีค่าประมาณ 28-30 mg/100 ml และเมื่อเก็บมะนาวต่อไปจนถึง 14 สัปดาห์ ปริมาณวิตามินซีแทบจะไม่ลดลงเลย ดังรูปที่ 4.26 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณวิตามินซีโดยดูผลของชนิดของฟิล์มทั้ง 5 ชนิด และอายุการเก็บรักษาในช่วง 6 สัปดาห์ พบว่าชนิดของฟิล์มและอายุการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณวิตามินซีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.29 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณวิตามินซีในฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ ในช่วง 2-4 สัปดาห์ มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังตารางที่ 4.31 ส่วนการวิเคราะห์ผลของความแปรปรวนของปริมาณวิตามินซีตลอดช่วงของการเก็บรักษา พบว่าอายุการเก็บรักษาและชนิดฟิล์ม คือ HDPE และ LDPE ไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.30 ปริมาณวิตามินซีที่ลดต่ำลงของมะนาวในฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane นั้นเนื่องมาจากวิตามินซีในมะนาวซึ่งอยู่ในรูปของ L ascorbic acid ถูกออกซิไดซ์ (Oxidise) ไปเป็นสารอื่นได้โดยง่าย โดยมีเอนไซม์ 4 ชนิด ที่ช่วยกระตุ้นปฏิกิริยา คือ Ascorbic acid oxidase, Phenolase, Cytochrome oxidase และ Peroxidase ซึ่งพบมากในผลไม้ โดยเอนไซม์เหล่านี้ในสภาพปกติจะมี activity ต่ำ แต่ในสภาพที่เกิดบาดแผล เน่า หรือ Senescence ของเซล เอนไซม์นี้จึง active ขึ้น และจะออกซิไดซ์วิตามินซีไปเป็นสารอื่น (37) ปริมาณวิตามินซีจึงลดต่ำลง ส่วนในระหว่างการเก็บรักษามะนาวในฟิล์ม HDPE และ LDPE ปริมาณวิตามินซีแทบมิได้ลดต่ำลง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานการวิจัยว่า ในการเก็บรักษาทั่วไปนั้น ผลมะนาวมีการสูญเสียของปริมาณวิตามินซีน้อยมาก และปริมาณวิตามินซีเกือบ 100% ยังคงเหลืออยู่ (9)

5.3.5.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของมะนาวในฟิล์มต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน และในระหว่างการเก็บรักษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงจาก 7 เหลือประมาณ 6.5 ดังรูปที่ 4.27 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ชนิดของฟิล์มทุกชนิดไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่อายุการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.32 และ 4.33 ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะว่ามะนาวมีการใช้กรดซิตริกซึ่งอยู่ในรูปของเกลือซิเตรท (Citrate) ซึ่งเป็นของแข็งที่ละลายได้นั่นเอง

5.3.6 ผลของอายุการเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มพลาสติกต่อคุณภาพของมะนาวจากการประเมินผลทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของน้ำมะนาว โดยให้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน ให้คะแนนกลิ่นรสและความชอบ และทำการทดลอง 2 ซ้ำ ผลการทดลองได้แสดงในรูปที่ 4.28, 4.29,และ 4.30 จะเห็นว่าคะแนนของกลิ่นและรสของมะนาวในฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane จะตกอยู่ในช่วงประมาณ 2 ซึ่งหมายความว่า มะนาวมีกลิ่นและรสแปลกปลอม ซึ่งกลิ่นที่สังเกตได้ชัดคือ กลิ่นดอง นอกจากนี้ยังมีรสเผื่อน ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างเอทธานอล และ Acetaldehyde ในกระบวนการหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) นั่นเอง สำหรับจำนวนคนที่ให้คะแนนความชอบของน้ำมะนาวในฟิล์ม PP, OPP และ Cellophane เกินกว่า 3 คะแนน มีเพียง 23-33% เท่านั้น ดังตารางที่ 4.44 จากการประเมินผลทางประสาท-สัมผัสนี้สามารถแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเอทธานอลและคะแนนกลิ่น รส และความชอบของน้ำมะนาวได้โดยที่ความเข้มข้นของปริมาณเอทธานอลเกินกว่า 1100 ppm (รูปที่ 4.23) ผู้ทดสอบชิมสามารถตรวจสอบกลิ่นรสที่แปลกปลอมได้ จึงทำให้คะแนนกลิ่น รส และเปอร์เซนต์ของผู้ทดสอบชิมที่ให้คะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 3 อยู่ในช่วงที่ต่ำมาก สำหรับคะแนนกลิ่นและรสของมะนาวที่เก็บในฟิล์ม HDPE และ LDPE นั้นลดลงจาก 3.5 เหลือประมาณ 3 คะแนน ที่อายุการเก็บรักษา 14 สัปดาห์ น่าจะเป็นเพราะว่าสารระเหย (volatile compound) ของมะนาวที่อยู่บริเวณเปลือก ได้แก่ พวก Terpene hydrocarbon เอทธานอล หรือกรดที่ระเหยได้ เช่น กรดบิวทิริค (Butyric acid) ฯลฯ ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นรส (8) ได้ระเหยออกไป จึงทำให้คะแนนลดลงเล็กน้อย (รูปที่ 4.27 และ 4.28) แต่อย่างไรก็ตาม เปอร์เซนต์ของผู้ทดสอบชิมที่ให้คะแนนความชอบของน้ำมะนาวในฟิล์ม LDPE และ HDPE ที่อายุการเก็บรักษา 14 สัปดาห์ ก็ยังเกินกว่า 60% (ตารางที่ 4.44)

สำหรับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนกลิ่น รส และความชอบของน้ำมะนาวของฟิล์มทุก ๆ ฟิล์ม ที่อายุการเก็บรักษา 1 เดือน ทั้งซ้ำ 1 และซ้ำ 2 โดยแผนการวิเคราะห์แบบ RCBD ได้ให้ผลในลักษณะเดียวกันหมดคือ ชนิดของฟิล์มพลาสติกมีผลต่อคะแนนกลิ่น รส ความชอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.34, 4,35, 4,36, 4,37, 4,38 และ 4,39 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนกลิ่น รส และความชอบของน้ำมะนาวพบว่าฟิล์ม HDPE และ LDPE จะให้คะแนนที่แตกต่างจากฟิล์ม PP, OPP

และ Cellophane อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.40 ส่วนเมื่อวิเคราะห์ผลการแปรปรวนของคะแนนกลิ่น รส และความชอบ ตลอดช่วงของการเก็บรักษาในฟิล์ม HDPE และ LDPE โดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial design พบว่าชนิดของฟิล์มไม่มีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อายุการเก็บรักษาจะมีผลต่อคะแนนกลิ่น และรส แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.41, 4.42 และ 4.43

5.4 ผลของอายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสารดูดกาซเอทธิลีนต่อความเข้มข้นของกาซภายในภาชนะบรรจุ และคุณภาพของมะนาวสด

การเก็บมะนาวนี้ได้เก็บมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน และ 5 เดือน โดยใช้ฟิล์ม HDPE ตลอดการทดลองที่อุณหภูมิ 10±2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% โดยมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 5 เดือน มีเปอร์เซนต์น้ำคั้น 43.90 และ 50.43% ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซนต์น้ำคั้นของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน น้อยกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือนเล็กน้อย แต่เปอร์เซนต์น้ำคั้นดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สีผิวของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน จะมีสีผิวอยู่ในช่วง Green group 137 A และ 137 B ส่วนสีผิวของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน มีสีผิวอยู่ในช่วง Green group 143A, 143B และ Yellow-green group 144A ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.45 แม้ว่าการวิจัยทางด้านการเก็บรักษามะนาวสดจะมีรายงานไว้มาก แต่งานวิจัยทางด้านผลของอายุการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพของมะนาวในระหว่างการเก็บรักษานั้นยังมิได้มีการรายงานมาก่อน สำหรับการวิจัยครั้งนี้จึงนับเป็นงานวิจัยแรกในด้านนี้

5.4.1 ผลของอายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสารดูดกาซเอทธิลีนต่อความเข้มข้นของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุ

ความเข้มข้นของออกซิเจนของมะนาวทุกชุดตั้งแต่อายุการเก็บรักษา 1 เดือนขึ้นไป อยู่ในช่วง 12-17% ส่วนความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 3-5% ดังแสดงในรูปที่ 4.31 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของเปอร์เซนต์กาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุพบว่า อายุการเก็บรักษามีผลต่อความเข้มข้นของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่อายุการเก็บเกี่ยวและสารดูดกาซเอทธิลีนไม่มีผลต่อความเข้มข้นของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.46 และ 4.47

และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์ของกาซทั้งสองพบว่าความแตกต่างเกิดขึ้นในระยะแรกของการเก็บรักษาเท่านั้น ดังตารางที่ 4.48 และ 4.49 อายุการเก็บเกี่ยวของมะนาวมิได้มีผลต่อความเข้มข้นของกาซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เป็นเพราะว่ามะนาวเป็นผลไม้ประเภท non-Climacteric ตลอดระยะเวลาของการแก่และสุกอัตราการหายใจของมะนาวคงที่ (9) ส่วนสารดูดกาซเอทธิลีนมิได้มีผลต่อความเข้มข้นของกาซภายในขณะบรรจุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นเพราะว่าผลไม้ประเภท non Climacteric มีการสร้างเอทธิลีนเพียงเล็กน้อย ในผลไม้ประเภทส้ม (Citrus fruit) มีอัตราการสร้างเอทธิลีนเพียง 0.01-0.1 µl/kg-hr ที่ 20°C (37) และตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโตของมะนาว (Lemon) จนกระทั่งผลแก่และสุกมีเอทธิลีนภายในผลเพียง 0.1-0.2 ppm เท่านั้น (9) และการกระตุ้นการหายใจให้เพิ่มขึ้น โดยอาศัยเอทธิลีนในผลไม้ประเภท non Climacteric จะต้องให้เอทธิลีนในความเข้มข้นที่สูงพอสมควร โดยพบว่า ความเข้มข้น 1 ppm จะทำให้ออกซิเจนถูกดูดซึมไปใช้เพิ่มขึ้นอีก 20% หลังจากนั้นการใช้ออกซิเจนก็จะลดต่ำลง (9)

5.4.2 ผลของอายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสารดูดกาซเอทธิลีนต่อลักษณะปรากฏและคะแนนเฉลี่ยของสีผิวของมะนาว

ในระหว่างการเก็บรักษา มะนาวชุดต่าง ๆ ค่อย ๆ มีการเปลี่ยนสีผิว โดยมะนาวชุด G(K) ยังคงมีสีเขียวปนอยู่แม้จะเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน ซึ่งลักษณะปรากฏและสีผิวของมะนาวได้แสดงในรูปที่ 4.32, 4.33, 4.34 และ 4.35 สำหรับการเปลี่ยนแปลงคะแนนเฉลี่ยของสีผิวของมะนาวพบว่า คะแนนเฉลี่ยของสีผิวของมะนาวทุกชุดจะลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น โดยจะลดลงจาก 5 เหลือ 1 คะแนนทุกชุด ส่วน G(K) มีค่าเกินกว่า 1 คะแนนเล็กน้อย ดังในรูปที่ 4.45 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่าอายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสารดูดกาซเอทธิลีน และอิทธิพลร่วมของ 2 ตัวแปร มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยของสีผิวของมะนาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.50 โดยที่อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยของคะแนนสีผิวลดลง การใช้มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน จะให้ค่าเฉลี่ยของคะแนนสีผิวของมะนาวสูงกว่าการใช้มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน และการใช้สารดูดกาซเอทธิลีนจะให้ค่าเฉลี่ยของคะแนนสีผิวของมะนาวสูงกว่าการไม่ใช้สารดูดกาซเอทธิลีน ดังตารางที่ 4.51 ซึ่งเป็นเพราะว่าในระหว่างการ

เก็บรักษามีการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้สีเหลืองของคาโรตีนอยด์ที่มีอยู่นั้นปรากฏขึ้นมาให้เห็น (9) สำหรับอายุการเก็บเกี่ยวของมะนาว 4 เดือน ที่ทำให้คะแนนสีผิวสูงกว่านั้นเป็นเพราะว่า มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน เข้าสู่ระยะสุกได้ช้ากว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน นอกจากนี้มีการเชื่อว่าในผลไม้ที่มีอายุน้อยมีสารต้านทานการสุก (9) แต่ถึงอย่างไรเมื่อเก็บมะนาวไปได้ 2 เดือน มะนาวชุด G(O) ก็มีสีผิวใกล้เคียงกับชุด M(O) ส่วนสารดูดกาซเอทธิลีนทำให้สีผิวของมะนาวดีขึ้นเพราะว่า เอทธิลีนเป็นกาซที่ช่วยเร่งการเปลี่ยนสีผิวของผลไม้ การใช้สารดูดกาซเอทธิลีนทำให้ความเข้มข้นของเอทธิลีนในภาชนะบรรจุลดลง การเปลี่ยนสีผิวจึงเกิดได้ช้าลง ซึ่งผลการทดลองนี้ก็สอดคล้องกับการทดลองของ Passam และ Blunden ซึ่งเก็บมะนาว (Lime) โดยมีสารดูดกาซเอทธิลีนไว้ที่อุณหภูมิห้อง (10)

5.4.3 <u>ผลของอายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสารดูดกาซเอทธิลีนต่อเปอร์เซนต์การเน่าเสียของมะนาว</u>

เปอร์เซนต์การเน่าเสียของมะนาวชุด M มีมากกว่ามะนาวชุด G ที่อายุการเก็บรักษา 3 และ 4 เดือน ตามลำดับ โดยที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือน ของมะนาวชุด M(O) และ M(K) มีเปอร์เซนต์การเน่าเสียเท่ากับ 11.25 และ 7.5% ตามลำดับ ส่วนมะนาว G(O) และ G(K) เท่ากับ 1.25 และ 0.00% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.52 ซึ่งเปอร์เซนต์การเน่าเสียของมะนาวชุด G(O) และ G(K) มีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่มีผู้รายงานไว้ที่อายุการเก็บรักษาเดียวกัน เช่น เปอร์เซนต์การเน่าเสียของมะนาวที่เก็บแบบควบคุมบรรยากาศของกาซออกซิเจน 10% คาร์บอนไดออกไซด์ 5% เท่ากับ 5.5% (3) หรือเปอร์เซนต์การเน่าเสียของมะนาวที่เก็บแบบเคลือบขี้ผึ้งเท่ากับ 15% (16) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่าอายุการเก็บรักษามากขึ้น ทำให้เปอร์เซนต์การเน่าเสียมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน มีเปอร์เซนต์การเน่าเสียมากกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่การใช้สารดูดกาซเอทธิลีนไม่มีผลต่อเปอร์เซนต์การเน่าเสียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.53 และ 4.54 ซึ่งสาเหตุของการเน่าเสียของมะนาวมาจากการที่มะนาวเข้าสู่ Senescence มะนาวจะเริ่มอ่อนแอและติดเชื้อได้ง่าย (9,11,12) การที่มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน มีเปอร์เซนต์การเน่าเสียมากกว่าเพราะว่าเข้าสู่ Senescene ได้เร็วกว่านั่นเอง

5.4.4 ผลของอายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสารดูดกาซเอทธิลีนต่อน้ำหนักที่สูญเสีย

การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวทุกชุดจะสูงขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น แต่การสูญเสียน้ำหนักของมะนาวที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือน มีไม่เกิน 4% ดังรูปที่ 4.46 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่า อายุการเก็บรักษามีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่อายุการเก็บเกี่ยวและสารดูดกาซเอทธิลีนไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.55 และ 4.56 การที่อายุการเก็บรักษาทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น เพราะมะนาวยังมีชีวิตอยู่ ยังมีการคายน้ำเกิดขึ้นตามปกติอยู่ตลอดเวลา (9,11) อายุการเก็บเกี่ยวมิได้มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักนั้นเป็นเพราะว่า มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 และ 5 เดือน มีชั้นของ cuticle หนาใกล้เคียงกันและมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มิได้อ่อนเกินไปจนกระทั่งมี cuticle ที่บางและทำให้การสูญเสียน้ำหนักมีมาก ส่วนการไม่พบผลของสารดูดกาซเอทธิลีนต่อการสูญเสียน้ำหนักนี้ก็สอดคล้องกับการวิจัยของ Passam และ Blunden ซึ่งเก็บมะนาว (Lime) ที่อุณหภูมิห้อง (10)

5.4.5 ผลของอายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสารดูดกาซเอทธิลีนต่อคุณภาพทางเคมีของน้ำมะนาว

5.4.5.1 ปริมาณเอทธานอล ปริมาณเอทธานอลของมะนาวทุกชุดจะสูงขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น โดยที่เมื่ออายุการเก็บรักษาเท่ากับ 4 เดือน มะนาวชุดที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน มีปริมาณเอทธานอลอยู่ในช่วง 900-1100 ppm ส่วนมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน ปริมาณเอทธานอลอยู่ในช่วง 600-700 ppm ดังรูปที่ 4.47 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่า อายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว มีผลต่อปริมาณเอทธานอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยที่อายุการเก็บรักษามากขึ้น ปริมาณเอทธานอลจะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การใช้มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน จะมีปริมาณเอทธานอลสูงกว่าการใช้มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน แต่สารดูดกาซเอทธิลีนมิได้มีผลต่อปริมาณเอทธานอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.57 และ 4.58 กลไกการเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทธานอลในระหว่างการเก็บรักษายังไม่เด่นชัด แต่คาดว่าการสร้างเอทธานอลนั้นผ่านเส้นทาง

การหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) (35) และการเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทธานอลน่าจะเป็นปรากฏการณ์อย่างหนึ่งของการเข้าสู่ Senescence การที่มะนาวชุด M มีปริมาณเอทธานอลสูงกว่ามะนาวชุด G น่าจะเป็นเพราะอายุการเก็บเกี่ยวที่นานกว่าจะเข้าสู่ Senescenceได้เร็วกว่า

5.4.5.2 <u>ปริมาณกรดซิตริก</u> ปริมาณกรดซิตริกของมะนาวทุกชุดลดลงเล็กน้อยเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น โดยลดลงจาก 7.5-8 mg/100 ml เป็น 5.5-6.3 mg/100 ml เมื่ออายุการเก็บรักษา 4 เดือน ดังรูปที่ 4.48 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดซิตริกพบว่าอายุการเก็บรักษามากขึ้น ปริมาณกรดซิตริกจะลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การใช้มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน จะทำให้ปริมาณกรดซิตริกต่ำกว่าการใช้มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สารดูดกาซเอทธิลีนไม่มีผลต่อปริมาณกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.59 และ 4.60 แต่อิทธิพลร่วมระหว่างอายุการเก็บรักษาและสารดูดกาซเอทธิลีนมีผลต่อปริมาณกรดซิตริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.59 ปริมาณกรดลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น เพราะว่ามะนาวยังคงมีการหายใจปกติเช่นเดียวกับเซลล์ที่มีชีวิต โดยมีการย่อยสลายกรดซิตริกในรูปของเกลือซิเตรทในกระบวนการ Kreb's Cycle เพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ (36) การที่มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน มีปริมาณกรดซิตริกต่ำกว่ามะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนเล็กน้อย เพราะว่า ในระหว่างการสุกของผลไม้ปริมาณกรดจะลดลงพร้อม ๆ กับมีการเพิ่มน้ำตาล (9) มะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน จึงมีปริมาณกรดน้อยกว่าเพราะแก่และสุกมากกว่า การใช้สารดูดกาซเอทธิลีนมิได้มีผลต่อปริมาณกรดซิตริก เพราะว่าปริมาณเอทธิลีนที่สร้างขึ้นนั้นมีน้อยมาก ดังเหตุผลที่ได้แสดงเอาไว้ในข้อ 5.4.1 แต่จากแนวโน้มที่ปรากฏในรูปที่ 4.48 สารดูดกาซเอทธิลีนช่วยให้ปริมาณกรดสูงกว่าในกรณีที่ไม่ใช้สารดูดกาซเอทธิลีน ที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือนเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นไปได้ที่ว่า สารดูดกาซเอทธิลีนช่วยลดอัตราการสลายกรดซิตริกได้บ้างเล็กน้อย

5.4.5.3 <u>pH ของมะนาว</u> ปริมาณ pH ของมะนาวทุกชุดค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น โดยอยู่ในช่วง 2.4-2.6 ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ดังรูปที่ 4.49 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ pH พบว่า อายุการเก็บรักษามากขึ้น pH จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ส่วนอายุการเก็บเกี่ยวและสารดูดกาซเอทธิลีนไม่ได้มีผลต่อ pH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.61 และ 4.62 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ pH ในระหว่างการเก็บรักษาเกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณกรดซิตริกที่ลดต่ำลงเนื่องจากการนำไปใช้ในกระบวนการหายใจนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในรูปที่ 4.48

5.4.5.4 ปริมาณวิตามินซี ปริมาณวิตามินซีของมะนาวทุกชุดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 32-38 mg/100 ml ดังแสดงในรูปที่ 4.50 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณวิตามินซีของมะนาวพบว่าทั้งอายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสารดูดกาซเอทธิลีนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.63 ทั้งนี้เป็นเพราะว่า สภาวะที่เก็บรักษามิได้รุนแรงมากจนกระทั่งเกิดการสลายตัวของวิตามินซี ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยที่ผ่าน ๆ มาว่า ในการเก็บรักษาทั่วไปมะนาวมีการสูญเสียวิตามินซีน้อยมาก ปริมาณวิตามินซีเกือบ 100% ยังคงเหลืออยู่ (9)

5.4.5.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของมะนาวทุกชุดมีค่าลดลงจาก 8.1 เหลือประมาณ 7 ที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือน ดังรูปที่ 4.51 จากการวิเคราะห์ทางสถิติและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่า อายุการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.65 และ 4.66 ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลง เมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น เพราะว่าเกลือซิเตรทซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของของแข็งที่ละลายได้ถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ ปริมาณจึงน้อยลง

5.4.6 ผลของอายุการเก็บรักษา อายุการเก็บเกี่ยว และสารดูดกาซเอทธิลีนต่อคุณภาพของมะนาวจากการประเมินผลทางประสาทสัมผัส

5.4.6.1 การประเมินผลโดยผู้ทดสอบชิมในห้องปฏิบัติการ การประเมินผลนี้ใช้ผู้ทดสอบชิมมะนาวเป็นจำนวน 15 คน ทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยการให้คะแนนความเปรี้ยว กลิ่นรส และความชอบของน้ำมะนาว พบว่า คะแนนความเปรี้ยวลดลงน้อยมาก ในมะนาวทุกชุด คือลดลงจาก 3.3-3.5 คะแนน เป็น 3.20-3.24 คะแนน ส่วนคะแนนกลิ่นรสพบว่า มะนาวชุด M มีคะแนนต่ำกว่ามะนาวชุด G ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา และที่อายุการเก็บ 4 เดือน มะนาวชุด M มีคะแนนกลิ่นรส 2.93-3.02 คะแนน ส่วนชุด G มีคะแนนกลิ่นรส 3.30-3.34 คะแนน ส่วนคะแนนความชอบก็ให้ผลในลักษณะเดียวกับคะแนนกลิ่นรส ดังตารางที่ 4.67 เมื่อ

วิเคราะห์ผลทางสถิติและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่า อายุการเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความเปรี้ยว ส่วนคะแนนกลิ่นรสและความชอบพบว่า อายุการเก็บรักษาและอายุการเก็บเกี่ยวมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 4.68, 4.69, 4.70, 4.71, 4.72 และ 4.73 ซึ่งเป็นเพราะว่าในระหว่างการเก็บรักษาปริมาณเอทธานอลจะสูงขึ้น และปริมาณเอทธานอลของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 5 เดือน มีมากกว่าปริมาณเอทธานอลของมะนาวที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนนั่นเอง

5.4.6.2 <u>การประเมินผลจากผู้ทดสอบชิมด้วยการนำมะนาวไปประกอบเป็นอาหาร</u> ซึ่งการประเมินผลได้แสดงออกมาในรูปของเปอร์เซนต์การกระจายของคะแนนในช่วงต่าง ๆ ต่อสีผิว กลิ่นรส ก่อนและหลังประกอบเป็นอาหารของมะนาวชุดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.74, 4.75, 4.76 และ 4.77 ดังนี้คือ

มะนาวชุด M(O) เปอร์เซนต์การกระจายของคะแนนในช่วงชอบ 6-9 ได้ลดลง ทั้งในด้านสีผิว กลิ่นรส ก่อนและหลังประกอบเป็นอาหาร และที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือน เปอร์เซนต์การกระจายในช่วงชอบ 6-9 ของสีผิว กลิ่นรส ก่อนและหลังประกอบเป็นอาหารเท่ากับ 70, 45 และ 50% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.74 ทั้งนี้เป็นเพราะว่า มะนาวชุดนี้เริ่มมีกลิ่นรสหมักดองและขม แต่ถึงอย่างไรเปอร์เซนต์การยอมรับที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือนก็เท่ากับ 70% ซึ่งนับว่ามากพอสมควร แต่การยอมรับนี้ก็ต่ำกว่าการเก็บรักษามะนาวโดยการควบคุมบรรยากาศในการเก็บของ วารุณี อนุสรณ์พานิช ที่ ออกซิเจน 10% คาร์บอนไดออกไซด์ 5% (3) เล็กน้อย แต่ถึงอย่างไรวิธีการเก็บภายในภาชนะบรรจุก็สะดวกกว่ามาก

สำหรับมะนาวชุด M(K) เปอร์เซนต์การกระจายของคะแนนคล้าย ๆ กับของมะนาวชุด M(O) แต่มะนาวชุด M(K) นั้น ที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือน มีเปอร์เซนต์การกระจายในช่วงชอบ 6-9 คะแนน เพิ่มขึ้นเป็น 100% ทั้งในด้านสีผิวกลิ่นรสก่อนและหลังประกอบเป็นอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 4.75 ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ในการทดสอบชิมมะนาวแต่ละชุดผู้ทดสอบชิมมิได้เป็นกลุ่มผู้ชิมเดียวกันตลอด เพราะต้องการทราบข้อมูลที่แท้จริงว่าผู้ที่นำมะนาวไปประกอบเป็นอาหารนั้น จะยอมรับมะนาวที่ผ่านการเก็บรักษาไว้หรือไม่ สำหรับมะนาวชุดนี้ เปอร์เซนต์การยอมรับเท่ากับการเก็บโดยการควบคุมบรรยากาศ โดยมีออกซิเจน 10% คาร์บอนไดออกไซด์ 5% ของ วารุณี อนุสรณ์พานิช (3)

มะนาวชุด G(O) การกระจายของคะแนนในช่วงชอบ 6-9 ได้ลดลงเล็กน้อย ทั้งในด้านสีผิว กลิ่นรส ก่อนและหลังประกอบเป็นอาหาร โดยที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือน มีเปอร์เซนต์การกระจายของคะแนนในช่วงชอบ 6-9 คะแนน ของสีผิว กลิ่นรสก่อนและหลังประกอบเป็นอาหาร เป็น 85, 80 และ 85% ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซนต์การยอมรับเท่ากับ 100% ดังแสดงในตารางที่ 4.76 เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางเคมี โดยเฉพาะปริมาณเอทธานอล และการทดสอบชิมในห้องปฏิบัติการ มะนาวในกลุ่มนี้น่าจะเป็นมะนาวที่มีคุณภาพดีมากรองจากชุด G(K)

มะนาวชุด G(K) นับเป็นมะนาวที่มีคุณภาพดีที่สุดของการทดลองครั้งนี้ ซึ่งประเมินจากคุณภาพทางเคมี และการชิมในห้องปฏิบัติการ แต่เปอร์เซนต์การกระจายของคะแนนในช่วงชอบ 6-9 คะแนน ต่ำกว่ามะนาวชุด G(O) ดังแสดงในตารางที่ 4.77 ทั้งนี้เป็นเพราะว่า กลุ่มผู้บริโภคกลุ่มนี้ชิมมะนาวทุก ๆ 1 เดือน เป็นเวลา 4 เดือน แม้จะไม่ใช่ชุดเดียวกันตลอด เริ่มเกิดความรู้สึกเบื่อและอคติต่อมะนาวที่เก็บรักษาไว้ หรือไม่ก็ขึ้นกับนิสัยของการบริโภค แต่อย่างไรก็ดีการที่มะนาวชุด G(O) มีเปอร์เซนต์การกระจายของคะแนนในช่วงชอบ 6-9 คะแนน สูงกว่าชุด G(K) ก็เป็นเครื่องชี้ให้เห็นว่า ในการเก็บรักษามะนาวนั้น อาจไม่จำเป็นต้องใส่สารดูดกาซเอทธิลีน เพราะการยอมรับก็เท่ากับ 100% ที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือน