หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 หาระดับความสุกของมะม่วง และความหวานของน้ำเชื่อมที่เหมาะสม

จากการทดลองคัดเลือกแยกระดับความสุกของมะม่วงโดยอาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะพบว่า คุณภาพของมะม่วงที่ระดับความสุกต่างกัน จะแตกต่างกันด้วย ตามตารางที่ 2 กล่าวคือ มะม่วงที่สุก จะมีความถ่วงจำเพาะมากขึ้น ความหวานวัดในรูปของ °Brix เพิ่มขึ้นจากประมาณ 13 % เป็นราว 17.5 % ในระยะเวลา 6 วัน และ pH จะเพิ่มขึ้นจาก 3.4 เป็น 5.0 ในขณะที่ acidity จะลดลงจาก 0.3 % เป็น 0.11 % และเมื่อดูจากลักษณะภายนอกจะเห็นว่าเมื่อความถ่วงจำเพาะมากขึ้น สีเนื้อด้านนอก และเนื้อด้านใน จะเหลืองขึ้น แต่สีเปลือกอาจไม่เหลืองขึ้นก็ได้ ดังนั้นระดับความสุกของมะม่วงไม่อาจบอกได้โดยการดูลักษณะภายนอกเพียงอย่างเดียว ต้องใช้ปัจจัยอื่นประกอบด้วย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทวารสารปริทัศน์ นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่า ในมะม่วงผลเดียวกัน ความสุกยังไม่เท่ากันตลอดทั้งผล จึงอาจทำให้วัตถุดิบมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก ลักษณะมะม่วงที่ระดับความสุกต่างกัน แบ่งตามความถ่วงจำเพาะ แสดงได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งเมื่อทดลองใช้มะม่วงที่ความสุกทั้ง 4 ระดับ และน้ำเชื่อม 3 ระดับ มาทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ระดับความสุกของมะม่วงมีผลต่อ สี กลิ่น ความเปรี้ยว และ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ส่วนความหวานของน้ำเชื่อมมีผลต่อ กลิ่น และ ความหวานของผลิตภัณฑ์ เท่านั้น (ตารางที่ 3) ซึ่งถ้าดูจากการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ DMRT (ตารางที่ 4) พบว่ามะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.04 - 1.05 (ระดับความสุก A2) ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ความเปรี้ยว และลักษณะเนื้อสัมผัส ใกล้เคียงกับที่ความถ่วงจำเพาะ 1.05 - 1.06 และมากกว่า 1.06 (ระดับความสุก A3 และ A4 ตามลำดับ) และยังให้กลิ่นมะม่วงมากกว่าระดับความสุกอื่นๆ ด้วย ส่วนที่ความถ่วงจำเพาะ 1.03 - 1.04 (ระดับความสุก A1) แม้จะได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี และลักษณะเนื้อสัมผัสสูงกว่าระดับความสุกอื่นๆ แต่เนื่องจากให้กลิ่นมะม่วงน้อยที่สุด และมีระดับความสุกต่ำที่สุด จึงไม่เลือกใช้ ส่วนความหวานของน้ำเชื่อมที่ได้รับการยอมรับสูงสุดคือ 30 °Brix ซึ่งที่ความหวานของน้ำเชื่อมระดับนี้เป็นระดับที่เข้มข้นมาก (extra heavy) แต่ที่เป็นที่ยอมรับอาจเนื่องจาก pH ของผลิตภัณฑ์น้อยกว่า 4 (จากการปรับ pH ของน้ำเชื่อมให้มี pH ประมาณ 3.8 ± 0.2) ซึ่งค่อนข้างเปรี้ยว เมื่อน้ำเชื่อมมีความหวานมากขึ้นก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติดีขึ้นด้วย

5.2 หาเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เวลามีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์เท่านั้น (ตารางที่ 5) และจากการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 6) พบว่า เวลาในการฆ่าเชื้อ 10 และ 15 นาที มะม่วงได้รับคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และยังได้คะแนนเฉลี่ยน้อยกว่าที่เวลา 20 นาที ซึ่งโดยปกติแล้ว เมื่อให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์นานขึ้น ผลิตภัณฑ์มักจะมีสีคล้ำมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจาก การเกิด caramelization และ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น Maillard reaction ซึ่งถูกเร่งด้วยความร้อน (25,26,27,28) แต่ที่เวลาในการฆ่าเชื้อ 20 นาที กลับได้คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสมากกว่าที่เวลา 10 และ 15 นาที อาจเป็นเพราะความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อสีเข้มในระดับนั้นมีมากกว่า ประกอบทั้งมีความจำกัดของผู้ทดสอบ และมีความแปรปรวนจากตัวอย่างของชิ้นมะม่วงที่ผู้ทดสอบได้รับด้วย อย่างไรก็ตาม ได้เลือกใช้เวลาในการฆ่าเชื้อ 10 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่น้อยที่สุดเป็นเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากคุณลักษณะด้านอื่นๆ ยกเว้นสีของผลิตภัณฑ์ ที่เวลาในการฆ่าเชื้อต่างกันไม่มีความแตกต่างกัน และการใช้เวลาในการฆ่าเชื้อที่น้อยกว่าย่อมช่วยให้กระบวนการผลิตรวดเร็วขึ้น และใช้ค่าใช้จ่ายถูกลงด้วย และจากผลการตรวจสอบทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อทั้ง 3 ระดับ ไม่พบการเจริญของเชื้อเมื่อบ่มผลิตภัณฑ์ไว้ที่ 50 °C นั่นแสดงว่า เวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ 10 นาที น่าจะเพียงพอที่จะทำลายเชื้อที่อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เสียได้

5.3 ผลของ $CaCl_2$ และ ascorbic acid ในน้ำเชื่อมต่อคุณภาพของมะม่วงชิ้นในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง

เมื่อทดลองแปรปริมาณ $CaCl_2$ และ ascorbic acid ในน้ำเชื่อมที่ใช้บรรจุมะม่วงชิ้น ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อเป็นเวลา 10 นาที แล้วเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ นำมาศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ได้ผลดังต่อไปนี้

5.3.1 สีของมะม่วง และการเกิดสีน้ำตาล

5.3.1.1 สีของมะม่วง

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ ที่เก็บไว้ทั้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน และที่ 42 °C เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง $CaCl_2$ และ ascorbic acid มีผลต่อสีของเนื้อมะม่วงอย่างเห็นได้ชัด และตัวแปรทั้งสองยังมี interaction ระหว่างกันด้วย (ตารางที่ 7 และ 9) จากการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 8 และ 10) พบว่า treatment ที่ไม่ใส่ $CaCl_2$ (A1)

จะได้รับคะแนนน้อยกว่า treatment ที่ใส่ $CaCl_2$ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเห็นได้ชัดเมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น ส่วน treatment ที่ไม่ใส่ ascorbic acid (B1) จะได้รับคะแนนน้อยกว่า treatment ที่ใส่ ascorbic acid ที่ $CaCl_2$ ระดับเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า สีของมะม่วงจะด้อยลง เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิเก็บ 42 °C

5.3.1.2 การเกิดสีน้ำตาล

จากผลในตารางที่ 11 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งวิเคราะห์โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร จะเห็นว่า ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างที่เติม $CaCl_2$ เท่านั้นที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยยิ่งเก็บไว้นานสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น แต่ตัวอย่างที่เก็บไว้ที่ 42 °C (ตารางที่ 13) พบว่า นอกจาก $CaCl_2$ แล้ว ascorbic acid ก็มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลเช่นกัน แต่น้อยกว่า $CaCl_2$ และยังพบ interaction ระหว่าง $CaCl_2$ และ ascorbic acid เมื่อพิจารณาจากการเกิดสีน้ำตาลที่วัดได้ (ตารางที่ 12 และ 14) พบว่า ที่อุณหภูมิเก็บ 42 °C จะวัดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นได้มากกว่าที่อุณหภูมิห้อง นั่นแสดงว่า อุณหภูมิเก็บมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล

นำผลจากตารางที่ 12 และ 14 มาแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4 และ 5 เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 4) จะเห็นว่า เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น treatment ที่ไม่ใส่ $CaCl_2$ (A1) จะทำให้เกิดสีน้ำตาลมากกว่า treatment ที่ใส่ $CaCl_2$ และยังทำให้เกิดสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่อเก็บนานขึ้นด้วย ส่วนผลของ ascorbic acid ยังไม่เด่นชัดนัก แต่พอจะดูแนวโน้มได้ว่า treatment ที่ไม่ใส่ ascorbic acid (B1) จะทำให้เกิดสีน้ำตาลมากกว่า treatment ที่ใส่ ascorbic acid และ treatment ที่ใส่ ascorbic acid 200 มิลลิกรัม ต่อน้ำเชื่อม 100 กรัม จะทำให้เกิดสีน้ำตาลมากกว่า treatment ที่ใส่ ascorbic acid ระดับอื่น ๆ ที่ $CaCl_2$ ระดับเดียวกัน ส่วนการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 42 °C (รูปที่ 5) จะเห็นว่า เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น treatment ที่ไม่ใส่ $CaCl_2$ จะทำให้เกิดสีน้ำตาลมากขึ้น และมากกว่า treatment ที่ใส่ $CaCl_2$ ที่ทุกระดับของ ascorbic acid และเมื่อพิจารณาผลของ ascorbic acid ที่ $CaCl_2$ ระดับเดียวกัน ยังไม่พบความแตกต่างของระดับ ascorbic acid มากนัก ทั้งนี้จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า $CaCl_2$ มีผลในการลดการเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่า ascorbic acid ทำให้ ascorbic acid มีความสำคัญลดลง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า $CaCl_2$ สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้ แต่สำหรับผลของ ascorbic acid นั้นยังไม่เด่นชัดนัก ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในผลไม้กระป๋องเกิดจากสาเหตุ 3 ประการคือ 1) ปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่าง free carbonyl group และ amino acid และ pH ที่เหมาะสมของปฏิกิริยานี้คือ pH ที่ค่อนข้างเป็นด่าง (27,29,30) ซึ่งในผลิตภัณฑ์นี้มี pH ค่อนข้างเป็นกรด คือ น้อยกว่า 4 2) ปฏิกิริยา oxidation ของ ascorbic acid ซึ่งยังแบ่งได้เป็น 2 สภาวะคือ ในขณะที่ยังมี O_2 อยู่ในกระป๋อง ascorbic acid จะถูก oxidize โดยเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทอิเลคตรอน และมีโลหะ (โดยเฉพาะ Cu^{2+}, Fe^{3+})

เป็น catalyst หรือไม่ก็ได้ ผ่าน ascorbate anion ได้เป็น ascorbate radical anion ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ O_2 อย่างรวดเร็ว ให้ dehydroascorbic acid หลังจากนั้น lactone ring ของ dehydroascorbic acid จะถูก hydrolyse ไปเป็น 2,3-diketogulonic acid (DKG) การ oxidize ในสภาวะนี้เกิดได้เร็วที่ pH ที่เป็นกลาง คงที่ที่ pH ที่เป็นด่าง และเกิดได้ช้าที่ pH ที่เป็นกรด เมื่อ O_2 ภายในกระป๋องถูกใช้หมดไป ascorbic acid ก็จะถูก oxidize โดยผ่าน keto tautomer ซึ่งมันจะเกิดสมดุลกับ anion ของมันเอง แล้วเปิด lactone ring ให้ DKG ในสภาวะนี้การ oxidize เกิดได้เร็วที่ pH 4 ภายใต้สภาวะที่ไม่มี O_2 และในสารละลายที่เป็นกรด DKG จะให้ furfural CO_2 L-xylose และ organic acid หลายตัว ซึ่งอาจทำปฏิกิริยากับ amino acid หรือไม่ก็ตาม ได้เป็นสีน้ำตาลเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ (27,28,29,30) 3) active aldehyde group ได้แก่ fructose ในผลไม้ หรือ invert sugar ที่เกิดจากการ hydrolyse sucrose ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็น furfural ในสารละลายที่เป็นกรด แล้วจะรวมกับ amino acid ซึ่งแม้มีเพียงเล็กน้อย ได้เป็นสีน้ำตาล (27,29,30) ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลนี้ เราไม่สามารถสรุปลงได้อย่างแน่ชัดว่าเกิดจากปฏิกิริยาใด อาจเกิดจากปฏิกิริยาหลายปฏิกิริยารวมกันก็ได้ (29)

จากปฏิกิริยาทั้ง 3 ปฏิกิริยาที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่าตัวสำคัญที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลคือ carbonyl group amino acid และ ascorbic acid ด้วยเหตุผลนี้ หากเราสามารถป้องกัน active site ของสารเหล่านี้เราก็จะสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ Eskin และคณะ (27) กล่าวไว้ว่า Ca-salt สามารถยับยั้งปฏิกิริยานี้ได้ โดยการเกิด chelation ของ Ca^{2+} กับ amino acid ทำให้ amino acid ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้ และจากปฏิกิริยา oxidation ของ ascorbic acid จะเห็นว่าปฏิกิริยาต้องเกิดผ่าน intermediate ที่มี carbonyl group หลาย group ซึ่งคุณสมบัตินี้เองที่อาจทำให้ intermediate เหล่านี้สามารถ chelate กับ Ca^{2+} ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร เช่นเดียวกับ chelating agent ตัวอื่นๆ (30) จึงทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ ส่วน ascorbic acid นั้น โดยหน้าที่แล้วเป็น reducing agent ที่ดี สามารถจับ O_2 และป้องกันปฏิกิริยา oxidation ที่อาจเกิดขึ้นได้ ในการวิจัยนี้จุดประสงค์ที่ใช้ ascorbic acid คือต้องการให้ ascorbic acid จับ O_2 เพื่อป้องกันการเกิด oxidation และการทำลาย aroma ของผลิตภัณฑ์ แต่จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าตัว ascorbic acid เองก็สามารถทำให้เกิดสีน้ำตาลได้เช่นกัน ซึ่งอาจทำให้การยอมรับลดลง แต่จากคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 9 และ 10) พบว่า treatment ที่ใส่ ascorbic acid ที่ $CaCl_2$ ระดับเดียวกัน ยังคงทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่คล้ำ และเป็นที่ยอมรับอยู่

5.3.2 กลิ่น รสมะม่วง และปริมาณสารให้ aroma

5.3.2.1 กลิ่นและรสมะม่วง

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น รสมะม่วงของผลิตภัณฑ์ พบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วทั้ง $CaCl_2$ และ ascorbic acid มีผลต่อกลิ่น รสมะม่วงของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 15,17,19 และ 21) แต่มีผลต่อกลิ่นมากกว่า และเมื่อพิจารณาจากคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 16,18,20 และ 22) พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้ว treatment ที่ไม่ใส่ ascorbic acid (B1) จะได้รับคะแนนน้อยกว่า treatment ที่ใส่ ascorbic acid ที่ $CaCl_2$ ระดับเดียวกัน แต่ผลยังไม่เด่นชัดนัก และ treatment ที่ไม่ใส่ $CaCl_2$ (A1) ส่วนใหญ่จะได้รับคะแนนน้อยกว่า treatment ที่ใส่ $CaCl_2$ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น รสมะม่วงทั้งที่อุณหภูมิห้อง และ 42 °C ตลอดระยะเวลาเก็บเกิดขึ้นไม่มากนัก

5.3.3.2 ปริมาณสารให้ aroma

จากตารางที่ 23 และ 25 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารให้ aroma เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง และที่ 42 °C ตามลำดับ พบว่า ทั้ง $CaCl_2$ และ ascorbic acid มีผลต่อปริมาณสารให้ aroma ของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยความแตกต่างของปริมาณสารให้ aroma ในแต่ละ treatment จะมากขึ้นเมื่อเวลาเก็บนานขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 42 °C $CaCl_2$ และ ascorbic acid แสดงผลได้ไม่ชัดเจน นอกจากนี้ยังพบ interaction ระหว่าง $CaCl_2$ และ ascorbic acid

จากการเปรียบเทียบปริมาณสารให้ aroma ที่วัดได้ในแต่ละ treatment (ตารางที่ 24 และ 26) เมื่อแสดงเป็นกราฟ (รูปที่ 6 และ 7) สามารถอธิบายผลของ ascorbic acid ได้ว่า treatment ที่ไม่ใส่ ascorbic acid (B1) จะวัดปริมาณสารให้ aroma ได้น้อยกว่า treatment ที่ใส่ ascorbic acid ที่ $CaCl_2$ ระดับเดียวกันเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง ส่วนที่อุณหภูมิ 42 °C ascorbic acid จะแสดงผลได้เด่นชัดขึ้นในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บ แต่จากการทดลองครั้งนี้ไม่สามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่า ascorbic acid ระดับใดที่ทำให้มีปริมาณสารให้ aroma มากที่สุด เนื่องจาก ascorbic acid ทั้ง 3 ระดับ ให้ปริมาณสารให้ aroma ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนผลของ $CaCl_2$ อธิบายได้ว่า treatment ที่ใส่ $CaCl_2$ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณสารให้ aroma มากกว่า treatment ที่ไม่ใส่ $CaCl_2$ (A1) ที่ ascorbic acid ระดับเดียวกัน และเมื่อดูจากกราฟ ในรูปที่ 6 จะเห็นว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง และระยะเวลาเก็บนานขึ้น treatment ที่ใส่ $CaCl_2$ 0.75 กรัม ต่อน้ำเชื่อม 100 กรัม ปริมาณสารให้ aroma มีแนวโน้มที่จะคงที่มากขึ้น และมีปริมาณมากกว่า treatment ที่ไม่ใส่ $CaCl_2$ และใส่ $CaCl_2$ 0.25 และ 0.50 กรัม ต่อน้ำเชื่อม 100 กรัม แต่ทั้งหมดจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเก็บไว้ที่ 42 °C (รูปที่ 6) ระยะเวลาเก็บ 8 สัปดาห์

ยังไม่สามารถทำให้เห็นความแตกต่างของแนวโน้มของปริมาณสารให้ aroma ในผลิตภัณฑ์ที่แต่ละระดับของ $CaCl_2$ และปริมาณสารให้ aroma จะลดลงตามเวลาเก็บเช่นกัน

จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า ทั้ง $CaCl_2$ และ ascorbic acid มีผลต่อการรักษากลิ่น รสมะม่วงและปริมาณสารให้ aroma โดยระดับของ $CaCl_2$ ที่สามารถรักษา aroma ไว้ได้มากที่สุดคือ 0.75 กรัม ต่อน้ำเชื่อม 100 กรัม แต่ยังไม่สามารถบอกระดับของ ascorbic acid ที่จะรักษา aroma ไว้ได้มากที่สุด การที่ ascorbic acid สามารถรักษา aroma ไว้ได้นั้น เนื่องจาก flavor compounds ในมะม่วงโดยส่วนใหญ่จะเป็น monoterpene hydrocarbon (มีหน่วยย่อยเป็น isoprene unit) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น volatile substances ด้วย (31) ดังนั้นจึงมี unsaturated double bond อยู่ในโมเลกุลเป็นจำนวนมาก (29) หากในระบบมี O_2 อยู่ด้วย flavor compounds เหล่านี้ก็จะถูก oxidize ทั้งยังสามารถระเหยได้เมื่อให้ความร้อน ทำให้มะม่วงสูญเสีย flavor ไป Adams และคณะ (16) กล่าวไว้ว่า flavor ของผลไม้จะสูญเสียได้ระหว่างกระบวนการให้ความร้อน และระหว่างการเก็บ ซึ่งเกิดขึ้นได้จากการระเหยเข้าไปใน headspace และถูกทำให้สลายตัว และนอกจากนี้การเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ในบางครั้งอาจทำให้เกิด off-flavor ได้ด้วย (32) ดังนั้น ascorbic acid ซึ่งมีคุณสมบัติที่เป็น reducing agent ที่ดีก็จะสามารถจับ O_2 (18) ไม่ให้ทำลาย flavor compounds ได้ (6) ส่วน $CaCl_2$ คาดว่าน่าจะมีส่วนช่วยในการรักษา aroma ไว้ เนื่องจากช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล ดังที่ได้กล่าวแล้วในการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี และการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ แต่ข้อสรุปนี้ยังไม่เป็นที่แน่ชัด ซึ่งควรจะได้มีการค้นคว้าวิจัยหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดสีน้ำตาล และการเกิด off-flavor ของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการป้องกันด้วย ในการทดลองครั้งนี้ไม่สามารถบอกระดับของ ascorbic acid ที่เหมาะสมได้ ข้อผิดพลาดอาจเนื่องจาก วิธีวิเคราะห์ที่ใช้เป็น rapid analysis ซึ่งไม่ละเอียดพอที่จะวัดความแตกต่างของ volatile substances ได้ดีเช่นเดียวกับวิธีทาง chromatography และนอกจากนี้ยังอาจเกิดจากข้อจำกัดของเครื่องกลั่นไอน้ำซึ่งไม่สามารถทำให้เป็นระบบปิดได้อย่างสมบูรณ์จึงอาจเกิดการรั่วไหลของ volatile substances ในระหว่างการกลั่นได้

5.3.3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วง และปริมาณ pectin

5.3.3.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่า ทั้ง $CaCl_2$ และ ascorbic acid มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วง แต่ $CaCl_2$ จะให้ผลที่เด่นชัดมากกว่า และนอกจากนี้ยังพบ interaction ระหว่างตัวแปรทั้งสองด้วย (ตารางที่ 27 และ 29) และจากการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 28 และ30) พบว่า เมื่อเวลาเก็บนานขึ้นทั้งที่อุณหภูมิห้อง และ 42 °C

treatment ที่ไม่ใส่ $CaCl_2$ (A1) จะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วงด้อยลง ส่วน treatment ที่ใส่ $CaCl_2$ ระดับอื่นๆ ยังคงทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีอยู่ โดยมีคะแนนการยอมรับอยู่ในช่วง 11 - 19 คะแนน

5.3.3.2 ปริมาณ pectin

จากตารางที่ 31 และ 33 ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ pectin เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้อง และที่ 42 °C เป็นระยะเวลาต่างกัน ตามลำดับ พบว่า $CaCl_2$ เท่านั้นที่มีผลต่อปริมาณ pectin ในเนื้อมะม่วง และจากการเปรียบเทียบปริมาณ pectin ที่วัดได้ในแต่ละ treatment (ตารางที่ 32 และ 34) และเมื่อแสดงเป็นกราฟ (รูปที่ 8 และ 9) พบว่า treatment ที่ไม่ใส่ $CaCl_2$ (A1) ปริมาณ pectin มีแนวโน้มที่จะลดลง เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้น มากกว่า treatment ที่ใส่ $CaCl_2$ และระดับของ $CaCl_2$ ที่สามารถรักษา pectin ไว้ได้มากที่สุดคือ 0.75 กรัม ต่อน้ำเชื่อม 100 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากมะม่วงที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นมะม่วงห่าม ซึ่งได้รับการยอมรับสูงสุดจากการเลือกระดับความสุกที่เหมาะสม ดังนั้นจะมี protopectin ซึ่งเป็น water insoluble pectin ในปริมาณค่อนข้างสูง เมื่อนำไปบรรจุกระป๋อง protopectin นี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็น water soluble pectin แพร่ออกจากเนื้อมะม่วงไปสู่น้ำเชื่อม ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของมะม่วงเสียไป การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากความร้อนจากกระบวนการผลิต และ acid hydrolysis การใส่ Ca-salt จะช่วยรักษาลักษณะเนื้อสัมผัส และ pectin ในเนื้อมะม่วงไว้ได้ (16,17,29,30,32) โดย Ca^{2+} จะไป form gel กับ carboxyl group ของสาย polygalacturonic acid ทำให้โมเลกุลเกิด crosslink ทั้งนี้ยังขึ้นกับว่าสาย polygalacturonic acid นั้นมี free carboxyl group มากน้อยเพียงใด นั่นแสดงว่าหากมี water soluble pectin ในปริมาณสูง ก็จะต้องใช้ Ca-salt มากเช่นกัน และนอกจากนี้ยังขึ้นกับว่า ในระบบมี Ca-complexing agents เช่น citrate ion มากน้อยเพียงใดด้วย (165) สำหรับในการทดลองนี้ใส่ $CaCl_2$ ลงในน้ำเชื่อมซึ่งปรับ pH ด้วย citric acid ทำให้มี pH ประมาณ 3.8 ± 0.2 ซึ่งค่อนข้างต่ำ ทำให้ Ca^{2+} จับกับ citric acid เกิดเป็น Ca-citrate และนอกจากนี้ Ca^{2+} บางส่วน ก็อาจถูกใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลด้วย (ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในการตรวจคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี และการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์) ดังนั้น $CaCl_2$ ที่ระดับ 0.25 และ 0.50 กรัม ต่อน้ำเชื่อม 100 กรัม อาจให้ Ca^{2+} ไม่เพียงพอที่จะจับกับ pectin ทำให้ประสิทธิภาพในการรักษา pectin ลดลง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของคุณลักษณะทุกด้านของผลิตภัณฑ์ และการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยที่ได้ พบว่า มีความแปรปรวนอยู่มาก จนทำให้บอกไม่ได้ว่า ปัจจัยต่างๆ ที่ศึกษานั้นมีผลอย่างเด่นชัดต่อผลิตภัณฑ์มากน้อยเพียงใด ซึ่งอาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของมะม่วง แม้จะคัดให้มีระดับความสุกเดียวกันแล้วก็ตาม ในมะม่วงผลเดียวกันก็ยังคงมีความสุกไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งผล และข้อจำกัดของผู้ทดสอบซึ่งได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น นอกจากนี้เกณฑ์การให้คะแนนในการทดสอบทางประสาทสัมผัส อาจไม่ละเอียดพอ และลำดับความสำคัญของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ถูกจัดเรียงไม่ดีพอ จึงเป็นเหตุให้ผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างในแต่ละ treatment ได้ เมื่อได้ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส และผลการวิเคราะห์ทางเคมี เช่นการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี และการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ โดยวิเคราะห์การถดถอย และสหสัมพันธ์ พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจาก ค่า r^2 (coefficient of determination) ต่ำกว่า 0.70 จึงเพียงแต่ชี้ได้ว่า การวิเคราะห์ทางเคมีน่าจะชี้ให้เห็นผลของการใช้ $CaCl_2$ และ ascorbic acid มากกว่าทางประสาทสัมผัส แต่ก็ยังต้องทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อทดสอบการยอมรับ