

ผลของการใช้เอนไซม์ต่อเสถียรภาพของอิมัลชันจาก
ไฮโดรไลเสตของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ *Mangifera indica* L.

นางสาวเกวลี คุรุณาสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF ENZYMES UTILIZATION ON STABILITY OF EMULSION FROM
NAM DOK MAI MANGO *Mangifera indica* L. PULP HYDROLYSATE

Miss Kewalee Karunasawat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

เกวลิ์ ครุณาสวัสดิ์ : ผลของการใช้เอนไซม์ต่อเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตของ
เนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ *Mangifera indica* L. (EFFECTS OF ENZYMES UTILIZATION ON
STABILITY OF EMULSION FROM NAM DOK MAI MANGO *Mangifera indica* L.

PULP HYDROLYSATE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร. ปราณี อานเป็รื่อง, 137 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยเอนไซม์และหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ผลิตได้ รวมทั้งใช้ไฮโดรไลเสตมะม่วงเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในน้ำกะทิและน้ำมัน จากการคัดเลือกผลมะม่วงแก่พบว่า มะม่วงแก่ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.015-1.028 เป็นมะม่วงที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว เมื่อนำผลมะม่วงแก่มาบ่มที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 6 วัน จะมีเนื้อสีเหลืองค่อนข้างสด มีกลิ่นหอมมะม่วง และมีรสหวานมากกว่าระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกใช้มะม่วงสุกระดับนี้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วง และพบว่าเนื้อมะม่วงสุกมีใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเท่ากับ 10.29, 2.36 และ 7.94 g/ 100 g dry weight (dw) ตามลำดับ มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเท่ากับ $5.55 \mu\text{g dw}/ \mu\text{g DPPH}$ หรือ $51.18 \mu\text{M trolox equivalent}/ \text{g dw}$ และมีปริมาณเบต้าแคโรทีน $49.24 \mu\text{g}/ \text{g dw}$ สำหรับในการทดลองหาภาวะควบคุมการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลของเนื้อมะม่วงโดยแปรระยะเวลาการให้ความร้อนด้วยไอน้ำจนจุดกึ่งกลางเนื้อมะม่วงมีอุณหภูมิ 85°C นาน 0-5 นาที ร่วมกับการใช้กรดอินทรีย์ 2 ชนิด คือกรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริก โดยแปรความเข้มข้นกรดในช่วง 0-0.5% (w/w) พบว่า การให้ความร้อนนาน 3 นาที ร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.5% (w/w) เป็นภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลในเนื้อมะม่วง และจากการทดลองผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์โดยแปรความเข้มข้นของเอนไซม์ 0.5-2.5% (v/w) และแปรเวลาการย่อย 0-6 ชั่วโมงพบว่า การใช้เอนไซม์เข้มข้น 2.0% (v/w) และเวลาการย่อย 0, 0.5, 1.5 และ 4 ชั่วโมง สามารถแบ่งระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินที่ประเมินจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้เป็น 4 ระดับ คือ 45.78, 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fresh weight (fw) ตามลำดับ จากการศึกษาลักษณะเฉพาะของไฮโดรไลเสตมะม่วงในช่วงดังกล่าวเปรียบเทียบกับไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ พบว่าไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw มีใยอาหารที่ละลายน้ำและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำน้อยกว่า และขนาดอนุภาคเล็กกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fw ขึ้นไป มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw ขึ้นไป จะมีสีเหลืองอมทอง มีกลิ่นรสมะม่วงชัดเจน และมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนมากกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับการหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วง โดยแปรค่า pH 3-7 และแปรอุณหภูมิในการเตรียมอิมัลชัน $30-70^\circ\text{C}$ พบว่า ที่ pH 5 และอุณหภูมิ 30°C เป็นภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วง และจากการทดลองหาภาวะที่อิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงมีเสถียรภาพสูงสุดโดยแปรความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนต 0-6% (w/w) และแปรปริมาณน้ำมัน 10-40% (v/w) พบว่า อิมัลชันที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fw โซเดียมเคซีเนต 2% (w/w) และน้ำมัน 20% (v/w) เป็นภาวะที่อิมัลชันมีเสถียรภาพสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนการประยุกต์ใช้ไฮโดรไลเสตมะม่วงกับน้ำกะทิและน้ำมันพบว่า น้ำกะทิและน้ำมันที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 59.84 mg glucose/ g fw ตามลำดับ มีเสถียรภาพสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และสังขยาที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 และ 79.83 mg glucose/ g fw มีคะแนนด้านสีกลิ่นรส ความเป็นเนื้อเดียวกัน และการยอมรับโดยรวมมากกว่าสังขยาที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีชีวภาพ..... ลายมือชื่อ.....

ปีการศึกษา.....2551..... ลายมือชื่อ.....ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

4972230823 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEYWORDS : NAM DOK MAI/ MANGO/ HYDROLYSATE/ ENZYME/ EMULSION

KEWALEE KARUNASAWAT: EFFECTS OF ENZYMES UTILIZATION
ON STABILITY OF EMULSION FROM NAM DOK MAI MANGO

Mangifera indica L. PULP HYDROLYSATE. ADVISOR: ASSOC. PROF.

PRANEE ANPRUNG, Ph.D., 137 pp.

The objective of this research was to study the production of NAM DOK MAI mango (*Mangifera indica* L.) hydrolysate using enzyme treatment, evaluate the optimum condition for emulsion preparation of this hydrolysate, and apply this hydrolysate to use as an emulsifier in coconut milk and cow milk. From the selection of ripe mango, it was found that mango with specific gravity of 1.015-1.028 was appropriate for harvesting. The mango ripened at $30\pm 2^\circ\text{C}$ for 6 days had yellow color, fragrant and pleasant flavor and sweet taste significantly higher than other levels ($p\leq 0.05$). Therefore, the mango at this ripeness level was used as raw material in mango hydrolysate production. This pulp had total, soluble, and insoluble dietary fiber contents of 10.29, 2.36, and 7.94 g/100 g dry weight (dw), respectively. Furthermore, the antioxidant activities and β -carotene content were 5.55 $\mu\text{g dw}/\mu\text{g DPPH}$ or 51.18 $\mu\text{M trolox equivalent}/\text{g dw}$, and 49.24 $\mu\text{g}/\text{g dw}$, respectively. The optimum condition for control of browning reaction in mango pulps by blanching at 85°C with acid adding was examined by varying blanching time (0-5 min) and the acid content (0-0.5% (w/w) ascorbic acid or citric acid). The result showed that browning reaction was controlled when blanched at 85°C for 3 min and added 0.5% (w/w) ascorbic acid. The production of mango hydrolysate using Pectinex[®] Ultra SP-L was evaluated by varying enzyme concentration (0.5-2.5% (v/w)) and hydrolysis time (0-6 h). It was found that mango pulp treated with 2.0% (v/w) enzyme and hydrolyzed for 0, 0.5, 1.5, and 4 h can yield four different pectin hydrolysis levels express in different amounts of reducing sugars (45.78, 59.84, 79.83, and 94.80 mg glucose/ g fresh weight (fw)) released during the treatment. The characteristics of mango hydrolysate derived from these treatment conditions compared with non-enzyme treatment showed that mango hydrolysate at hydrolysis level of 79.83 and 94.80 mg glucose/ g fw had soluble dietary fiber and antioxidant activities greater, but insoluble dietary fiber and smaller droplet size lower than other hydrolysis levels significantly ($p\leq 0.05$). The mango hydrolysate at hydrolysis level higher than 59.84 mg glucose/ g fw had β -carotene content greater than other hydrolysis levels significantly ($p\leq 0.05$). The sensory test result showed that mango hydrolysate at hydrolysis level higher than 79.83 mg glucose/ g fw, had yellow color, pleasant flavor, and smoothness higher than other hydrolysis times significantly ($p\leq 0.05$). The optimum condition for emulsion preparation of mango hydrolysate was evaluated by varying pH (3-7) and temperature (30 - 70°C). It can be inferred that pH 5 and 30°C were the most suitable conditions. The condition with the highest emulsion stability was evaluated by varying sodium caseinate concentration (0-6% (w/w)) and oil content (10-40% (v/w)). The result showed that the emulsion of mango hydrolysate at hydrolysis level of 59.84 mg glucose/ g fw, 2% (w/w) sodium caseinate, and 20% (v/w) oil had the highest stability. The application of mango hydrolysate in coconut milk and cow milk products showed that coconut milk and cow milk with mango hydrolysate at hydrolysis level of 79.83 and 59.84 mg glucose/ g fw, respectively, had the highest emulsion stability ($p\leq 0.05$). In addition, custard with mango hydrolysate at hydrolysis level of 59.84 and 79.83 mg glucose/ g fw showed the scores on color, mango flavor, smoothness, and overall acceptability greater than custard with non-enzyme treated mango hydrolysate significantly.

Field of Study : Biotechnology Student's Signature :

Academic Year : 2008 Advisor's Signature :

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ปราณี อานเป็รื่อง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนคอยผลักดันให้ผู้วิจัยมีความเพียรพยายามในการทำวิจัย และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ นอกจากนี้ยังให้ความรู้ และแนวคิดทางด้านวิชาการ ตลอดจนแนวทางในการดำเนินชีวิตอันเป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยในอนาคต

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.รมณี สงวนดีกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชื่นจิต ประกิตชัยวัฒนา และ ผศ.ดร.สุภัทรา ลิลิตชาญ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล และเจ้าหน้าที่ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนุภาค คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องวัดขนาดอนุภาค และให้คำแนะนำที่เกี่ยวข้องอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท มินทานา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์โซเดียมเคซีเนตเพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และบุคลากรสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ และภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกด้านต่างๆ ตลอดจนงานวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนปริญญาโท พี่ปริญญาเอก และน้องๆ สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ และภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกคน รวมทั้งเพื่อนๆ ปริญญาตรี ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณ โครงการนวัตกรรมเพื่อยกระดับคุณภาพและความปลอดภัยทางอาหารสู่โครงสร้างเศรษฐกิจยุคใหม่ ทุนวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ขอขอบคุณพี่สาว น้องชาย และญาติทุกคนที่คอยเอาใจใส่ ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่ง รวมทั้งให้การสนับสนุนและส่งเสริมผู้วิจัยจนประสบผลสำเร็จในการศึกษาตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะม่วง และมะม่วงน้ำดอกไม้.....	3
2.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีกายภาพของมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว.....	6
2.3 คุณค่าทางอาหารของเนื้อมะม่วง.....	7
2.4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในเนื้อมะม่วง.....	8
2.5 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์จากมะม่วง.....	11
2.6 อิมัลชัน.....	13
2.7 สารอิมัลซิไฟเออร์.....	18
2.8 บทบาทของเอนไซม์เพกทิเนสในการแปรรูปผัก และผลไม้.....	21
3 การดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมี และอุปกรณ์.....	27
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	30
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	40
4.1 การคัดเลือกระดับความแก่-สุกของมะม่วงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ.....	40
4.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเนื้อมะม่วงสุก.....	43
4.3 ภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของมะม่วงตีปั่น.....	45
4.4 ภาวะการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์.....	51
4.5 ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทิน ในระดับการย่อยสลายต่างๆ.....	56

รูปที่	หน้า
4.6 ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบ เพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ.....	61
4.7 การประยุกต์ใช้ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อย สลายต่างๆ กับน้ำกะทิ และน้ำนม.....	75
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	82
รายการอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	97
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....	97
ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส.....	110
ภาคผนวก ค สูตรสังขยา.....	113
ภาคผนวก ง รายละเอียดของเอนไซม์.....	114
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	115
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดข้อมูลเพิ่มเติม.....	121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	137

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทย.....	8
2.2	ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ.....	10
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ค่าความถ่วงจำเพาะต่างๆ.....	41
4.2	ลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อมะม่วงสุกระดับต่างๆ.....	42
4.3	คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส ของเนื้อมะม่วงสุกที่ระดับต่างๆ	43
4.4	สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในเนื้อมะม่วงสุกที่ใช้เป็นวัตถุดิบ.....	44
4.5	ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ	60
4.6	คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ.....	61
4.7	คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของสังขยาที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงเป็นส่วนผสม.....	81
จ.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของผลมะม่วงแก่ที่ระดับต่างๆ...	115
จ.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีในระบบ CIE LAB ของเนื้อมะม่วงที่ระดับความสุกต่างๆ.....	115
จ.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อมะม่วงที่ระดับความสุกต่างๆ	115
จ.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น และรสของเนื้อมะม่วงที่ระดับความสุกต่างๆ	116
จ.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความสว่าง ค่าสีเหลือง และค่า pH ของเนื้อมะม่วงตีปั่นที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ....	116
จ.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่า pH ค่าสีในระบบ CIE LAB และระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ.....	117

ตารางที่	หน้า	
จ.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีในระบบ CIE LAB ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ขนาดอนุภาค และความหนืดของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ.....	117
จ.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณใยอาหาร ปริมาณเบต้าแคโรทีน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ.....	118
จ.9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ....	118
จ.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 และ 30 วัน ความหนืด และการแยกชั้นของอิมัลชันซึ่งเตรียมที่ค่า pH ต่างๆ.....	118
จ.11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 และ 30 วัน ความหนืด และการแยกชั้นของอิมัลชันซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ.....	119
จ.12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 และ 30 วัน ความหนืด และการแยกชั้นของอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต ปริมาณน้ำมัน และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ.....	119
จ.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 และ 30 วัน ความหนืด และการแยกชั้นของน้ำกะทิที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ.....	120
จ.14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 และ 30 วัน ความหนืด และการแยกชั้นของน้ำมันที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ.....	120
ฉ.1	ค่า pH และค่าสีของเนื้อมะม่วงดิบที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control).....	122
ฉ.2	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ.....	123
ฉ.3	ค่าความสว่างของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ.....	124
ฉ.4	ค่าสีเขียวของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ.....	125

ตารางที่	หน้า
ฉ.5	ค่าสีเหลืองของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ..... 126
ฉ.6	ค่า pH ในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ..... 127
ฉ.7	ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ..... 128
ฉ.8	ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 และ 30 วัน ความหนืด และการแยกชั้นของอิมัลชันซึ่งเตรียมที่ค่า pH ต่างๆ..... 129
ฉ.9	ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 และ 30 วัน ความหนืด และการแยกชั้นของอิมัลชันซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ..... 130
ฉ.10	ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 และ 30 วัน ความหนืด และการแยกชั้นของอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต ปริมาณน้ำมัน และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ..... 131
ฉ.11	ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 และ 30 วัน ความหนืด และการแยกชั้นของน้ำกะทิที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ.. 136
ฉ.12	ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 และ 30 วัน ความหนืด และการแยกชั้นของนํ้านมที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ... 136

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	อัตราการทำลายของผลไม้ในช่วงการเจริญเติบโตระยะต่างๆ	5
2.2	โครงสร้างทางเคมีของเบต้าแคโรทีน.....	9
2.3	กลไกการเกิดและการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากการทำงานของ เอนไซม์ PPO ด้วยสารรีดิวซ์	12
2.4	การสูญเสียเสถียรภาพของอิมัลชันรูปแบบต่างๆ	15
2.5	ความเกี่ยวข้องของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ในเนื้อเยื่อ พืช	19
2.6	โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบเพกทินซึ่งบางส่วนถูกเอสเทอร์ไฟต์ด้วย เมทานอล.....	20
2.7	ปฏิกิริยาของเอนไซม์เพกทิเนสชนิดต่างๆ.....	23
3.1	ขั้นตอนการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วง ด้วยเอนไซม์.....	33
3.2	ขั้นตอนการคัดเลือกค่า pH ที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสต มะม่วง.....	36
3.3	ขั้นตอนการคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสต มะม่วง.....	37
3.4	ขั้นตอนการคัดเลือกความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนต และปริมาณน้ำมันที่ เหมาะสมสำหรับอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วง.....	38
4.1	ลักษณะภายนอกของผลมะม่วง 3 ระดับความสุก	41
4.2	สีเนื้อมะม่วงดิบที่ไม่ผ่านการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เก็บที่อุณหภูมิ 10±2°C นาน 5 วัน.....	46
4.3	สีเนื้อมะม่วงดิบที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลด้วยการให้ความ ร้อนที่เวลาต่างๆ และการเติมกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น ต่างๆ เก็บที่อุณหภูมิ 10±2°C นาน 5 วัน.....	46
4.4	สีเนื้อมะม่วงดิบที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลด้วยการให้ความ ร้อนเป็นเวลานาน 1, 3 และ 5 นาที ควบคู่กับการเติมกรดแอสคอร์บิก และกรด ซิตริกที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บที่อุณหภูมิ 10±2°C นาน 5 วัน.....	47

รูปที่	หน้า
4.5	ค่าเฉลี่ยความสว่างของเนื้อมะม่วงตีปั่นที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ..... 48
4.6	ค่าเฉลี่ยสีเหลืองของเนื้อมะม่วงตีปั่นที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ 48
4.7	ค่า pH ของเนื้อมะม่วงตีปั่นที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ 51
4.8	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L ที่ความเข้มข้น และเวลาการย่อยต่างๆ..... 52
4.9	การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L ที่ความเข้มข้น และเวลาการย่อยต่างๆ..... 53
4.10	การเปลี่ยนแปลงค่าสีในระบบ CIE LAB ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ 54
4.11	ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L ที่ความเข้มข้น และเวลาการย่อยต่างๆ..... 56
4.12	ขนาดอนุภาคของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่ pH ต่างๆ และเก็บเป็นเวลา 1 วัน..... 63
4.13	ขนาดอนุภาคของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่ pH ต่างๆ และเก็บเป็นเวลา 1 และ 30 วัน..... 63
4.14	ความหนืดของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่ pH ต่างๆ..... 64
4.15	การแยกชั้นของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่ pH ต่างๆ..... 66
4.16	ขนาดอนุภาคของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บเป็นเวลา 1 วัน..... 67

รูปที่	หน้า
4.17	ขนาดอนุภาคของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บเป็นเวลา 1 และ 30 วัน..... 67
4.18	ความหนืดของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ..... 68
4.19	การแยกชั้นของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ..... 69
4.20	ขนาดอนุภาคของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ และมีโซเดียมเคซีเนตและน้ำมันที่ความเข้มข้นต่างๆ ในภาวะการเก็บเป็นเวลา 1 วัน..... 71
4.21	ขนาดอนุภาคของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ และมีโซเดียมเคซีเนตและน้ำมันที่ความเข้มข้นต่างๆ ในภาวะการเก็บเป็นเวลา 1 และ 30 วัน..... 72
4.22	ความหนืดของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ และมีโซเดียมเคซีเนตและน้ำมันที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 73
4.23	การแยกชั้นของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ และมีโซเดียมเคซีเนตและน้ำมันที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 75
4.24	ขนาดอนุภาคของน้ำกะทิ และน้ำมันที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ ในภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 วัน..... 76
4.25	ขนาดอนุภาคของน้ำกะทิ และน้ำมันที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ ในภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 และ 30 วัน..... 77
4.26	ความหนืดของน้ำกะทิ และน้ำมันที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ..... 78
4.27	การแยกชั้นของน้ำกะทิ และน้ำมันที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ..... 79
4.28	ลักษณะของสังขยาที่มีส่วนผสมของน้ำกะทิ และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ หรือไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์จนมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน $79.83 \text{ mg glucose/ g fresh weight}$ 80

รูปที่		หน้า
4.29	ลักษณะของสังขยาที่มีส่วนผสมของน้ำนม และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติม เอนไซม์ หรือไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์จนมีระดับการย่อยสลายสาร ประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fresh weight.....	81
ก.1	กราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox.....	105
ก.2	กราฟมาตรฐานของสารละลาย β -carotene	106
ก.3	กราฟมาตรฐานของสารละลาย Glucose.....	108
ง.1	แอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ pH ต่างๆ.....	114
ง.2	แอกทิวิตีของเอนไซม์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	114

บทที่ 1

บทนำ

มะม่วงเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยมีพื้นที่ในการเพาะปลูกมากเป็นอันดับหนึ่งในจำนวนไม้ผลทั้งหมดของประเทศไทย จากสถิติการส่งออกปี 2535 ประเทศไทยส่งออกมะม่วงสด และมะม่วงแห้งจำนวน 3,947 ตัน และเพิ่มขึ้นเป็น 8,522,104 ตัน หรือประมาณ 2,000 เท่าในปี 2539 (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2539) ประกอบกับประเทศไทยมีภูมิอากาศที่เหมาะสมในการปลูกมะม่วง ทำให้มะม่วงเป็นผลไม้ที่ได้รับการพัฒนาและส่งเสริมการผลิตตามนโยบายของรัฐบาลอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามผลผลิตมะม่วงของประเทศไทยยังคงประสบปัญหาสำคัญอยู่หลายประการ กล่าวคือ ปัญหาราคาตกต่ำในช่วงที่ผลผลิตออกมาก เพราะมะม่วงมีช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวสั้น นอกจากนี้การแปรรูปมะม่วงยังมีปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 1.7 ของปริมาณผลผลิตมะม่วงสดเท่านั้น ดังนั้นการแปรรูปมะม่วงเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงได้รับความสนใจและเป็นแนวทางเพื่อลดการสูญเสียและเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิต ผลิตภัณฑ์มะม่วงที่สำคัญ ได้แก่ มะม่วงบรรจุกระป๋อง น้ำมะม่วง และมะม่วงตากแห้ง

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นผลไม้ที่อยู่ร่วมกับวัฒนธรรมการบริโภคของไทยมาแต่โบราณ ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ คือมีสีเหลืองทอง มีกลิ่นรสเป็นเอกลักษณ์ และมีรสหวาน ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ คือสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ส่วนใยอาหารที่พบในมะม่วงแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่ สารประกอบเพกทิน และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ อีกทั้งมะม่วงน้ำดอกไม้ยังประกอบด้วยวิตามิน เช่น วิตามินเอ และวิตามินซี (Gil, Aguayo และ Kader, 2006; González-Aguilar และคณะ, 2008) นอกจากนี้ลักษณะการบริโภคมะม่วงน้ำดอกไม้ยังแตกต่างจากมะม่วงสายพันธุ์อื่นๆ คือนิยมบริโภคร่วมกับข้าวเหนียวและน้ำกะทิ หรือนำไปแปรรูปร่วมกับน้ำนมเป็นไอศกรีมที่มีลักษณะเป็นครีมข้นซึ่งเมื่อรับประทานร่วมกันจะมีกลิ่นรสมะม่วง และมีเนื้อสัมผัสเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน คล้ายกับการบริโภคสังขยาและน้ำสลัดซึ่งเป็นอาหารระบบอิมัลชัน โดยมีสารประกอบเพกทินในเนื้อมะม่วงทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้เนื้อมะม่วงรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับน้ำกะทิและน้ำนม แต่ผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชันจากมะม่วงไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควรเนื่องมาจากอิมัลชันที่ได้ไม่มีเสถียรภาพ คือเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานาน ของเหลวภายในอิมัลชันจะพยายามรวมตัวกันส่งผลให้อิมัลชันเกิดการแยกชั้น ปัญหาดังกล่าวเกิดจากสารประกอบเพกทินในเนื้อเยื่อผักและผลไม้ส่วนใหญ่มีสายโมเลกุลยาวและมีขั้วน้อย ทำให้สารประกอบเพกทินไม่สามารถทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในระบบอิมัลชัน ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้

เอนไซม์เพกทิเนสย่อยสลายโมเลกุลของสารประกอบเพกทิน ทำให้สารประกอบเพกทินมีขนาดโมเลกุลสั้นลงและมีขั้วเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดสัดส่วนที่สมดุลระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เอนไซม์เพกทิเนสยังทำให้สารประกอบเพกทินยึดจับกับผนังเซลล์โดยรอบอย่างหลวม ส่งผลให้ผักและผลไม้มีเนื้อสัมผัสที่อ่อนลงเกิดการปลดปล่อยสารต่างๆ เช่น รงควัตถุ สารให้กลิ่นรส และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพภายในเนื้อเยื่อพืชออกมาได้มากกว่าการใช้วิธีแปรรูปทางกายภาพ ทำให้ผลิตภัณฑ์อิมัลชันจากมะม่วงที่ได้ยังคงองค์ประกอบเดิมของมะม่วงไว้ และเพิ่มองค์ประกอบใหม่ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ เช่น อิมัลชันที่ได้จะมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น มีสีเหลืองจากเบต้าแคโรทีน ประกอบด้วยใยอาหาร และสารให้กลิ่นธรรมชาติที่เป็นเอกลักษณ์ของมะม่วง

จากที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ต่อเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบวนการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ด้วยเอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า (Pectinex[®] Ultra SP-L) และหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ผลิตได้ รวมทั้งทดลองใช้ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ผลิตได้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในน้ำกะทิและนํ้านม เพื่อเป็นวิถีทางในการประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชัน เช่น สังขยา มายองเนส และน้ำสลัดที่มีสี กลิ่น รส สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และใยอาหารของมะม่วงน้ำดอกไม้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะม่วง และมะม่วงน้ำดอกไม้

2.1.1 มะม่วง

มะม่วงมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. อยู่ในวงศ์ Anacardiaceae เป็นผลไม้ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมากกว่า 4,000 ปี มีถิ่นกำเนิดแถบประเทศอินเดีย และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Gerbaud, 2008) ในปัจจุบันมะม่วงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามถิ่นกำเนิด ได้แก่ มะม่วงกลุ่มอินเดีย (Indian type) มีถิ่นกำเนิดทางตอนเหนือของประเทศอินเดีย นิยมปลูกในประเทศสหรัฐอเมริกาและเม็กซิโก มีเปลือกสีแดง ม่วง หรือส้ม และมีกลิ่นที่แรง ส่วนมะม่วงอีกกลุ่มหนึ่ง คือมะม่วงกลุ่มอินโดจีน (Indo-Chinese type) มีถิ่นกำเนิดแถบอินโดจีน และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ประเทศไทย ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย มีเปลือกสีเขียว หรือเหลือง แต่มีกลิ่นที่อ่อนนุ่ม (ภูวนาท นนทรีย์, 2532) สำหรับมะม่วงในประเทศไทยเป็นมะม่วงกลุ่มอินโดจีน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือมะม่วงป่า และมะม่วงบ้าน ชนิดที่สำคัญ ได้แก่ มะม่วงบ้าน เพราะมีรสชาติดีกว่ามะม่วงป่า และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ (วิจิตร วังใน, 2533) มะม่วงบ้านมีหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์จะมีต้น ใบ ลักษณะผล และรสชาติแตกต่างกันออกไป มะม่วงบ้านที่นิยมรับประทานในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ผล (ถวิล ช่างสุวรรณ, 2525; ภูวนาท นนทรีย์, 2532; วิจิตร วังใน, 2533) ได้แก่

1. มะม่วงรับประทานผลดิบ หรือมะม่วงมัน โดยทั่วไปมะม่วงประเภทนี้จะสุกอย่างรวดเร็ว แต่ผลสุกจะไม่มีรสหวาน ดังนั้นจึงไม่นิยมรับประทานผลสุก เช่น ฟ้ายัน หนองแขง และสายฝน เป็นต้น
2. มะม่วงรับประทานผลสุก มะม่วงประเภทนี้ผลดิบจะมีรสเปรี้ยวมาก แต่เมื่อสุกจะมีรสหวาน ดังนั้นจึงนิยมเก็บจากต้นเมื่อผลแก่เต็มที่ และบ่มให้สุกก่อนรับประทาน เช่น น้ำดอกไม้ อกร่อง สามฤดู หนังกกลางวัน แก้มแดง และโชคอนันต์ เป็นต้น
3. มะม่วงที่ใช่แปรรูปในอุตสาหกรรม มะม่วงประเภทนี้จะมีผลดกมาก เมื่อแก่จัดจะมีรสเปรี้ยวแต่เมื่อสุกจะมีรสหวานอมเปรี้ยว นิยมใช้ทำมะม่วงตากแห้ง มะม่วงดอง และมะม่วงกวน เช่น แก้ว สามปี เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นวัตถุดิบ เพราะเป็นสายพันธุ์ที่อยู่ร่วมกับวัฒนธรรมการบริโภคของไทยมาแต่โบราณ และเป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังเป็นสายพันธุ์ที่ปลูกได้ทั่วไปในประเทศไทย

2.1.2 มะม่วงน้ำดอกไม้

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงประเภทรับประทานผลสุก ปลูกได้ทั่วไปภายในประเทศ ออกดอกดก และให้ผลทั้งปี ลักษณะผลเป็นรูปไข่ มีน้ำหนักประมาณ 300-350 กรัม มีด้านขั้วผล ค่อนข้างค้อมๆ สอบเข้าสู่ปลายผล ใหญ่ผลด้านท้องมน ใหญ่ผลด้านหลังลาดลง ผลดิบมีเปลือก สีเขียวอ่อนและมีนิวล เมื่อสุกจะมีเปลือกสีเหลือง ภายในผลสุกมีเนื้อสีเหลือง ฉ่ำน้ำ มีกลิ่นรสหอมหวาน และมีเมล็ดบาง (ภวนาท นนทรีย์, 2532; วิจิตร วังไ, 2529)

2.1.3 อายุการเก็บเกี่ยว

ความอ่อน-แก่ของผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวมีผลโดยตรงต่อรสชาติของมะม่วง มะม่วงที่เก็บเกี่ยวในระยะที่ผลยังไม่แก่จัดจะใช้เวลาในการบ่มนาน เมื่อสุกผลจะมีลักษณะเขียวเนื่องจากสูญเสียน้ำมาก มีสีเปลือกและเนื้อไม่สวย กลิ่นไม่หอม และมีรสเปรี้ยว แต่ถ้าเก็บเกี่ยวผลมะม่วงที่แก่จัดมากเกินไป เมื่อสุกจะมีเนื้อนิ่มมาก และเนื้อบริเวณใกล้เมล็ดจะขำ (jelly seed) ดังนั้นจึงควรเก็บเกี่ยวมะม่วงในระยะที่ผลแก่เต็มที่หรือระยะที่ผลเจริญเต็มที่ (maturity) เพราะเมื่อผลสุกจะมีสีเปลือกและเนื้อสวย มีกลิ่นหอม และมีรสหวาน (Leverington และ Mayer, 1960) อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของมะม่วงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น แหล่งปลูก ฤดูกาล การให้ปุ๋ย และการตัดแต่ง เป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542)

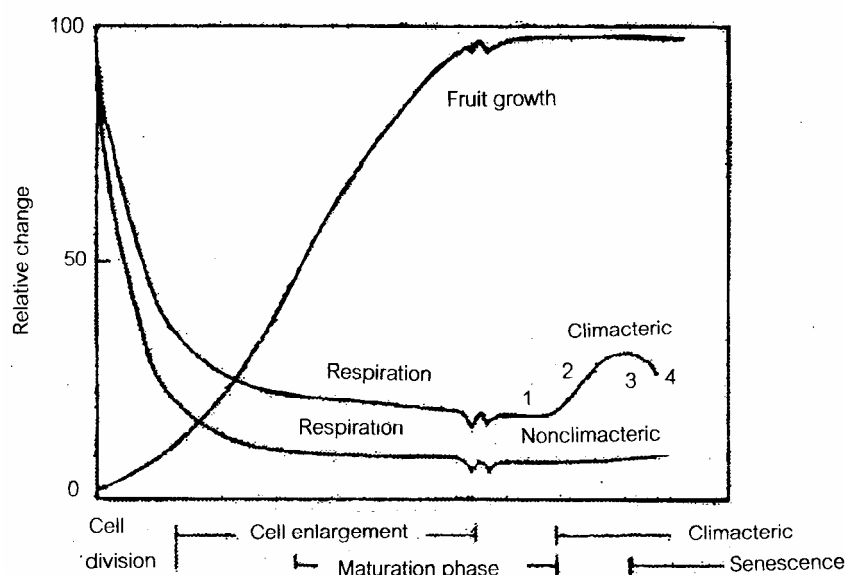
การพิจารณาระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมสำหรับผลไม้เป็นสิ่งที่สำคัญมาก เกณฑ์การเก็บเกี่ยวที่ดีควรเป็นเกณฑ์ที่สามารถตรวจสอบได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ใช้อุปกรณ์ไม่ยุ่งยาก ไม่ทำลายผลิตผล และควรเป็นเกณฑ์ที่ใช้การวัด เช่น การวัดความถ่วงจำเพาะ หรือการวัดปริมาณกรด เป็นต้น มากกว่าการใช้เกณฑ์ที่เป็นการประเมิน เช่น การเคาะฟังเสียง หรือการพิจารณา ลักษณะผล เป็นต้น เพราะจะเกิดความผิดพลาดและความลำเอียงได้ง่าย เกณฑ์การเก็บเกี่ยวมะม่วงที่นิยมใช้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542; Leverington และ Mayer, 1960) ได้แก่

1. การนับอายุผล คือการนับเวลาจากจุดๆ หนึ่งของการเจริญเติบโต
2. การวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น สี รูปร่าง ขนาด ความแน่นเนื้อ และความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) เป็นต้น
3. การวัดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เช่น ความหวาน ปริมาณกรด ปริมาณแป้ง สารประกอบที่ให้สี (pigment) เป็นต้น

การวัดความถ่วงจำเพาะเป็นวิธีที่ง่าย และให้ผลดีสำหรับการหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวมะม่วง เนื่องจากเมื่อผลไม้เจริญเติบโตจะมีการสะสมสารอาหารในรูปแบบต่างๆ เช่น แป้ง และน้ำตาล ซึ่งจะถูกลำเลียงมาสะสมในผลมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ผลมีน้ำหนักแห้งสูงขึ้น ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะจึงเพิ่มขึ้นด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542; เปรมปรี ฌ สงขลา, 2537; Rao และคณะ, 1985; Tandon, Kalra และ Singh, 1988) โดยทั่วไปผลมะม่วงแก่ที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว คือ มะม่วงที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.000 ซึ่งมีค่า pH 3-4 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดซิตริก (%TA) 2.6-2.8% และปริมาณของแข็งที่ละลายได้หมด (TSS) 7-8°Brix (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2529)

2.1.4 การบ่มมะม่วง

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric คือมีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ผลไม้สุกได้ง่าย การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ (1) pre-climacteric (2) climacteric rise (3) climacteric peak และ (4) post climacteric (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 อัตราการหายใจของผลไม้ในช่วงการเจริญเติบโตระยะต่างๆ (1. pre-climacteric, 2. climacteric rise, 3. climacteric peak, 4. post-climacteric) (ดัดแปลงจาก Wills และคณะ, 1998)

จากรูปที่ 2.1 ในระยะ cell division และ cell enlargement ผลไม้จะมีการเจริญเติบโต ผลจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และเกิดการสะสมสารอาหารต่างๆ จนกระทั่งเข้าสู่ระยะเต็มวัย (maturation phase) ผลไม้จึงหยุดการเจริญเติบโต เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่ผลมีการเจริญเติบโตเต็มที่และเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว หลังจากนั้นผลไม้จะเข้าสู่ระยะ climacteric มีอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะลดลง เรียกระยะนี้ว่า post climacteric จากนั้นผลไม้จะเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เกิดการเสื่อมสลาย และเน่าเสีย เรียกว่าระยะ senescence (Seymour, Taylor และ Tucker, 1993) ดังนั้นผลไม้ประเภทนี้หลังการเก็บเกี่ยวแล้วสามารถบ่มให้สุกได้ด้วยเอทิลีน ซึ่งอาจเกิดจากภายในผลไม้เอง หรือเกิดจากภายนอกในรูปของสารละลาย หรือก๊าซ และเมื่อมะม่วงสุกจะเปลี่ยนแปลงไปให้เป็นน้ำตาล เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก สีเนื้อ และมีกลิ่นหอมมะม่วง วิธีการบ่มมะม่วงให้สุกมี 2 วิธีคือ

1. วิธีการใช้สารบ่ม คือการใช้สารเร่งการสุกของผลไม้ เช่น ก๊าซเอทิลีน สารแคลเซียมคาร์ไบด์ เป็นต้น วิธีนี้จะเร่งให้ผลไม้เข้าสู่ระยะ climacteric เร็วขึ้น และผลไม้จะสุกอย่างสม่ำเสมอ

2. วิธีธรรมชาติ คือการทำให้สุกโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี จากการเร่งของก๊าซเอทิลีนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

สำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้สุกที่ขายภายในประเทศส่วนใหญ่จะเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่เต็มที่ ดังนั้นเมื่อเก็บไว้ในที่ๆ มีอากาศถ่ายเทจะสามารถสุกได้เองตามธรรมชาติ

2.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีกายภาพของมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว

2.2.1 แป้ง และน้ำตาล

เมื่อมะม่วงเจริญเติบโตเต็มที่สะสมแป้งไว้ในผลมาก โดยมะม่วงที่เจริญเติบโตเต็มที่จะมีแป้งอยู่ประมาณ 20-25% (Narain และคณะ, 1998) แต่หลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น ดังนั้นแป้งที่ถูกสะสมไว้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลโดยการทำงานของเอนไซม์ ส่งผลให้เนื้อมะม่วงมีปริมาณแป้งลดลง แต่ปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น (Lebrun และคณะ, 2008; Seymour, Taylor และ Tucker, 1993)

2.2.2 กรดอินทรีย์

ภายหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น ส่งผลให้กรดอินทรีย์ต่างๆ ในผลไม้ เช่น กรดซิตริก และกรดมาลิก ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในวัฏจักร krebs (krebs cycle) ของ

กระบวนการหายใจถูกใช้ไปทำให้ปริมาณกรดในเนื้อมะม่วงลดลง และค่า pH เพิ่มขึ้น (Lebrun และคณะ, 2008)

2.2.3 สารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

สารประกอบเพกทินในเนื้อมะม่วงจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมะม่วงสุก Ramulu และ Rao (2003) รายงานว่าเนื้อมะม่วงสุกมีสารประกอบเพกทินอยู่ประมาณ 0.5-2.0 กรัม จากมะม่วงสุกส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม การที่เนื้อมะม่วงสุกมีปริมาณเพกทินเพิ่มขึ้น และปริมาณโปรโตเพกทินลดลงจะทำให้เนื้อมะม่วงนิ่ม และอ่อนตัวลง (ปราณี อ่านปรี้อง, 2547) ส่วนเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสพบว่า จะมีปริมาณลดลงเมื่อผลไม้สุก (Grassin และ Fauquembergue, 1996)

2.2.4 รงควัตถุ (pigments)

ภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้น โดยสีเขียวจากคลอโรฟิลล์จะหายไป และปรากฏสีเหลืองหรือสีแดงซึ่งเป็นรงควัตถุกลุ่มแคโรทีนอยด์ขึ้นมาแทน ซึ่งโดยปกติคลอโรฟิลล์จะถูกสร้างขึ้นและสลายตัวไปตลอดเวลา แต่ในระหว่างการสุก และการเสื่อมสลายคลอโรฟิลล์จะสลายตัวมากและหมดไปในที่สุด Hulme (1971) รายงานว่าในช่วงแรกของการเก็บเกี่ยวมะม่วงจะมีการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น รสอย่างช้าๆ แต่หลังจากนั้นประมาณ 3-4 วัน จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนืองและรวดเร็ว และเนื้อมะม่วงจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง การเพิ่มขึ้นของสีเหลืองชี้ให้เห็นว่ามีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ในระหว่างการสุกของมะม่วง

2.3 คุณค่าทางอาหารของเนื้อมะม่วง

มะม่วงมีคุณค่าทางอาหารสูงเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต วิตามินเอ และวิตามินซี องค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทย วิเคราะห์จากมะม่วงส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทย

องค์ประกอบทางเคมี	น้ำดอกไม้	อกร่อง	แก้ว	ดัดเปิด	ทองดำ
พลังงาน (Kcal)	86.2	77	86	86	66
ความชื้น (%)	82.6	80.1	77.4	72.6	82.4
โปรตีน (g)	0.6	1.0	0.4	1.1	0.6
ไขมัน (g)	0.3	0.2	0.2	0	0.3
คาร์โบไฮเดรต (g)	15.9	17.7	21.0	25.4	15.8
เส้นใย (g)	0.5	0.4	0.6	0.3	0.8
แคลเซียม (mg)	10	29	13	-	41
ฟอสฟอรัส (mg)	15	19	10	22	16
เหล็ก (mg)	0.03	-	0.6	0.3	0.4
วิตามินเอ (I.U.)	3133	694	-	803	-
วิตามินบี 1 (mg)	0.06	0.04	-	0.09	0.03
วิตามินบี 2 (mg)	0.05	0.06	0.05	0.08	0.05
ไนอะซิน (mg)	0.6	-	-	-	-
วิตามินซี (mg)	36	18	48	42	14

หมายเหตุ: - หมายถึงไม่ได้วิเคราะห์

ที่มา: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2530)

2.4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในเนื้อมะม่วง

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) คือสารที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพ นอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการพื้นฐาน เช่น การต้านอนุมูลอิสระ การเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบภูมิคุ้มกัน ลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด ลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคกระดูกพรุน และป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง เป็นต้น (Block, Patterson และ Subar, 1992; Chun และ Kim, 2004; Van't Veer และคณะ, 2000) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในเนื้อมะม่วงแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

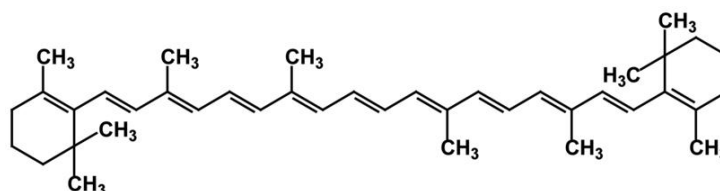
2.4.1 สารกลุ่มที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

สารที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน คือสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระให้หมดไป หรือหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้เกิดต่อเนื่อง โดยทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ถ่ายโอนไฮโดรเจนอะตอมไปยังอนุมูลอิสระ หรือทำหน้าที่ป้องกันการเกิดกระบวนการ

การออกซิเดชัน การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้ เช่น วิธี Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) และ Total radical-trapping antioxidant parameter (TRAP) วิเคราะห์จากการส่งผ่านอะตอมไฮโดรเจน (hydrogen atom transfer, HAT) ส่วนวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) วิเคราะห์จากการส่งผ่านอิเล็กตรอนเดี่ยว (electron transfer, ET หรือ SET) และวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) อาศัยจากทั้งสองหลักการในการวิเคราะห์ (โอบา วัชรคุปต์ และคณะ, 2549; Prior, Wu และ Schaich, 2005) สารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเนื้อมะม่วงสามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิก และสารกลุ่มวิตามิน

2.4.1.1 สารกลุ่มแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่พบในพืชให้สีเหลือง ส้ม และส้มแดง สารกลุ่มแคโรทีนอยด์สำคัญที่พบในเนื้อมะม่วง คือเบต้าแคโรทีน (Godoy และ Rodriguez-Amaya, 1989; Kongkachuichai และคณะ, 2009) เบต้าแคโรทีนจัดเป็นแคโรทีนอยด์ที่สำคัญต่อร่างกาย เพราะเป็นโปรวิตามินเอ (provitamin A) โดยเบต้าแคโรทีน 1 โมเลกุล ประกอบด้วยเบต้าไอโอโนน (β-iononering) 2 วง (รูปที่ 2.2) จึงมีแอกทิวิตีของวิตามินเอสูงสุด สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ 2 โมเลกุล และสามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเข้าจับกับอนุมูลอิสระทำให้เกิดการสลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระ และยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ โรคเกี่ยวกับกระเพาะอาหารและลำไส้ใหญ่ โรคต่อกระดูก และโรคมะเร็งบางชนิด เช่น มะเร็งปอด (Gaziano และคณะ, 1992; Gross, 1991; Steinmetz และ Potter, 1996;) ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ วิเคราะห์จากมะม่วงส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม แสดงดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของเบต้าแคโรทีน

ตารางที่ 2.2 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ

Varieties	β -carotene (μg)
Kheosawoei (unripe)	26.4-42.6
Namdokmai (ripe)	252.4-363.6
Rad (unripe)	15.6-26.8

ที่มา: Kongkachuichai และคณะ (2009)

2.4.1.2 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสำคัญที่พบในผักผลไม้ และธัญพืชชนิดต่างๆ แบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน (Dykes และ Rooney, 2007) กลไกในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกมี 3 กลไก คือ ทำหน้าที่เป็นสารคีเลต (chelating agent) ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันโดยหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain breaking antioxidant) และทำหน้าที่เปลี่ยนรูปวิตามินอีกลับมาใหม่ (regenerate α -tocopherol) (โสภา วัชรคุปต์ และคณะ, 2549) Vasco, Ruales และ Kamal-Eldin (2008) รายงานว่า เนื้อมะม่วงสุกมีสารประกอบฟีนอลิก 60 mg gallic equivalents (GAE) ในขณะที่กล้วยและฝรั่งมีสารประกอบฟีนอลิก 1010 และ 462 mg gallic equivalents (GAE) ตามลำดับ วิเคราะห์จากส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ดังนั้นเนื้อมะม่วงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่นๆ เช่น กล้วย และฝรั่ง เป็นต้น

2.4.1.3 สารกลุ่มวิตามิน

สารกลุ่มวิตามินที่พบในเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ ได้แก่ วิตามินเอ และวิตามินซี ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ (Franke และคณะ, 2004; Gil, Aguayo และ Kader, 2006; González-Aguilar และคณะ, 2008) Vasco, Ruales และ Kamal-Eldin (2008) รายงานว่า เนื้อมะม่วงสุกมีวิตามินซี 19-20 มิลลิกรัม วิเคราะห์จากส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

2.4.2 โยอาหาร (Dietary fiber)

โยอาหาร หมายถึง กลุ่มของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในพืช เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน สารประกอบเพกทิน เบต้ากลูแคน และกัม (Figuerola และคณะ, 2005; Gallaher และ Schneeman, 2001) รับประทานได้ แต่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ ทำให้ไม่มีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจึงผ่านกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กโดยไม่มี

การเปลี่ยนแปลง แต่จุลินทรีย์บางชนิดในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยสลายส่วนประกอบทั้งหมด หรือ บางส่วนของใยอาหารได้ ใยอาหารแบ่งตามการละลายน้ำได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.4.2.1 ใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber)

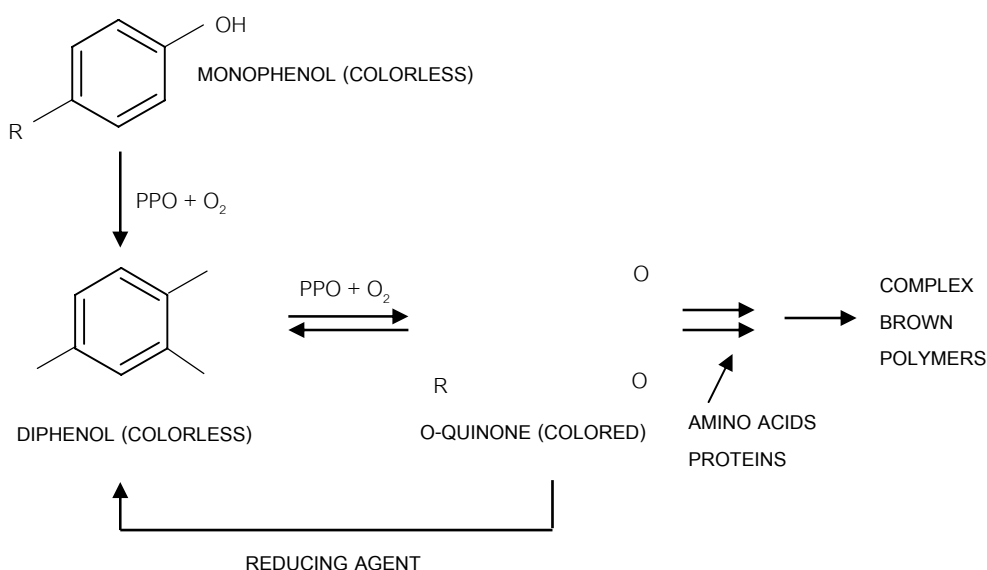
ใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่ กัม สารประกอบเพกทิน และมิวซิเลจ พบมากใน พืชตระกูลถั่วบางชนิด ธัญพืช เช่น ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ผักและผลไม้ชนิดต่างๆ ใยอาหารกลุ่มนี้ เมื่อละลายน้ำสามารถเพิ่มความหนืดให้กับอาหาร มีสมบัติในการบวมน้ำ (swelling capacity) ค้ำน้ำและน้ำมัน (water and oil holding capacity) และสามารถถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ในลำไส้ใหญ่ได้อย่างสมบูรณ์ (Femenia และคณะ, 1997) มีผลช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ช่วย เพิ่มมวลอุจจาระ ลดโอกาสการเป็นโรคหลอดเลือดแดงแข็ง โรคความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือด หัวใจ และโรคมะเร็งลำไส้ (Bingham, 2003; Peter, 2003; Terry, 2001)

2.4.2.2 ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber)

ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และ สารประกอบเพกทินที่ไม่ละลายน้ำ เช่น โปรโตเพกทิน พบมากในธัญพืชที่ผ่านกระบวนการ ขัดสีน้อย รำข้าว ถั่ว และเมล็ดพืช แบคทีเรียในลำไส้สามารถย่อยใยอาหารกลุ่มนี้ได้บางส่วน ใยอาหารกลุ่มนี้จะช่วยเพิ่มปริมาณกากในลำไส้ใหญ่ เพิ่มมวลอุจจาระ และช่วยลดอาการท้องผูก (Rodríguez และคณะ, 2006)

2.5 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์จากมะม่วง

การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อมะม่วงส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วย เอนไซม์ (enzymatic browning) ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อพืชที่ถูกทำลายทางกล เช่น การปอกเปลือก การหั่น หรือการตีป็น ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ใน เซลล์พืช กับออกซิเจนในอากาศ โดยมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) เป็นตัวเร่งทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็น o-diphenol ซึ่งสารนี้จะถูกออกซิไดส์ต่อไปให้เป็น o-quinone จากนั้น o-quinone ที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับ กรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล ดังรูปที่ 2.3 (McEvily, Lyengar และ Otwell, 1992; Sapers, 1993; Tomás-Barberán และ Espín, 2001)



รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดและการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากการทำงานของเอนไซม์ PPO ด้วยสารรีดิวซ์ (ดัดแปลงจาก Tomás-Barberán และ Espín, 2001)

ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปัญหาสำคัญในการแปรรูปมะม่วงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสี กลิ่น รสเปลี่ยนแปลงไป และสูญเสียคุณค่าทางอาหาร (Martinez และ Whitaker, 1995) ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ วิธีการควบคุม และยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมีดังนี้

1. การใช้ความร้อน

การให้ความร้อนกับผักและผลไม้ เช่น การลวกด้วยไอน้ำเป็นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO เนื่องจากความร้อนจะทำให้เอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนเสียสภาพจนไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ แต่การใช้ความร้อนเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO อาจทำให้น้ำเนื้อสัมผัสของผลไม้มี และเกิดกลิ่นรสผิดปกติได้ Sakho และคณะ (1998) ศึกษาการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO โดยการลวกชิ้นเนื้อมะม่วงในน้ำเดือดพบว่า การลวกชิ้นเนื้อมะม่วงด้วยน้ำเดือดจนมีอุณหภูมิจุดกึ่งกลาง 85°C นาน 5 นาที สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้บางส่วน แต่การให้ความร้อนกับกล้วยจนมีอุณหภูมิจุดกึ่งกลาง 95°C นาน 5 นาที สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้ทั้งหมด (Galeazzi และ Sgarbieri, 1981)

2. การใช้สารเคมี

สารที่สามารถควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO มีหลายชนิด เช่น สารซัลไฟต์ กรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริก เป็นต้น (Sapers, 1993) แต่สารที่นิยมใช้ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริก

กรดแอสคอร์บิกจะทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ โดยจะรีดิวซ์ o-quinone ให้กลับมาอยู่ในรูปของสารประกอบพีนอล ก่อนที่ o-quinone จะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล (Dris และ Jain, 2004) อย่างไรก็ตามกรดแอสคอร์บิกจะถูกออกซิไดส์เป็น dehydroascorbic acid ซึ่งจะสูญเสียคุณค่าของวิตามินซีไป ส่วนกรดซิตริกจะทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลกลุ่ม acidulant โดยจะลดค่า pH ให้น้อยกว่าค่า optimum pH ของเอนไซม์ PPO ส่งผลให้เอนไซม์มีแอกทิวิตีลดลง และกรดซิตริกยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารคีเลทจับกับทองแดงที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ PPO เมื่อทองแดงถูกดึงออกไปจะทำให้เอนไซม์ PPO ไม่สามารถทำงานได้เป็นปกติ (McCord และ Kilara, 1983) Singh (1960) รายงานว่าเมื่อใช้กรดซิตริกปรับค่า pH ของมะม่วงให้มีค่าน้อยกว่า 3.5 จะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO

2.6 อิมัลชัน

2.6.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอิมัลชัน

อิมัลชัน หมายถึงระบบที่ประกอบด้วยของเหลวอย่างน้อย 2 ชนิด ที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันโดยจะมีของเหลวชนิดหนึ่งกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ อยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง เรียกของเหลวที่กระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ว่า วัฏภาคภายในหรือวัฏภาคกระจายตัว (internal or dispersed phase) ส่วนของเหลวที่สร้างเมตริกซ์ให้หยดเล็กๆ กระจายอยู่ภายในเรียกว่า วัฏภาคภายนอกหรือวัฏภาคต่อเนื่อง (external or continuous phase) (Belitz และ Grosch, 1999) อิมัลชันแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (Coupland และ McClements, 1996; McClements, 1999) ได้แก่

1. อิมัลชันประเภทน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsion, w/o emulsion) เป็นอิมัลชันที่มีวัฏภาคกระจายตัวเป็นน้ำ และวัฏภาคต่อเนื่องเป็นน้ำมัน เช่น เนย และมาการีน
2. อิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion, o/w emulsion) เป็นอิมัลชันที่มีวัฏภาคกระจายตัวเป็นน้ำมัน และวัฏภาคต่อเนื่องเป็นน้ำ เช่น น้ำกะทิ น้่านม น้ำสลัด และมายองเนส
3. อิมัลชันเชิงซ้อน (multiple emulsion) เช่น อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (water-in-oil-in-water emulsion, w/o/w emulsion) คืออิมัลชันที่มีวัฏภาคกระจายตัวเป็นน้ำ และวัฏภาคต่อเนื่องเป็นน้ำมันที่มีหยดเล็กๆ ของน้ำซ้อนอยู่อีกที หรืออิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน (oil-in-water-in-oil emulsion, o/w/o emulsion) คืออิมัลชันที่มีวัฏภาคกระจายตัวเป็นน้ำมัน และวัฏภาคต่อเนื่องเป็นน้ำที่มีหยดเล็กๆ ของน้ำมันซ้อนอยู่อีกที ระบบอิมัลชันเชิงซ้อนนี้มักพบในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ยา และสารเคมีในอุตสาหกรรมต่างๆ

โดยปกติของเหลว 2 ชนิดที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น น้ำ และน้ำมัน เมื่อถูกนำมารวมกันจะแยกกันอยู่เป็นชั้น เนื่องจากมีแรงตึงผิวเกิดขึ้น แต่เมื่อมีการโฮโมจีไนซ์หรือการเขย่าซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงาน และเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวทั้งสองจะทำให้ของเหลวทั้งสองชนิดสามารถกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆ ในกันและกันได้ และมีลักษณะเป็นอิมัลชัน แต่อิมัลชันที่เกิดขึ้นเป็นระบบที่ไม่มีเสถียรภาพ คือเมื่อหยุดเขย่าของเหลวเหล่านั้นจะพยายามกลับมารวมตัวกัน และแยกชั้นดังเดิม การทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพไม่เกิดการแยกชั้นทำได้โดยการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ลงไปก่อนการโฮโมจีไนซ์ หรือการเขย่า (Mulley, 1974)

2.6.2 การสูญเสียเสถียรภาพของอิมัลชัน

การสูญเสียเสถียรภาพของอิมัลชันแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้

2.6.2.1 Creaming (การเกิดครีม)

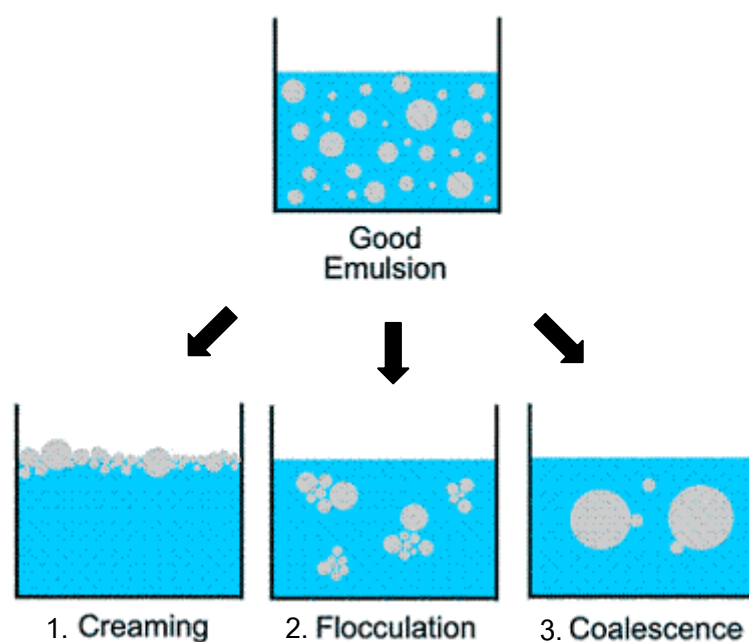
creaming เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำมันภายใต้แรงโน้มถ่วง หรือแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ทำให้เกิดการแยกชั้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของอนุภาค (Dickinson, 1992) เช่น อิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำ และน้ำมัน จะเกิด creaming โดยน้ำมันซึ่งมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจะรวมตัวกัน และลอยขึ้นสู่ด้านบนของอิมัลชันจึงมีลักษณะของครีมที่ผิวด้านบน ดังรูปที่ 2.4 การเกิด creaming เป็นการสูญเสียเสถียรภาพที่สามารถนำไปสู่การสูญเสียเสถียรภาพแบบอื่นๆ เช่น flocculation และ coalescence ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Dalgleish, 1997) นอกจากนี้การเกิด creaming ยังมีผลต่อคุณภาพ และเนื้อสัมผัสของอาหารโดยในส่วนของครีมด้านบนจะมีความหนืดมากกว่าส่วนของของเหลวที่อยู่ด้านล่าง และรสชาติในส่วนของครีมจะมีความมันมากกว่าเนื่องจากมีปริมาณไขมันสูง แต่อย่างไรก็ตามการเกิด creaming เป็นการสูญเสียเสถียรภาพที่ไม่ถาวร สามารถผันกลับได้โดยการโฮโมจีไนซ์ หรือการเขย่า (Dickinson, 1992) การป้องกันการเกิด creaming ทำได้โดยการลดขนาดอนุภาคของวัฏภาคกระจาย เช่น การโฮโมจีไนซ์ การทำให้วัฏภาคทั้งสองมีความหนาแน่นเท่ากัน หรือการเพิ่มความหนืดให้กับวัฏภาคต่อเนื่อง

2.6.2.2 Flocculation (การเกาะกลุ่มของอนุภาค)

flocculation เป็นการสูญเสียเสถียรภาพที่ไม่ถาวร เพราะอนุภาคจะเกาะกันด้วยแรงอ่อนๆ การเกาะกลุ่มของอนุภาคเป็นผลมาจากพลังงานความร้อน แรงโน้มถ่วง หรือแรงกลทำให้อนุภาคเกิดการปะทะกัน และรวมตัวกันโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอนุภาค (รูป 2.4) (Demetriades, Coupland และ McClements, 1997) flocculation อาจเกิดก่อน หลัง หรือระหว่างการเกิด creaming แต่มีความรุนแรงมากกว่าการเกิด creaming และสามารถนำไปสู่การเกิด coalescence ซึ่งเป็นการสูญเสียเสถียรภาพอย่างถาวรของอิมัลชัน

2.6.2.3 Coalescence (การรวมตัวของอนุภาค)

coalescence เป็นการสูญเสียเสถียรภาพอย่างถาวร เกิดจากการแตกของฟิล์มที่ห่อหุ้มรอบอนุภาคที่อยู่ใกล้กัน หรือมีรูเล็กๆ เกิดขึ้นในฟิล์ม ทำให้อนุภาคที่อยู่ใกล้กันรวมตัวกันกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ การเกิด coalescence จะทำให้อนุภาคมีขนาดเพิ่มขึ้น และมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 2.4 (McClements, 1999; Walstra, 1996) ดังนั้นกระบวนการนี้จึงไม่สามารถย้อนกลับได้ และมีความรุนแรงมากกว่าการเกิด creaming และ flocculation (Dickinson, 1992; Dickinson และ Stainsby, 1982)



รูปที่ 2.4 การสูญเสียเสถียรภาพของอิมัลชันรูปแบบต่างๆ (1. creaming; 2. flocculation; 3. coalescence) ที่มา: Grove (2005)

2.6.2.4 Partial coalescence

partial coalescence เกิดเมื่ออนุภาคน้ำมันที่เป็นผลึกบางส่วน เคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสกัน และจัดเรียงตัวเป็นรูปร่างที่ผิดปกติ การสูญเสียเสถียรภาพประเภทนี้จะยังคงรูปร่างของอนุภาคไว้ เนื่องจากโครงร่างผลึกไขมันภายในอนุภาคจะป้องกันการรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ (McClements, 1999; Walstra, 1996) partial coalescence เป็นการสูญเสียเสถียรภาพที่เกิดกับผลิตภัณฑ์นม เนย และมาการีน

2.6.2.5 Ostwald ripening

ostwald ripening เป็นกระบวนการที่อนุภาคมีขนาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการส่งถ่ายมวลของวัฏภาคกระจายตัวจากอนุภาคหนึ่งไปสู่อีกอนุภาคหนึ่ง โดยการแทรกผ่านทาง

วิภูภาคต่อเนื่อง กระบวนการนี้อาจไม่ต้องพิจารณาในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากความสามารถในการละลายของน้ำมันในน้ำต่ำมาก ดังนั้นอัตราการส่งถ่ายมวลจึงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (Dickinson และ Stainsby, 1982)

2.6.2.6 Phase inversion (การเปลี่ยนเฟส)

phase inversion (การเปลี่ยนเฟส) เป็นการเปลี่ยนแปลงจากอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำเป็นอิมัลชันประเภทน้ำในน้ำมันหรือในทางกลับกันระบบอาจเปลี่ยนแปลงจากอิมัลชันประเภทน้ำในน้ำมันเป็นอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ โดยทั่วไปการเปลี่ยนเฟสเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตเนื่องจากมีผลต่อลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส เสถียรภาพ และรสชาติ แต่กระบวนการนี้เป็นขั้นตอนที่จำเป็นในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เนย และมาการีน (McClement, 1999)

2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าอิมัลชันเป็นระบบที่ไม่มีเสถียรภาพ เมื่อหยุดเขย่าของเหลวเหล่านั้นจะพยายามกลับมารวมตัวกันและแยกชั้นอีกครั้งหนึ่ง ปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน ได้แก่

2.6.3.1 โปรตีน

โปรตีนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน โปรตีนที่สกัดได้จากธรรมชาติ ได้แก่ โปรตีนน้ำนม (เคซีน เคซีนเนต และโปรตีนเวย์) โปรตีนไข่ (โปรตีนไข่แดง และโปรตีนไข่ขาว) โปรตีนจากสัตว์ (พลาสมา และเจลาติน) และโปรตีนจากพืช เช่น โปรตีนถั่วเหลือง โปรตีนแต่ละชนิดมีสมบัติอิมัลซิไฟเออร์แตกต่างกัน โปรตีนที่มีสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี และช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้แก่อิมัลชัน ได้แก่ โปรตีนน้ำนม (เคซีน เคซีนเนต และโปรตีนเวย์) และโปรตีนจากไข่ขาว ส่วนโปรตีนที่ไม่นิยมใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลือง เนื่องจากมีความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันต่ำเพียงแต่สามารถทำให้เกิดเจลในวิภูภาคต่อเนื่องเท่านั้น (Britten และ Giroux, 1991; Dickinson, Rolfe และ Dalgleish, 1988; Hunt และ Dalgleish, 1994) ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีน มีดังนี้

Dalgleish, Srinivasan และ Singh (1995) ศึกษาสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ของไฮเดียมเคซีนเนตและโปรตีนเวย์ พบว่า ไฮเดียมเคซีนเนตมีสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์มากกว่าโปรตีนเวย์ โดยไฮเดียมเคซีนเนตจะสร้างชั้นโปรตีนหนา 10 นาโนเมตร ล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน ในขณะที่โปรตีนเวย์จะสร้างชั้นโปรตีนหนาเพียง 2-3 นาโนเมตร

Hill (1996) ศึกษาสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนชนิดต่างๆ ได้แก่ โปรตีนน้ำนม โปรตีนไข่ โปรตีนจากสัตว์ และโปรตีนถั่วเหลืองพบว่า โปรตีนไข่ขาวมีประสิทธิภาพใน

การรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันมากที่สุด ในขณะที่โปรตีนจากถั่วเหลือง และโปรตีนเวย์จะช่วยรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันได้น้อยที่สุด แต่ข้อจำกัดของไข่ขาว คือความสามารถในการเกิดเจลของไข่ขาวเมื่อได้รับความร้อน

นอกจากชนิดของโปรตีนแล้วเสถียรภาพของอิมัลชันยังขึ้นกับความเข้มข้นของโปรตีน จากงานวิจัยของ Dickinson และ Golding (1997) ที่ศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนตเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์พบว่า อิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนตมากกว่า 2% (w/w) จะเกิดการแยกชั้นของสารละลายมากกว่าอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต 2% (w/w) เนื่องจากโซเดียมเคซีเนตที่เหลือจากการดูดซับบนผิวร่วมระหว่างน้ำกับน้ำมันจะเหนียวนำไปเกิดการเกาะกลุ่มของอนุภาคแบบ depletion flocculation

2.6.3.2 สารพอลิแซ็กคาไรด์

โดยทั่วไปสารพอลิแซ็กคาไรด์ไม่มีสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ เนื่องจากมีปริมาณหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) น้อย จึงไม่เพียงพอที่จะดูดซับบนผิวร่วมระหว่างน้ำกับน้ำมัน แต่สารพอลิแซ็กคาไรด์จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพของอิมัลชันได้ โดยการเพิ่มความหนืดให้กับวัฏภาคต่อเนื่อง ทำให้การเคลื่อนที่และการชนกันของอนุภาคน้ำมันลดลง นอกจากนี้สารพอลิแซ็กคาไรด์บางชนิด เช่น สารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุลบ จะสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนช่วยเพิ่มความหนาของชั้นกีดขวางที่ผิวร่วมระหว่างน้ำกับน้ำมัน (Huang, Kakuda และ Cui, 2001)

2.6.3.3 สภาวะที่ใช้ในการแปรรูป และเก็บรักษา

ปฏิกริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีน และโปรตีนกับสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผิวร่วมระหว่างน้ำกับน้ำมันสามารถควบคุมได้โดยการปรับสภาวะการผลิตให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ชนิดและความเข้มข้นของไอออน ตลอดจนความเร็วของการโฮมจีไนซ์จะทำให้สมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีน และสารพอลิแซ็กคาไรด์เปลี่ยนแปลง เช่น การเติมไอออน หรือการปรับค่า pH ให้เข้าใกล้ค่าไอโซอิเล็กทริกจะทำให้ประจุรวมลดลงและส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมี ดังนี้

Tung และ Jones (1981) รายงานว่า การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ทำมาของเนสทำให้มุมสัมผัส (contact angle) เปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้นำไปสู่การรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน ทำให้อนุภาคน้ำมันมีขนาดใหญ่

Dalgleish และ Hollocou (1997) ศึกษาปฏิกริยาระหว่างสารประกอบเพกทินกับโซเดียมเคซีเนตที่ค่า pH ต่างๆ พบว่า ที่ $pH \leq 5$ สารประกอบเพกทินจะป้องกันการตกตะกอนของอนุภาคที่ล้อมรอบด้วยโซเดียมเคซีเนต

Urlacher และ Noble (1997) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อเสถียรภาพของอิมัลชันพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชันจาก 10°C เป็น 90°C ส่งผลให้ความหนืด

ของอิมัลชันที่มีแกนแทนกันเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 120°C จะส่งผลให้ความหนืดของอิมัลชันที่มีแกนแทนกันลดลงมาก ในขณะที่ความหนืดของอิมัลชันที่มีกั้วร์กัมอัลจีเนต และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส จะมีค่าลดลงมากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 10°C เป็น 90°C และ 120°C ซึ่งความหนืดของอิมัลชันที่ลดลงนี้ส่งผลให้เสถียรภาพของอิมัลชันลดลงตามไปด้วย

McClements และ Demetriades (1998) ศึกษาผลของค่า pH ต่อความหนืดของอิมัลชันพบว่า อิมัลชันที่ใช้โปรตีนเวย์เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์จะเกิดการเกาะกลุ่มของอนุภาคที่ pH 5 เนื่องจากโปรตีนเวย์มีค่าไอโซอิเล็กทริกประมาณ 4-6 ดังนั้นอิมัลชันจึงมีประจุรวมที่ผิวร่วมระหว่างน้ำกับน้ำมันเข้าใกล้ศูนย์ มีผลให้อนุภาคน้ำมันเกาะกลุ่มกัน และเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนจะทำให้อนุภาคน้ำมันที่เกาะกลุ่มอยู่กระจายออก ดังนั้นความหนืดของอิมัลชันจึงลดลง และมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning แต่เมื่อเพิ่ม pH เป็น 7 จะไม่เกิดการเกาะกลุ่มของอนุภาคน้ำมัน เนื่องจากประจุรวมที่ผิวร่วมระหว่างน้ำกับน้ำมันมีมากพอที่จะรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันไว้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนความหนืดของอิมัลชันจึงไม่เปลี่ยนแปลง และมีพฤติกรรมการไหลแบบ newtonian

Akhtar และคณะ (2002) ศึกษาบทบาทของสารประกอบเพกทินที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ Rheozyme™ (10 PEU/ml) ต่อเสถียรภาพของอิมัลชันพบว่า สารประกอบเพกทินที่สกัดได้จาก citrus และถูกย่อยด้วยเอนไซม์จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับอิมัลชัน แต่เสถียรภาพของอิมัลชันจะลดลงเมื่อลดค่า pH จาก 7 เป็น 4 หรือเติม CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 1000, 2000 และ 4000 ppm หลังการโฮโมจีไนซ์

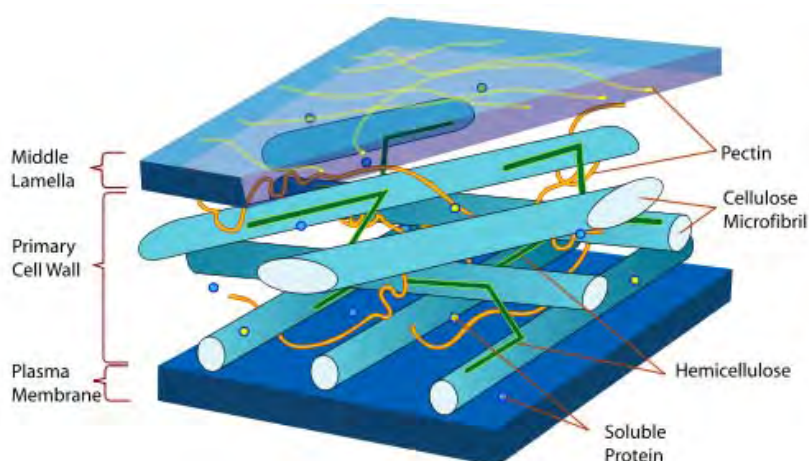
Tangsuphoom และ Coupland (2009) รายงานว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมน้ำกะทิที่มีโปรตีนเวย์เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์มีผลต่อเสถียรภาพของน้ำกะทิ โดยน้ำกะทิซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ $30-70^{\circ}\text{C}$ จะมีขนาดอนุภาคคงที่ เสถียรภาพของน้ำกะทิจึงไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเตรียมเป็น 90°C และ 120°C น้ำกะทิจะมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น มีผลให้เสถียรภาพของน้ำกะทิลดลง

2.7 สารอิมัลซิไฟเออร์

สารอิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่เกาะบริเวณพื้นผิวของอนุภาคในวัฏภาคกระจาย เพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคเข้าใกล้กันจนเกิดการรวมตัวกัน (Coupland และ McClements, 1996) โครงสร้างของสารอิมัลซิไฟเออร์ประกอบด้วย 2 ส่วนที่มีหมู่ตรงกันข้ามภายในโมเลกุล คือ ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) สารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารจะต้องไม่เป็นพิษ ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง และไม่เป็นสารที่ทำให้เกิดอาการแพ้ (St. Angelo, 1989) สารอิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในอาหารระบบอิมัลชัน ได้แก่ โมโนและไดกลีเซอไรด์ (mono- and

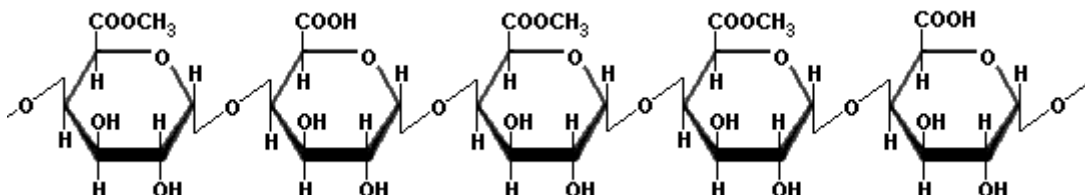
diglycerides) โพรพิลีนไกลคอลเอสเทอร์ (propylene glycol esters) แลคทีเลทเอสเทอร์ (lactylated esters) พอลิกลีเซอรอลเอสเทอร์ (polyglycerol esters) และซอร์บิแทนเอสเทอร์ (sorbitan esters) เป็นต้น และจากรายงานการวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า สารประกอบเพกทินสามารถทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในอาหารระบบอิมัลชัน (Akhtar และคณะ, 2002; Dalgleish และ Hollocou, 1997; Dea และ Madden, 1986; Dickinson และคณะ, 1998; Mazoyer, Leroux และ Bruneau, 1999;)

สารประกอบเพกทินเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีสมบัติเป็นสารก่อเจล (gelling agents) สารเพิ่มเนื้อสัมผัส (thickening agents) สารเพิ่มเสถียรภาพ (stabilizing agents) และสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifying agents) ในผลิตภัณฑ์อาหาร (May, 1992; Sakai และคณะ, 1993) พบในพืชทุกชนิด และมีปริมาณมากในผักและผลไม้หลายชนิด เช่น เปลือกส้ม และมะนาว จะมีสารประกอบเพกทินสูงถึง 20-30% (w/w) แอปเปิ้ลมีปริมาณ 10-15% (w/w) ชูการ์บีท (sugar beet) มีปริมาณ 10-20% (w/w) สารประกอบเพกทินจะอยู่ร่วมกับเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส บริเวณชั้นปฐมภูมิ (primary wall) และชั้นระหว่างเซลล์ (middle lamella) ของผนังเซลล์ผักและผลไม้ ดังรูปที่ 2.5 ทำให้ผักและผลไม้มีเนื้อสัมผัสที่แน่น เกิดการกักเก็บสารประกอบต่างๆ เช่น รงควัตถุ สารให้กลิ่นรส และสารต้านอนุมูลอิสระไว้ภายในเนื้อเยื่อผักและผลไม้ (ปราณี อานเป็อง, 2547; Mariam, 2008)



รูปที่ 2.5 ความเกี่ยวข้องของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ในเนื้อเยื่อพืช (ดัดแปลงจาก Mariam, 2008)

โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบเพกทินประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) เป็นสายหลัก และมีสายแขนงเป็นน้ำตาลอะราบิโนส (L-arabinose) และ น้ำตาลกาแล็กโทส (D-galactose) ซึ่งบางส่วนของหมู่คาร์บอกซิลที่โมเลกุลของกรดกาแล็กทูโรนิก จะถูกเอสเทอร์ไฟต์ด้วยเมทานอล ดังรูปที่ 2.6 (Schols และคณะ, 1998)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบเพกทินซึ่งบางส่วนถูกเอสเทอร์ไฟต์ด้วยเมทานอล

สารประกอบเพกทินสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 4 ชนิด (ปราณี อ่านเบ็อง, 2547) ได้แก่

1. โพรโตเพกทิน คือสารประกอบเพกทินต้นตอที่ไม่ละลายน้ำ พบมากในผลไม้ดิบ
2. เพกทิน คือสารประกอบเพกทินที่หมู่คาร์บอกซิลประมาณ 75% ถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทานอล พบมากในผลไม้ที่เริ่มสุกจนสุกงอม
3. กรดเพกทินิก คือสารประกอบเพกทินที่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์เหลืออยู่เล็กน้อย พบมากในผลไม้สุก
4. กรดเพกติก คือสารประกอบเพกทิน หรือพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์ในโมเลกุล

ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาสมบัติอิมัลชันไฟเออร์ของสารไฮโดรคอลลอยด์ มีดังนี้

Rooker (1927) ศึกษาผลของสารประกอบเพกทินต่อเสถียรภาพของอิมัลชันพบว่า สารประกอบเพกทินมีสมบัติเป็นสารอิมัลชันไฟเออร์ในอิมัลชันที่ประกอบด้วย flavor oil, mineral oil และ vegetable oil

Dea และ Madden (1986) ศึกษาสมบัติอิมัลชันไฟเออร์ของสารประกอบเพกทินจากชูการ์บีท (sugar beet) พบว่า สารประกอบเพกทินจากชูการ์บีทมีสมบัติเป็นสารอิมัลชันไฟเออร์ ช่วยรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ

Shri, Albert และ Marc (1998) ศึกษาสมบัติของสารประกอบเพกทินจากมะเขือเทศ พบว่า สารประกอบเพกทินจากมะเขือเทศที่มีดีกรีเอสเทอร์ฟิเคชัน 33.3% มีสมบัติเป็นสาร

อิมัลชันไฟเออร์ในอิมัลชันระบบน้ำมันในน้ำ และอิมัลชันที่มีสารประกอบเพกทินจากมะเขือเทศและน้ำมัน 30% (v/w) เป็นภาวะอิมัลชันที่มีเสถียรภาพสูงสุด

Hemar และคณะ (2001) ศึกษาผลของแซนแทนกัมต่อเสถียรภาพของอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำที่มีโซเดียมเคซีเนตพบว่า การเติมแซนแทนกัมปริมาณน้อยกว่า 0.2% (w/w) ในระบบอิมัลชันที่มีน้ำมันถั่วเหลือง 30% (w/w) และโซเดียมเคซีเนต 1 หรือ 3% (w/w) จะทำให้อุณหภูมิเกาะกลุ่ม (flocculation) ส่งผลให้สารละลายแยกชั้นออกมามาก แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแซนแทนกัม สารละลายจะแยกชั้นออกมาน้อยลง เนื่องจากเกิดโครงสร้างตาข่ายของอนุภาคที่เกาะกลุ่มกัน การที่แซนแทนกัมสามารถรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันได้แม้ว่าอนุภาคภายในอิมัลชันจะเกิดการเกาะกลุ่ม เนื่องจากวัฏภาคต่อเนืองของอิมัลชันมีความหนืดสูง ทำให้อุณหภูมิเคลื่อนที่ยาก สารละลายจึงแยกชั้นลดลง

Leroux และคณะ (2003) ศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันที่มีสารประกอบเพกทินจากเปลือกส้ม และชูการ์บีท (sugar beet) พบว่า สารประกอบเพกทินจากเปลือกส้มและชูการ์บีทที่มีสมบัติเป็นสารอิมัลชันไฟเออร์ ช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมัน ทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติอิมัลชันไฟเออร์ของสารประกอบเพกทินจากเปลือกส้ม กับกัมอะราบิกซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมใช้เป็นสารอิมัลชันไฟเออร์ในอาหารระบบอิมัลชันพบว่า อิมัลชันที่มีสารประกอบเพกทินจากเปลือกส้มที่ความเข้มข้น 2.0% (w/w) จะมีเสถียรภาพใกล้เคียงกับอิมัลชันที่มีกัมอะราบิกเข้มข้น 1.5% (w/w)

Neiryck และคณะ (2007) ศึกษาผลของกัวร์กัมต่อเสถียรภาพของอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำที่มีโซเดียมเคซีเนต 0.3% (w/w) และน้ำมันถั่วเหลือง 25% (w/w) พบว่า อิมัลชันที่มีกัวร์กัมที่ความเข้มข้น 0.1% (w/w) จะเกิดการรวมตัวของอนุภาค (flocculation) และเกิดคริม (creaming) แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของกัวร์กัมเป็น 0.2% (w/w) จะเกิดการเกาะกลุ่มของอนุภาคน้ำมันแบบ depletion flocculation และถ้าเพิ่มความเข้มข้นของกัวร์กัมมากกว่า 1.0% (w/w) จะเกิดโครงสร้างตาข่ายที่แข็งแรง มีผลให้อิมัลชันมีเสถียรภาพเป็นระยะเวลานาน และมีสารละลายแยกชั้นน้อย

2.8 บทบาทของเอนไซม์เพกทิเนสในการแปรรูปผัก และผลไม้

การใช้เอนไซม์เพกทิเนสย่อยสลายโมเลกุลของสารประกอบเพกทินในเนื้อเยื่อผักและผลไม้มีผลทำให้อิมัลชันมีขนาดโมเลกุลลดลง และมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระในโมเลกุลมากขึ้น ดังนั้นโมเลกุลของสารประกอบเพกทินจึงมีขั้วเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดสัดส่วนที่สมดุลระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) นอกจากนี้เอนไซม์เพกทิเนสยังทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพมากขึ้น โดยจับกับผนังเซลล์โดยรอบอย่างหลวม ส่งผลให้ผักและผลไม้มีเนื้อสัมผัส

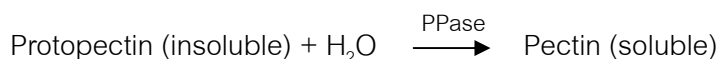
อ่อนลง เกิดการปล่อยสารต่างๆ เช่น รงควัตถุ สารให้กลิ่นรส และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ภายในเนื้อเยื่อพืชออกมาได้มากกว่าการใช้วิธีบีบอัดทางกายภาพ (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547; วรธนา ตุลยรัชฎ, 2549)

2.8.1 เอนไซม์เพกทิเนส

เอนไซม์กลุ่มเพกทิเนสเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสารประกอบเพกทินที่ผนังเซลล์พืช สับสเตรตของเอนไซม์เพกทิเนสคือ สารประกอบเพกทิน ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 4 ชนิด ตามที่ได้กล่าวข้างต้น เอนไซม์เพกทิเนสสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะการทำงาน คือ โปรโตเพกทิเนส เอสเทอเรส และดีพอลิเมอร์เอส (Jayani, Saxena และ Gupta, 2005; Kashyap และคณะ, 2001; Pilnik และ Rombouts, 1979)

1. โปรโตเพกทิเนส (Protopectinases; PPase)

เป็นเอนไซม์กลุ่มที่เร่งการสลายโปรโตเพกทินที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้พอลิเมอร์ของสารประกอบเพกทินสั้นลง และสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ดังสมการ



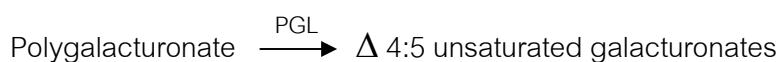
2. เอสเทอเรส (Esterases)

เป็นเอนไซม์ที่เร่งการเกิดปฏิกิริยา de-esterification ของสารประกอบเพกทิน โดยดึงหมู่เมทิลเอสเทอร์ออก ได้แก่ เอนไซม์เพกทินเอสเทอเรส (Pectinesterase; PE) ดังสมการ

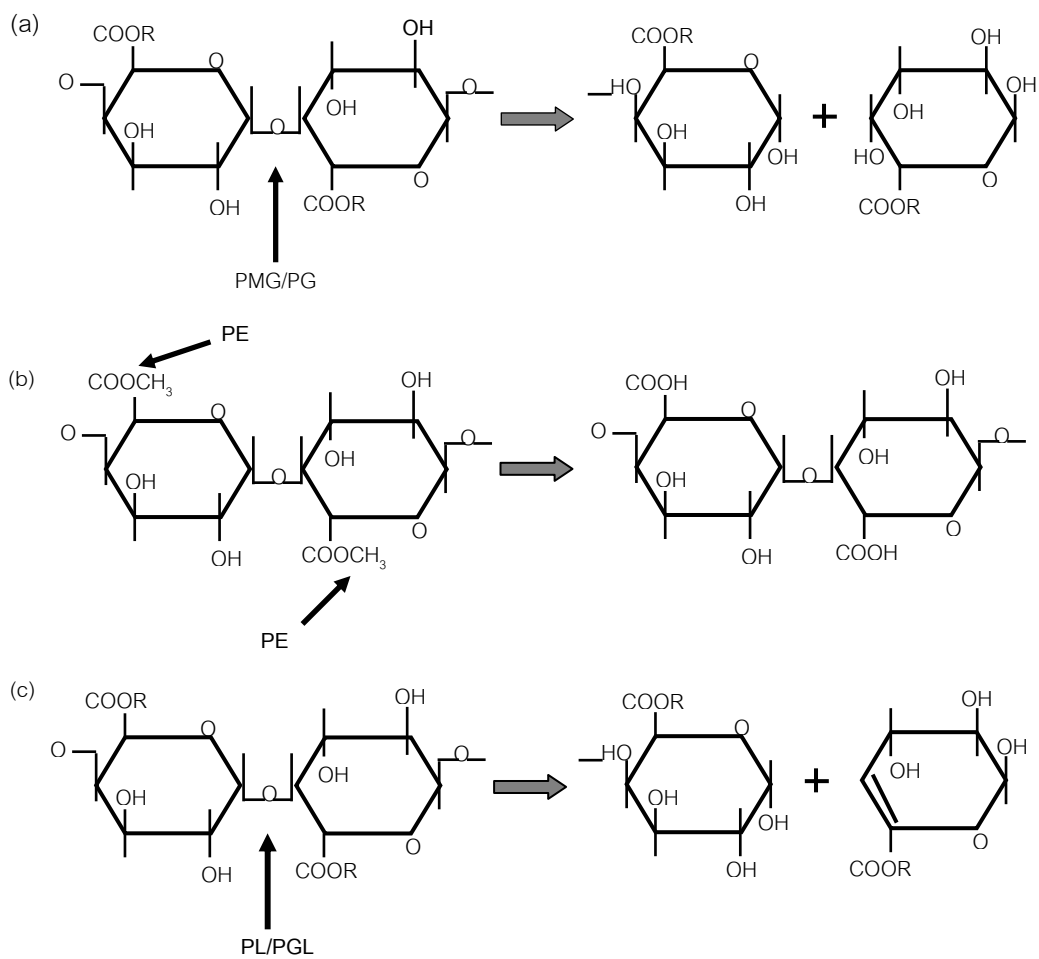


3. ดีพอลิเมอร์เอส (Depolymerases)

เป็นเอนไซม์ที่เร่งการสลายพันธะ α -(1 \rightarrow 4)-glycosidic ระหว่างกรดกาแลกทูโรนิก ของสารประกอบเพกทิน แบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก ตามลักษณะการสลายพันธะ กลุ่มแรกคือ เอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนส (Polygalacturonase; PG) และเอนไซม์พอลิเมทิลกาแลกทูโรเนส (Polymethylgalacturonase; PMG) ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิลของเพกเตตและเพกทินตามลำดับ ส่วนอีกกลุ่มคือ เอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนตไลเอส (Polygalacturonate lyase; PGL) และเอนไซม์พอลิเมทิลกาแลกทูโรเนตไลเอส (polymethylgalacturonate lyase; PMGL) ทำหน้าที่สลายพันธะไกลโคซิลของเพกเตต และเพกทินตามลำดับ โดยอาศัย β -elimination ได้สารพอลิเมอร์สายสั้นที่สายหนึ่งมีปลายรีดิวซ์และอีกสายพอลิเมอร์มีพันธะคู่ ดังสมการ



เอนไซม์เพกทิเนสที่ใช้ทางการค้าส่วนใหญ่ประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด โดยมีเอนไซม์กลุ่มเพกทิเนสเป็นหลัก เช่น เอนไซม์พอลิกาแลกทูโรเนส เพกทินไลเอส และเพกทินเอสเทอเรส รวมถึงเอนไซม์ชนิดอื่นได้แก่ เอนไซม์เฮมิเซลลูเลส เซลลูเลส โปรตีเอส และอะไมเลส เป็นต้น ซึ่งการทำงานร่วมกันของเอนไซม์เหล่านี้จะช่วยเสริมประสิทธิภาพในการย่อยสลายประกอบต่างๆ ในผนังเซลล์พืชได้ดียิ่งขึ้น การผลิตเอนไซม์เพกทิเนสทางการค้าส่วนใหญ่จะผลิตโดยใช้จุลินทรีย์ *Aspergillus niger* และ *Aspergillus aculeatus* (Mutlu และคณะ, 1999) รูปที่ 2.7 แสดงปฏิกิริยาของเอนไซม์เพกทิเนสชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาของเอนไซม์เพกทิเนสชนิดต่างๆ (a) PG (R = H), PMG (R = CH₃); (b) PE; (c) PGL (R = H), PL (R = CH₃); PMG = polymethylgalacturonase; PG = polygalacturonase (EC 3.2.1.15); PE = pectinesterase (EC 3.1.1.11); PL = pectin lyase (EC 4.2.2.10); ลูกศรแสดงตำแหน่งที่เอนไซม์เพกทิเนสเข้าทำอันตรกิริยากับสารประกอบเพกทิน (Jayani, Saxena และ Gupta, 2005)

ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาผลของเอนไซม์เพกทิเนสต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน มีดังนี้
Akhtar และคณะ (2002) ศึกษาบทบาทของสารประกอบเพกทินที่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ Rheozyme™ (10 PEU/ml) ต่อเสถียรภาพของอิมัลชันพบว่า สารประกอบเพกทินที่สกัดได้จาก citrus และถูกย่อยด้วยเอนไซม์จมน้ำหนักโมเลกุล 70-80 กิโลดาลตัน (KDa) จะทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพมากที่สุด

Mazoyer, Leroux และ Bruneau (1999) ศึกษาสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ของสารประกอบเพกทินที่สกัดได้จาก citrus และแอปเปิ้ลพบว่า สารประกอบเพกทินที่สกัดได้จาก citrus และแอปเปิ้ล และถูกย่อยด้วยเอนไซม์ Rheozyme™ (10 PEU/ml) จมน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 80 กิโลดาลตัน (KDa) จะช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมัน ทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น

2.8.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

ภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปด้วยเอนไซม์ เช่น สี ความหนืด ความใส กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์เพกทิเนส (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547; Baumann, 1981; Whitaker, 1996) ได้แก่

1. ปริมาณสับสเตรตและความเข้มข้นของเอนไซม์

ปฏิกิริยาที่มีสับสเตรตชนิดเดียว เมื่อเพิ่มปริมาณสับสเตรตจะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีอัตราเร็วของปฏิกิริยาสูงสุด หลังจากนั้นถ้าเพิ่มปริมาณสับสเตรตต่อไปอีก อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะคงที่ และถ้าความเข้มข้นของสับสเตรตสูงเกินไปอาจยับยั้งอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นให้ช้าลงได้ สำหรับความเข้มข้นของเอนไซม์มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์คือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์จะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่ต้องไม่มีสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

2. ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา

การเพิ่มเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้มากขึ้น เนื่องจากโอกาสในการจับตัวของเอนไซม์และสับสเตรตมีมากขึ้น แต่เมื่อสับสเตรตหมดหรือปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุล การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะไม่มีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

3. pH

เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีน การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายโปรตีนจะมีผลต่อประจุที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลของโปรตีน และส่งผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์โดยเฉพาะบริเวณ active site เอนไซม์แต่ละชนิดจะมีค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงาน (optimum pH)

แตกต่างกัน ถ้าค่า pH ของสารละลายสูงหรือต่ำกว่าค่า pH ที่เหมาะสม จะทำให้ความเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นช้าลง

4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อความคงตัวของเอนไซม์ ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์เสียไป เนื่องจากโครงสร้างที่ active site เปลี่ยนแปลงไป เอนไซม์แต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงาน (optimum temperature) แตกต่างกัน ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม เอนไซม์จะมีแอกทิวิตีลดลง

ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ มีดังนี้

Sreenath, Nanjundaswamy และ Sreekantiah (1987) ศึกษาการลดความหนืดของเนื้อมะม่วงตีปน เพื่อนำมาผลิตเป็นน้ำมะม่วงด้วยเอนไซม์เพกทิเนสและเซลลูเลสทางการค้าชนิดต่างๆ พบว่า การใช้เอนไซม์ Ultrazym 100 เข้มข้น 0.05% (w/v) ที่อุณหภูมิ 40°C เวลาการย่อยนาน 30 นาที มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดความหนืดของเนื้อมะม่วง โดยสามารถลดความหนืดของมะม่วงได้ 82%

Sreenath, Krishna และ Santhanam (1995) ศึกษาผลของเอนไซม์เพกทิเนส และเซลลูเลสต่อความหนืด และปริมาณน้ำมะม่วงจากมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ ในประเทศอินเดียพบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อความหนืด และปริมาณน้ำมะม่วง โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลาการย่อยมีผลทำให้มะม่วงมีความหนืดปรากฏลดลงและปริมาณน้ำมะม่วงเพิ่มขึ้น

Bhattacharya และ Rastogi (1998) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของเนื้อมะม่วงที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์เพกทิเนสที่ภาวะต่างๆ พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อพฤติกรรมการไหลของเนื้อมะม่วง โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ จะทำให้เนื้อมะม่วงมีความหนืดปรากฏลดลง และเมื่อเพิ่มเวลาการย่อยและความเข้มข้นของเอนไซม์ จะส่งผลให้เนื้อมะม่วงมีลักษณะการไหลแบบ pseudoplastic ลดลง และมีลักษณะการไหลใกล้เคียงกับ newtonian มากขึ้น

Rastogi และ Rashmi (1999) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์เพกทิเนสผลิตน้ำมะม่วงเข้มข้นพบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อลักษณะของน้ำมะม่วงเข้มข้น โดยการใช้เอนไซม์เข้มข้น 0.14% (v/w) ที่อุณหภูมิ 42°C เวลาการย่อยนาน 46.67 นาที จะช่วยเพิ่มปริมาณและความใสของน้ำมะม่วงเข้มข้นได้มากกว่า 64 และ 71% ตามลำดับ ส่วนปริมาณแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายน้ำและความหนืดของน้ำมะม่วงมีค่าลดลงน้อยกว่า 2% และ 1850 cP ตามลำดับ

Cinar (2005) ศึกษาผลความเข้มข้นของเอนไซม์เพกทิเนสและเซลลูเลส รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดแคโรทีนอยด์จากเปลือกส้ม มันทศ และแครอทพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์จะช่วยลดระยะเวลาในการสกัดแคโรทีนอยด์จากทุกตัวอย่างได้ และในกรณีของแครอทจะเห็นได้ชัดว่าระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้มากกว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

มะม่วงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยคือ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ซึ่งจากปากคลองตลาด จังหวัดกรุงเทพมหานคร มีลักษณะเปลือกสีเขียว น้ำหนักผลประมาณ 300-350 กรัม

3.1.2 เอนไซม์

Amyloglucosidase	(Sigma-Aldrich, Germany)
Pectinex [®] Ultra SP-L	(Novo Industri A/S Copenhagen, Denmark)
Protease	(Sigma-Aldrich, Germany)
Termamyl	(Sigma-Aldrich, Germany)

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก

Phenolphthalein	A.R. grade (Merck, Germany)
Potassium hydrogen phthalate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Sodium hydroxide	A.R. grade (Ajax, Australia)

3.1.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

Ammonium molybdate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Anhydrous sodium dihydrogen phosphate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Anhydrous sodium sulphate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Copper sulphate pentahydrate	A.R. grade (Ajax, Australia)
D-(+)-glucose	A.R. grade (Merck, Germany)
Potassium sodium tartrate	A.R. grade (Ajax, Australia)
Sodium hydroxide	A.R. grade (Ajax, Australia)
Sulfuric acid	A.R. grade (BDH, UK)

Sodium arsenate A.R. grade (Fluka, USA)

3.1.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร

Acetone A.R. grade (Ajax, Australia)

Celite A.R. grade (Sigma-Aldrich, Germany)

Disodium hydrogen phosphate A.R. grade (Ajax, Australia)

Ethanol absolute A.R. grade (Ajax, Australia)

95% Ethanol A.R. grade (BDH, UK)

Hydrochloric acid A.R. grade (J.T. Baker, USA)

Sodium dihydrogen phosphate A.R. grade (Ajax, Australia)

Sodium hydroxide A.R. grade (Ajax, Australia)

3.1.3.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

1. วิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) A.R. grade (Fluka, USA)

95% Ethanol A.R. grade (BDH, UK)

Methanol A.R. grade (BDH, UK)

2. วิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP)

Acetic acid A.R. grade (J.T. Baker, USA)

95% Ethanol A.R. grade (BDH, UK)

Ferric chloride A.R. grade (POCH, Poland)

Hydrochloric acid A.R. grade (Ajax, Australia)

Methanol A.R. grade (BDH, UK)

Sodium acetate trihydrate A.R. grade (Ajax, Australia)

2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) A.R. grade (Fluka, USA)

Trolox A.R. grade (Fluka, USA)

3.1.3.5 การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน

Acetone A.R. grade (Ajax, Australia)

Anhydrous sodium sulfate A.R. grade (Fluka, USA)

β -carotene A.R. grade (Fluka, USA)

Petroleum ether A.R. grade (Fluka, USA)

3.1.3.6 สารทดสอบแอกทิวิตีของเอนไซม์เพออกซิเดส

95% Ethanol A.R. grade (BDH, UK)

Guaiacol A.R. grade (Merck, Germany)

Hydrogen peroxide A.R. grade (Merck, Germany)

3.1.3.7 สารควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

Ascorbic acid Food grade (วิทยาศาสตร์, ประเทศไทย)

Citric acid Food grade (วิทยาศาสตร์, ประเทศไทย)

3.1.3.8 โปรตีน

Sodium Caseinate Food grade (มินทานา, ประเทศไทย)

3.1.4 อุปกรณ์

1. Hand refractometer (Atago 0-32°Brix, Japan)
2. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) (GAST รุ่น 1023-V2-G583X, Germany)
3. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Mettler รุ่น 600, Germany)
4. เตาเผา (Muffle Furnace) (Fisher scientific รุ่น Isotemp, Germany)
5. เตาให้ความร้อน (Hot plate) (Framo®-Gerätetechnik รุ่น M 21/1, Thailand)
6. เครื่อง Bio-Rad microplate reader (Tecan Sunrise รุ่น 4294 B, UK)
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BL310, Germany)
8. เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
9. เครื่องปั่นผสม (Philips รุ่น HR 1701, Indonesia)
10. เครื่อง pH meter (Mettler Toledo รุ่น Seven Easy, Switzerland)
11. เครื่อง Rotary vacuum evaporator (Eyela รุ่น SB-651, Japan)
12. เครื่อง Vortex (Vortex-Genie 2 รุ่น G-560E, USA)
13. เครื่อง Chroma meter (Minolta รุ่น CR 300, Japan)
14. เครื่อง Laser partical size analyzer (Malvern รุ่น Mastersizer 2000, UK)
15. เครื่อง Viscometer (Rheology International Series 2, UK)
16. เครื่อง Magnetic stirrer (Framo®-Gerätetechnik รุ่น M 21/1, Thailand)
17. เครื่อง Hand homogenizer (Ystral homogenizer รุ่น x 10/25, Netherlands)
18. เครื่อง Water bath shaker (Clifton รุ่น NE4-22D, Germany)
19. หม้อนึ่งความดัน (Toshiba รุ่น RC-T18AE, Thailand)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 คัดเลือกระดับความแก่-สุกของมะม่วงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

3.2.1.1 คัดเลือกผลมะม่วงแก่ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

นำผลมะม่วงมาล้างทำความสะอาด และวัดค่าความถ่วงจำเพาะโดยพิจารณาจากการจมลอยในน้ำเกลือ (เปรมปรี ฌ สงขลา, 2537) ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ มีดังนี้

1. น้ำเกลือ 0% (w/w) หรือน้ำ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.000
2. น้ำเกลือ 2% (w/w) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.015
3. น้ำเกลือ 4% (w/w) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.028
4. น้ำเกลือ 6% (w/w) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.042

แบ่งมะม่วงเป็น 4 กลุ่ม ตามค่าความถ่วงจำเพาะ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ผลมะม่วงที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.000 หรือผลมะม่วงที่ลอยน้ำ

กลุ่มที่ 2 ผลมะม่วงที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.000-1.015 หรือผลมะม่วงที่จมในน้ำ แต่ลอยในน้ำเกลือ 2% (w/w)

กลุ่มที่ 3 ผลมะม่วงที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.015-1.028 หรือผลมะม่วงที่จมในน้ำเกลือ 2% (w/w) แต่ลอยในน้ำเกลือ 4% (w/w)

กลุ่มที่ 4 ผลมะม่วงที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.028-1.042 หรือผลมะม่วงที่จมในน้ำเกลือ 4% (w/w) แต่ลอยในน้ำเกลือ 6% (w/w)

นำมะม่วงทั้ง 4 กลุ่ม มาวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เพื่อนำผลที่ได้มาใช้คัดเลือกผลมะม่วงแก่ที่มีองค์ประกอบทางเคมีอยู่ในช่วงเดียวกับผลมะม่วงที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว คือผลมะม่วงที่มีค่า pH 3-4 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก 2.6-2.8% และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 7-8°Brix (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2529) ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ดังนี้

(1) วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter

(2) วิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก (%Titratable acidity) ตามวิธีของ A.O.A.C. (2006) แสดงในภาคผนวก ก.1

(3) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid; TSS) ด้วย Hand refractometer 0-32 °Brix

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package for the Social Science (SPSS Version 16.0, USA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.1.2 การคัดเลือกระดับความสุกของมะม่วงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

นำผลมะม่วงแก่ที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.2.1.1 มาบ่มที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 3, 6 และ 9 วัน จะได้มะม่วงสุก 3 ระดับ วิเคราะห์ลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อมะม่วงสุกทั้ง 3 ระดับ โดยวัดการเปลี่ยนแปลงค่าสี ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ดังนี้

(1) วัดค่าสีในระบบ CIE LAB ด้วยเครื่อง Chroma meter ($L^*=0$ (Dark); $L^*=100$ (Light), $a^*(-a^*=Green; +a^*=Red)$, $b^*(-b^*=Blue; +b^*=Yellow)$) ใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65}

(2) วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter

(3) วิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก (%Titratable acidity) ตามวิธีของ A.O.A.C. (2006) แสดงในภาคผนวก ก.1

(4) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid; TSS) ด้วย Hand refractometer 0-32 °Brix

จากนั้นคัดเลือกระดับความสุกของมะม่วงที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไฮโดรไลเสต โดยนำเนื้อมะม่วงสุกทั้ง 3 ระดับ มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสด้วยวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงปริมาณ (Quantitative descriptive analysis; QDA) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ข.1 ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.2 ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเนื้อมะม่วงสุก

นำเนื้อมะม่วงสุกที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.2.1.2 มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ A.O.A.C. (2006) แสดงในภาคผนวก ก.2 และวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนี้

3.2.2.1 วิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร

วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber; TDF) ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber; SDF) และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber; IDF) ตามวิธีของ A.O.A.C. (2006) แสดงในภาคผนวก ก.3

3.2.2.2 วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (Antioxidant activities)

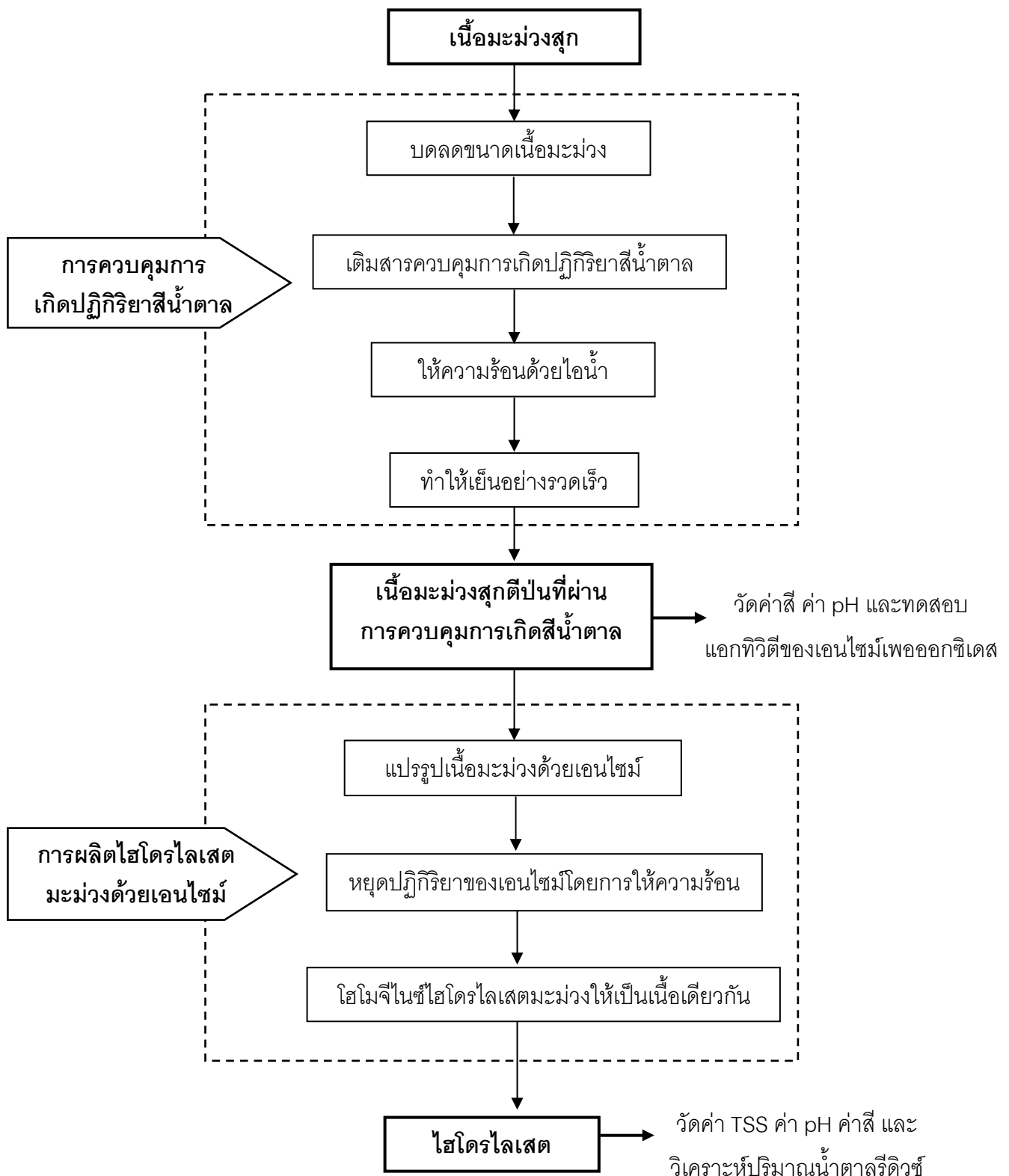
เตรียมสารสกัดจากเนื้อมะม่วง โดยดัดแปลงวิธีของ Masuda และคณะ (1999) และวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ทำตามวิธีของ Maisuthisakul, Suttajit และ Pongsawatmanit (2007) และวิธี FRAP ดัดแปลงวิธีของ Benzie และ Strain (1996) แสดงในภาคผนวก ก.4

3.2.2.3 วิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนดัดแปลงวิธีของ Ranganna (1978) แสดงในภาคผนวก ก.5

3.2.3 คัดเลือกภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของมะม่วงตีปั่น

นำเนื้อมะม่วงระดับความสุกที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.2.1.2 มาหาภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ปัจจัยที่ต้องการศึกษา คือระยะเวลาการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ชนิดและปริมาณสารควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยทดลองขนาดเนื้อมะม่วงด้วยเครื่องปั่นผสมนาน 1 นาที ควบคู่กับการเติมสารควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล คือ กรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิก แปรปริมาณสารเป็น 4 ระดับ คือ 0, 0.1, 0.3 และ 0.5% (w/w) จากนั้นนำเนื้อมะม่วงตีปั่นที่ได้มาให้ความร้อนด้วยไอน้ำโดยแปรระยะเวลาการให้ความร้อนเป็น 4 ระดับ คือ 0, 1, 3 และ 5 นาที เริ่มจับเวลาเมื่อจุดกึ่งกลางของเนื้อมะม่วงมีอุณหภูมิ 85°C ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว และเก็บตัวอย่างมะม่วงที่อุณหภูมิ $10 \pm 2^{\circ}\text{C}$ วัดค่าสีระบบ CIE LAB ด้วยเครื่อง Chroma meter แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ทุกๆ 0, 3 และ 5 วัน และวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter จากนั้นเลือกภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเนื้อมะม่วงตีปั่น โดยพิจารณาจากค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ $2 \times 4 \times 4$ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นำภาวะที่เลือกได้มาทดสอบแยกทีละตัวของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส เพื่อยืนยันว่าภาวะที่เลือกสามารถควบคุมปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ การทดสอบแยกทีละตัวของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสแสดงในภาคผนวก ก.6 ขั้นตอนการควบคุมปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงตีปั่นแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์

3.2.4 ศึกษาภาวะการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์

ศึกษาภาวะการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์ โดยนำมะม่วงดิบที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลตามภาวะที่เลือกได้จากข้อ 3.2.3 เข้าสู่กระบวนการแปรรูปด้วยเอนไซม์เพกทินเนสทางการค้า คือ Pectinex® Ultra SP-L (10292 PGU/ml) ควบคุมอุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ แปรความเข้มข้นของเอนไซม์เป็น 5 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5% (v/w) และแปรเวลาการย่อยเป็น 9 ระดับ คือ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง กวนผสมตลอดเวลา และควบคุมความเร็วการกวนผสมที่ 100 รอบต่อนาที หยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน 5 นาที และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว นำไฮโดรไลเสตที่ได้ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Hand homogenizer ที่ความเร็วรอบ 16000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ขั้นตอนการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์แสดงดังรูปที่ 3.1 นำไฮโดรไลเสตที่ภาวะต่างๆ มาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วย Hand refractometer 0-32°Brix วัดค่าสีระบบ CIE LAB ด้วยเครื่อง Chroma meter แหล่งกำเนิดแสง D_{65} วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตามวิธีของ Nelson (1944) แสดงในภาคผนวก ก.7

ติดตามการทำงานของเอนไซม์ โดยพิจารณาจากระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงซึ่งประเมินจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เพื่อเลือกภาวะที่ไฮโดรไลเสตมะม่วงมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินครอบคลุมจากช่วงต่ำไปสูง เป็นตัวแทนในการศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วง ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ 5×9 Factorial in CRD วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.5 ศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

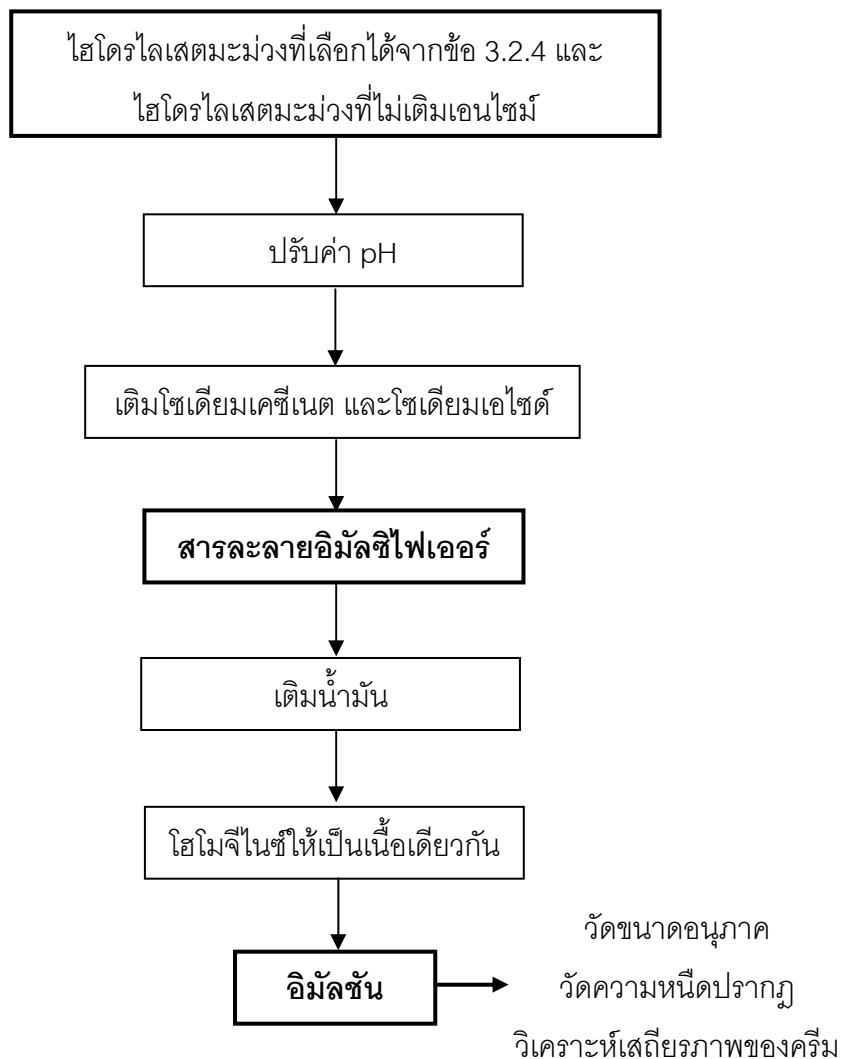
ศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายที่เลือกได้จากข้อ 3.2.4 และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ โดยนำไฮโดรไลเสตมะม่วงมาวัดค่าสีระบบ CIE LAB ด้วยเครื่อง Chroma meter แหล่งกำเนิดแสง D_{65} วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter วิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร เบต้าแคโรทีน และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันตามการวิเคราะห์ในข้อ 3.2.2 วัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser light-scattering analyzer แสดงในภาคผนวก ก.8 และวัดความหนืดปรากฏด้วยเครื่อง Viscometer หัวเข็มเบอร์ 2 ความเร็ว 70 รอบต่อนาที ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยวิธี QDA โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน

10 คน ประเมินลักษณะด้านสี กลิ่น รส และความเรียบเนียน ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ข.2 ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.6 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

3.2.6.1 คัดเลือกค่า pH ที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

เตรียมสารละลายอิมัลชันไฟเออร์โดยนำไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายที่เลือกได้จากข้อ 3.2.4 และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ มาปรับค่า pH ให้เป็น 3, 4, 5, 6 และ 7 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือกรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เติมโซเดียมเคซีเนตความเข้มข้น 2% (w/w) และโซเดียมเฮไซเต้ (NaN_3) 0.02% (w/w) นำสารละลายอิมัลชันไฟเออร์ที่ได้ผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง 20% (v/w) และทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Hand homogenizer ที่ความเร็วรอบ 16000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที ควบคุมอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของอิมัลชัน 30°C (ดัดแปลงจากวิธีของ Maa และ Hsu (1996)) ขึ้นตอการคัดเลือกค่า pH ที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงแสดงในรูปที่ 3.2 วัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser light-scattering analyzer แสดงในภาคผนวก ก.8 วัดความหนืดปรากฏด้วยเครื่อง Viscometer หัวเข็มเบอร์ 2 ความเร็ว 70 รอบต่อนาที และวิเคราะห์เสถียรภาพของครีม แสดงในภาคผนวก ก.9 ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ 5x5 Factorial in CRD และเลือกค่า pH ที่เหมาะสมต่ออิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงโดยพิจารณาจากเสถียรภาพของครีม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

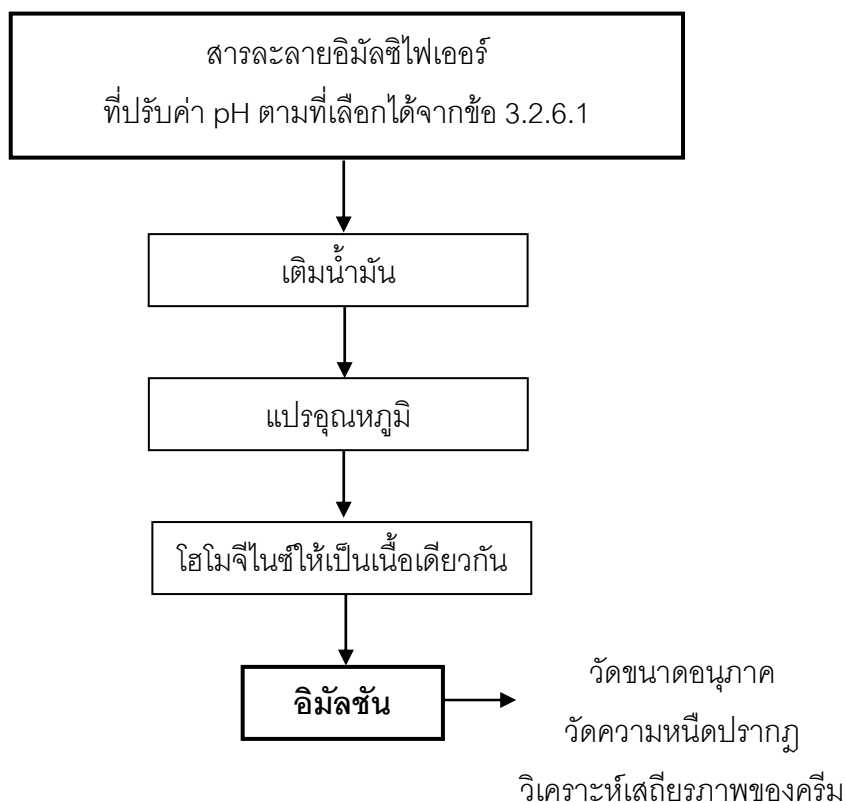


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการคัดเลือกค่า pH ที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วง

3.2.6.2 คัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

เตรียมสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ตามวิธีในข้อ 3.2.6.1 โดยปรับค่า pH ของสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ให้มีค่าตามที่เลือกได้จากข้อ 3.2.6.1 นำสารละลายอิมัลซิไฟเออร์ที่ได้ผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง 20% (v/w) ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Hand homogenizer ที่ความเร็วรอบ 16000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที และแปรอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของอิมัลชันเป็น 5 ระดับ คือ 30, 40, 50, 60 และ 70°C (ดัดแปลงจากวิธีของ Maa และ Hsu (1996)) ขั้นตอนการคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงแสดงในรูปที่ 3.3 วัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser light-scattering analyzer แสดงในภาคผนวก ก.8 วัดความหนืดปรากฏด้วยเครื่อง Viscometer หัวเข็มเบอร์ 2 ความเร็ว 70 รอบต่อนาที และวิเคราะห์เสถียรภาพ

ของครีม แสดงในภาคผนวก ก.9 ทดลอง 3 ชั้น วางแผนการทดลองแบบ 5x5 Factorial in CRD และเลือกคุณภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงโดยพิจารณาจากเสถียรภาพของครีม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

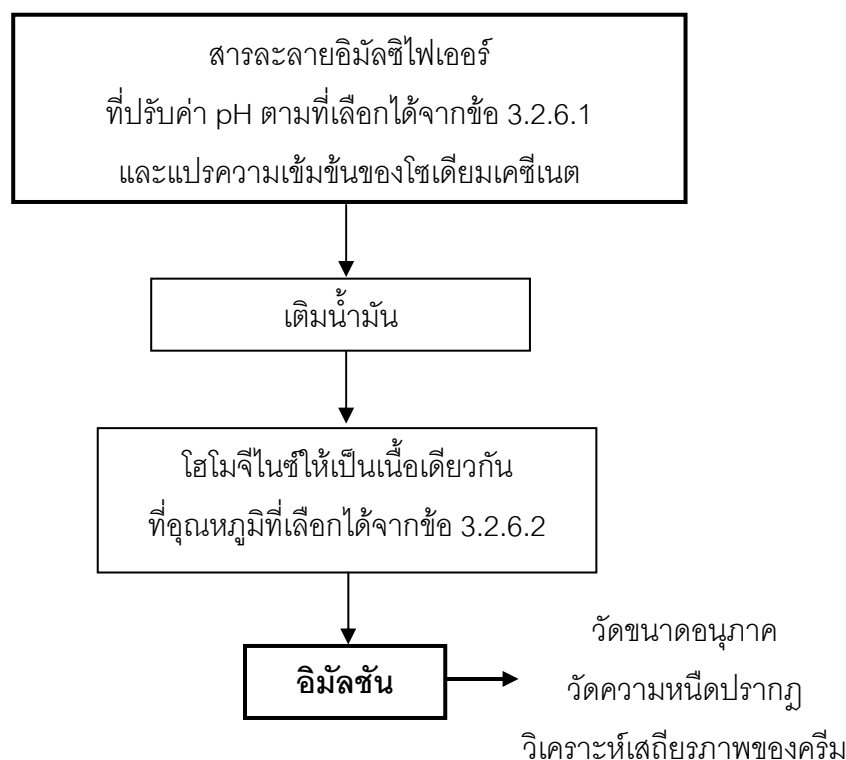


รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการคัดเลือกคุณภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วง

3.2.6.3 คัดเลือกความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนต และปริมาณน้ำมันที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

เตรียมสารละลายอิมัลซีไฟเออร์ตามวิธีในข้อ 3.2.6.1 โดยปรับค่า pH ของสารละลายอิมัลซีไฟเออร์ให้มีค่าตามที่เลือกได้จากข้อ 3.2.6.1 และแปรความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนตเป็น 7 ระดับ คือ 0, 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 6% (w/w) นำสารละลายอิมัลซีไฟเออร์ที่ได้ผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง แปรปริมาณน้ำมัน 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 40% (v/w) และทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Hand homogenizer ที่ความเร็วรอบ 16000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที

ควบคุมอุณหภูมิการเตรียมอิมัลชันตามที่เลือกได้จากข้อ 3.2.6.2 (ดัดแปลงจากวิธีของ Maa และ Hsu (1996)) ขั้นตอนการคัดเลือกภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วง แสดงในรูปที่ 3.4 วัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser light-scattering analyzer แสดงในภาคผนวก ก.8 วัดความหนืดปรากฏด้วยเครื่อง Viscometer หัวเข็มเบอร์ 2 ความเร็ว 70 รอบต่อ นาที และวิเคราะห์เสถียรภาพของครีม แสดงในภาคผนวก ก.9 ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ 5x7x3 Factorial in CRD เลือกความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนต และปริมาณน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงโดยพิจารณาจากเสถียรภาพของครีม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธีDuncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการคัดเลือกความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนต และปริมาณน้ำมันที่เหมาะสม สำหรับอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วง

3.2.7 ศึกษาการประยุกต์ใช้ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับ การย่อยสลายต่างๆ กับน้ำกะทิและน้ำมัน

นำไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายที่เลือกได้จากข้อ 3.2.4 และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ผสมกับน้ำกะทิ UHT ซึ่งมีไขมัน และโปรตีน

ประมาณ 27-40% และ 2.8-4.4% (w/w) ตามลำดับ และน้ำนม UHT ซึ่งไขมันและโปรตีน ประมาณ 3.8% และ 3.4% (w/w) ตามลำดับ ในอัตราส่วน 1:1 ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Hand homogenizer ที่ความเร็วรอบ 16000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที นำอิมัลชันที่ได้มาวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Laser light-scattering analyzer แสดงในภาคผนวก ก.8 วัดความหนืดปรากฏด้วยเครื่อง Viscometer หัวเข็มเบอร์ 2 ความเร็ว 70 รอบต่อนาที และวิเคราะห์เสถียรภาพของครีม แสดงในภาคผนวก ก.9 ทดลอง 3 ชั้น วางแผนการทดลองแบบ 5x2 Factorial in CRD เลือกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินที่ทำให้น้ำกะทิและน้ำนมมีเสถียรภาพสูงสุด โดยพิจารณาจากเสถียรภาพของครีม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ทดลองใช้ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ทำให้น้ำกะทิและน้ำนมมีเสถียรภาพสูงสุด รวมทั้งไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชัน โดยใช้เป็นส่วนผสมในสังขยา แสดงในภาคผนวก ค ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสังขยาด้วยวิธี QDA โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ประเมินลักษณะด้านสี กลิ่น รส ลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกัน และการยอมรับโดยรวม ตัวอย่างแบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ข.3 ทดลอง 3 ชั้น

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การคัดเลือกระดับความแก่-สุกของมะม่วงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

การผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงจำเป็นต้องมีการคัดเลือกระดับความแก่ และระดับความสุกของมะม่วง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอทุกครั้งที่ทดลอง

4.1.1 การคัดเลือกผลมะม่วงแก่ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

ความอ่อน-แก่ของผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวมีผลโดยตรงต่อรสชาติของมะม่วง มะม่วงที่เก็บเกี่ยวในระยะที่ผลแก่เต็มที่ หรือระยะที่ผลเจริญเต็มที่ (maturity) เมื่อสุกจะมีรสหวาน มีกลิ่นหอม มีสีเปลือกและเนื้อสวย (Leverington และ Mayer, 1960) ณรงค์ นิยมวิทย์ (2529) รายงานว่า มะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีค่า pH 3-4 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก 2.6-2.8% และปริมาณของแข็งที่ละลายได้หมด 7-8°Brix เป็นมะม่วงที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว และเมื่อนำมาบ่มให้สุกจะมีรสหวาน มีกลิ่นหอม และมีเนื้อสีเหลืองเข้ม ดังนั้นจึงใช้ค่าดังกล่าวเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกผลมะม่วงแก่ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงในขั้นตอนถัดไป การคัดเลือกผลมะม่วงแก่พิจารณาจากค่าความถ่วงจำเพาะหรือการจมลอยในน้ำเกลือ ผลการทดลองพบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.015-1.028 หรือมะม่วงที่จมในน้ำเกลือ 2% (w/w) แต่ลอยในน้ำเกลือ 4% (w/w) มีค่า pH 3.52 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก 2.76% และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 7.27°Brix (ตารางที่ 4.1) ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงเดียวกับผลมะม่วงแก่ตามเกณฑ์ที่ต้องการ ส่วนมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.028-1.042 จะสุกและเน่าอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 วัน และมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.015 เมื่อสุกจะมีสีเปลือกและเนื้อไม่สวย กลิ่นไม่หอม และมีรสเปรี้ยว ดังนั้นมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.015-1.028 จึงเป็นผลมะม่วงแก่ที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว และนำไปบ่มต่อเป็นมะม่วงสุก

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ค่าความถ่วงจำเพาะต่างๆ

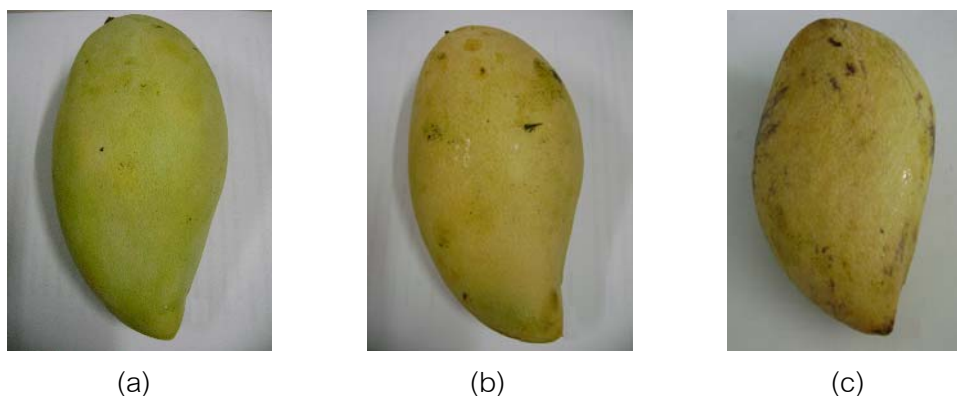
Chemical characteristics	Specific gravity			
	<1.000	1.000-1.015	1.015-1.028	1.028-1.042
pH	3.13 ^c ± 0.42	3.19 ^c ± 0.04	3.52 ^b ± 0.05	3.88 ^a ± 0.05
Total acidity (%)	3.13 ^c ± 0.02	2.97 ^c ± 0.19	2.76 ^b ± 0.14	1.14 ^a ± 0.36
Total soluble solid (°Brix)	6.13 ^c ± 0.42	6.43 ^c ± 0.35	7.27 ^b ± 0.12	9.13 ^a ± 0.42

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.1.2 การคัดเลือกระดับความสุกของมะม่วงที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

เมื่อนำผลมะม่วงแก่ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.015-1.028 ซึ่งเป็นมะม่วงที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวที่เลือกได้จากข้อ 4.1.1 มาบ่มที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 3, 6 และ 9 วัน จะได้มะม่วงที่มีความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ โดยใช้ลักษณะภายนอก คือสีเปลือกเป็นเกณฑ์ กำหนดให้ระดับที่ 1 คือมะม่วงที่มีเปลือกสีเหลืองมากกว่าสีเขียว ระดับที่ 2 คือมะม่วงที่มีเปลือกสีเหลืองทั่วทั้งผล และระดับที่ 3 คือมะม่วงที่มีเปลือกสีเหลืองทั่วทั้งผล และมีจุดสีดำเล็กน้อย แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะภายนอกของผลมะม่วง 3 ระดับความสุก (a) มะม่วงสุกระดับที่ 1 (b) มะม่วงสุกระดับที่ 2 และ (c) มะม่วงสุกระดับที่ 3

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของเนื้อมะม่วงทั้ง 3 ระดับความสุก ได้ผลดังตารางที่ 4.2 จากตารางพบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของเนื้อมะม่วงไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุก ($p > 0.05$) แต่ค่าสีเขียว ($-a^*$) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) จะมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเนื้อมะม่วงจะมีค่าสีเขียว ($-a^*$) ลดลง แต่ค่าสีเหลือง ($+b^*$) เพิ่มขึ้น

เมื่อระดับความสุกมากขึ้น เนื่องจากผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลืองส้มแก่ผลไม้ในระหว่างการสุก โดยผลไม้สุกจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่คลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียวแก่ผลไม้จะลดลง (Kalra, Tandon และ Singh, 1995) เมื่อพิจารณาค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดพบว่า เมื่อมะม่วงมีระดับความสุกมากขึ้นจะมีค่า pH เพิ่มขึ้น และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริกที่ได้สอดคล้องกับค่า pH เนื่องจากภายหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น ส่งผลให้กรดต่างๆ ในผลไม้ เช่น กรดซิตริก และกรดมาลิก ถูกใช้ป็นสารตั้งต้นในวัฏจักร krebs (krebs cycle) ของกระบวนการหายใจ ทำให้ปริมาณกรดในเนื้อมะม่วงลดลง และค่า pH เพิ่มขึ้นเมื่อระดับความสุกมากขึ้น (Lebrun และคณะ, 2008) ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากแป้งที่ถูกสะสมไว้ในมะม่วงจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น (Seymour, Taylor และ Tucker, 1993) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kapur (1974) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของมะม่วงสายพันธุ์ Desheri, Safeda และ Samarbahist พบว่า ภายหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วงทุกสายพันธุ์จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่า pH เพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริกจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความสุกของมะม่วงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางเคมีกายภาพของเนื้อมะม่วงสุกระดับต่างๆ

Physicochemical characteristics		Ripening stages		
		1	2	3
Color	L*	50.35 ^{ns} ± 0.88	49.62 ^{ns} ± 0.57	49.64 ^{ns} ± 0.82
	-a*	2.15 ^a ± 0.34	1.76 ^b ± 0.05	1.48 ^c ± 0.19
	b*	36.41 ^c ± 0.38	37.26 ^b ± 0.22	39.44 ^a ± 0.39
pH		4.54 ^b ± 0.15	5.15 ^a ± 0.05	5.18 ^a ± 0.07
Total acidity (%)		0.71 ^a ± 0.04	0.58 ^b ± 0.04	0.41 ^c ± 0.02
Total soluble solid (°Brix)		15.00 ^b ± 1.00	18.77 ^a ± 0.25	19.20 ^a ± 0.35

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การคัดเลือกระดับความสุกของมะม่วงที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงพิจารณาจากคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อมะม่วงทั้ง 3 ระดับความสุก ด้วยวิธี QDA ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 10 คน ประเมินลักษณะด้านสี กลิ่น รสของเนื้อมะม่วง ให้ผลดังตารางที่ 4.3 จากคะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อมะม่วงสุกพบว่า เนื้อมะม่วงสุกระดับที่ 2 มีคะแนนด้านสีไม่แตกต่างจากเนื้อมะม่วงสุกระดับที่ 3 แต่มีคะแนนสูงกว่าเนื้อมะม่วงสุกระดับที่ 1 นอกจากนี้เนื้อมะม่วงสุกระดับที่ 2 ยังมีคะแนนด้านกลิ่น และรสสูงกว่าระดับที่ 1 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกใช้มะม่วงสุกระดับที่ 2 เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงในขั้นตอนต่อไป โดยเนื้อมะม่วงสุกระดับที่ 2 จะมีสีเหลืองค่อนข้างสด มีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ มีรสหวานค่อนข้างมาก และไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม สำหรับการคัดเลือกวัตถุดิบในแต่ละครั้งจะใช้ลักษณะทางเคมีกายภาพของมะม่วงสุกระดับที่ 2 เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกวัตถุดิบให้มีความสม่ำเสมอทุกครั้งที่ทดลอง

ตารางที่ 4.3 คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รส ของเนื้อมะม่วงสุกที่ระดับต่างๆ

Sensory attributes	Ripening stages		
	1	2	3
Color	3.07 ^b ± 0.41	4.23 ^a ± 0.39	4.28 ^a ± 0.23
Aroma	2.78 ^c ± 0.22	4.25 ^a ± 0.38	3.88 ^b ± 0.41
Taste	2.98 ^c ± 0.27	4.50 ^a ± 0.24	3.58 ^b ± 0.21

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเนื้อมะม่วงสุก

เมื่อนำเนื้อมะม่วงที่คัดเลือกได้จากข้อ 4.1 มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพพบว่า เนื้อมะม่วงสุกมีปริมาณความชื้น 84.85% (wet basis) และประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) ได้แก่ โยอาหาร ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และเบต้าแคโรทีน ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในเนื้อมะม่วงสุกที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

Bioactive compounds	Content
Total dietary fiber (TDF) (g/ 100 g dw ^a)	10.29 ± 0.07
Soluble dietary fiber (SDF)	2.36 ± 0.04
Insoluble dietary fiber (IDF)	7.94 ± 0.04
Antioxidant activities	
DPPH assay (EC ₅₀ , µg dw/ µg DPPH)	5.55 ± 0.85
FRAP assay (µM TE ^b / g dw)	51.18 ± 4.17
β-carotene (µg/ g dw)	49.24 ± 0.03

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^a dw คือ dry weight basis, ^b TE คือ trolox equivalent

จากตารางที่ 4.4 พบว่า เนื้อมะม่วงสุกมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) 10.29 g/100 g dry weight (dw) แบ่งออกเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) เท่ากับ 2.36 และ 7.94 g/100 g dw ตามลำดับ ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Ramulu และ Rao (2003) ที่ศึกษาปริมาณใยอาหารของมะม่วงสายพันธุ์ต่างๆ ในประเทศอินเดีย ได้แก่ Panchadara Kalasa, Kalasa, Dashedari, Vikarabad, Rumani, Totapuri, Peddarasaloo, Neeligova, Eruman และ Banganapalli พบว่า มะม่วงมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) ใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) ในช่วง 6-15, 2-8 และ 4-8 g/ 100 g dw ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Chang และคณะ (1998) ที่รายงานว่า มะม่วงมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 9.3 g/100 g dw ปริมาณใยอาหารที่ได้แสดงให้เห็นว่ามะม่วงเป็นแหล่งของใยอาหาร โดยมีปริมาณใยอาหารอยู่ในช่วงเดียวกับผลไม้ที่จัดอยู่ในกลุ่มใยอาหารสูง เช่น แดงโม ส้ม กัลยัม มะละกอ สับปะรด แอปเปิ้ล แก้วมังกร ทูเรียน และฝรั่ง ซึ่งมีใยอาหารทั้งหมด (TDF) ใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) ในช่วง 9-24, 4-8 และ 6-17 g/ 100 g dw ตามลำดับ (Ramulu และ Rao, 2003; Nitithan, Komindr และ Nichachotsalid, 2004)

เมื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของเนื้อมะม่วงด้วยวิธี DPPH ในรูปของความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่จำเป็นต้องใช้เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ไปได้ 50% ภายในเวลาที่กำหนด

(EC₅₀) ทั้งนี้สารต้านอนุมูลอิสระจะมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงเมื่อค่า EC₅₀ ต่ำ จากการทดลองพบว่า เนื้อมะม่วงมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน 5.55 µg dw/ µg DPPH ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับผักผลไม้ และพืชสมุนไพร ที่ระบุว่ามามีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูง เช่น พลับ มังคุด มะกอก กระถิน และพลู (0.3-7 µg dw/ µg DPPH) (Maisuthisakul, Suttajit และ Pongsawatmanit, 2007) เมื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP พบว่า เนื้อมะม่วงมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน 51.18 µM trolox equivalent (TE)/ g dw ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับผลไม้ที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูง เช่น แบล็กเบอร์รี่ (25-57 µM TE/ g dw) เชอร์รี่ (55-97 µM TE/ g dw) และกล้วย (50-90 µM TE/ g dw) (Vasco, Ruales และ Karmal-Eldin, 2008) ดังนั้นมะม่วงจึงจัดเป็นผลไม้ที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูง โดยสารต้านอนุมูลอิสระสำคัญที่พบในเนื้อมะม่วง ได้แก่ เบต้าแคโรทีน ซึ่งมีมากถึง 48-84% ของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Godoy และ Rodriguez-Amaya, 1989)

จากการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนในเนื้อมะม่วงสุกพบว่า เนื้อมะม่วงสุกมีปริมาณเบต้าแคโรทีน 49.24 µg/ g dw ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับผักและผลไม้ชนิดต่างๆ ที่มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูง เช่น มะละกอ พักทอง ขิง และกะหล่ำปลี (12-70 µg/ g dw) (Hutchings และ Fift, 1999; Kandlakunta, Rajendran และ Thinghganing, 2008) นอกจากนี้กองโภชนาการ (2549) ที่ศึกษาปริมาณเบต้าแคโรทีนในผลไม้ไทย 83 ชนิด ยังรายงานว่า มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นผลไม้ที่มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงสุด โดยมีค่าประมาณ 57.62 µg/ g dw

จากการศึกษาพบว่า เนื้อมะม่วงสุกประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสำคัญ ได้แก่ โยอาหาร ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และเบต้าแคโรทีน จึงอาจกล่าวได้ว่ามะม่วงจัดเป็นผลไม้ที่มีศักยภาพสูง ช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร และสี กลิ่น รส ให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร

4.3 ภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของมะม่วงตีปน

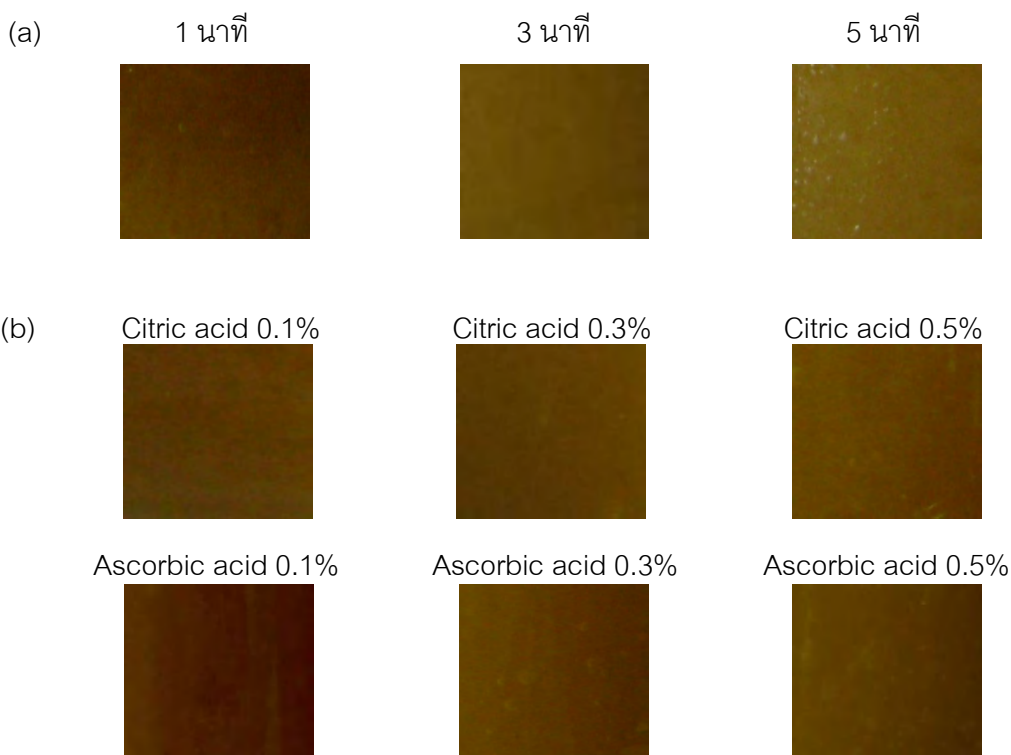
เนื้อมะม่วงหลังจากถูกทำลายทางกล เช่น การปอกเปลือก การหั่น และการตีปน จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว การเกิดสีน้ำตาลในผัก และผลไม้เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งโดยเอนไซม์ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase; PPO) เมื่อเนื้อเยื่อพืชถูกทำลายทางกลจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบโพลีฟีนอลที่อยู่ในเซลล์พืช กับออกซิเจนในอากาศโดยมีเอนไซม์ PPO ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันได้เป็น o-diphenol ซึ่งสารนี้จะออกซิไดส์ต่อไปเป็น o-quinone จากนั้น o-quinone ที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกัน และเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (McEvily, Lyengar และ Otwell, 1992; Sapers, 1993) ทำให้เนื้อมะม่วงมีสีน้ำตาลคล้ำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์จากมะม่วงที่ได้มีคุณภาพลดลง และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นจึง

ต้องมีขั้นตอนควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงก่อนนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นไฮโดรไลเสตมะม่วงในขั้นตอนต่อไป

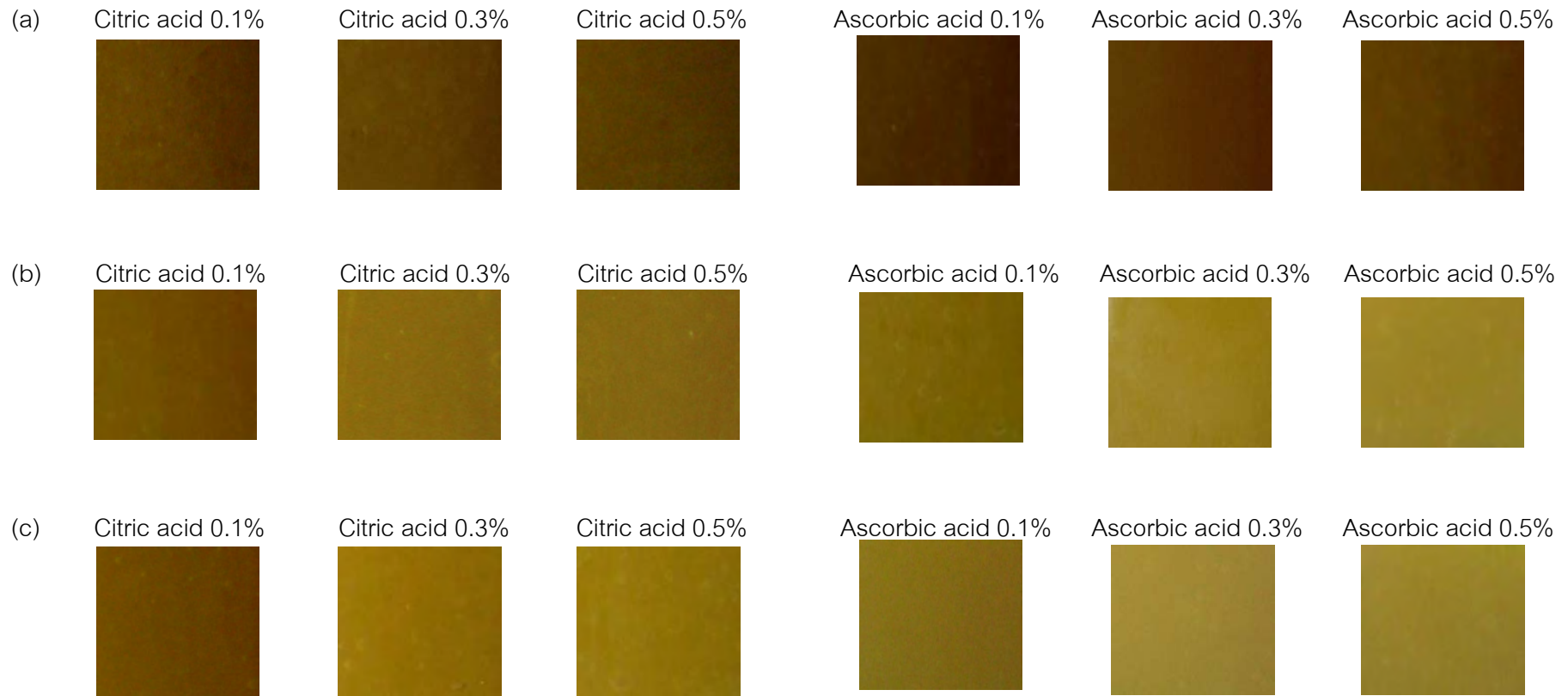
จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเนื้อมะม่วงตีปั่น โดยการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่เวลาต่างๆ ร่วมกับการใช้กรดอินทรีย์ 2 ชนิด คือกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ภาวะการเตรียมเนื้อมะม่วงมีผลต่อการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และการเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อมะม่วง แสดงดังรูปที่ 4.2-4.4



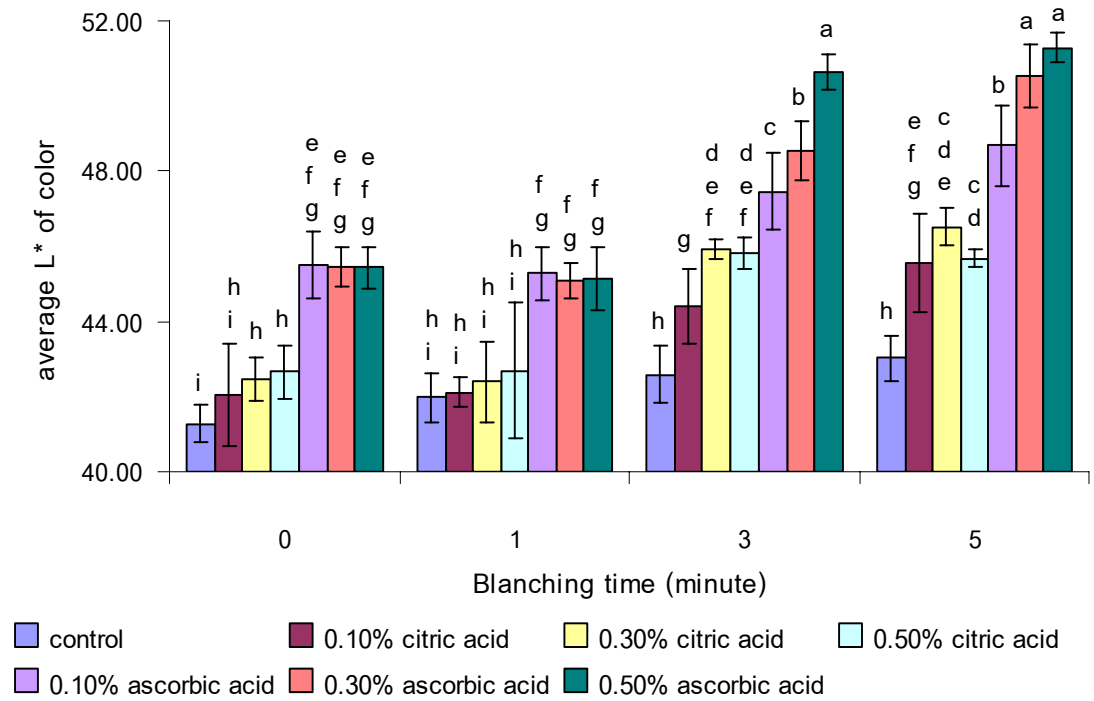
รูปที่ 4.2 สีเนื้อมะม่วงตีปั่นที่ไม่ผ่านการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เก็บที่อุณหภูมิ $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 5 วัน



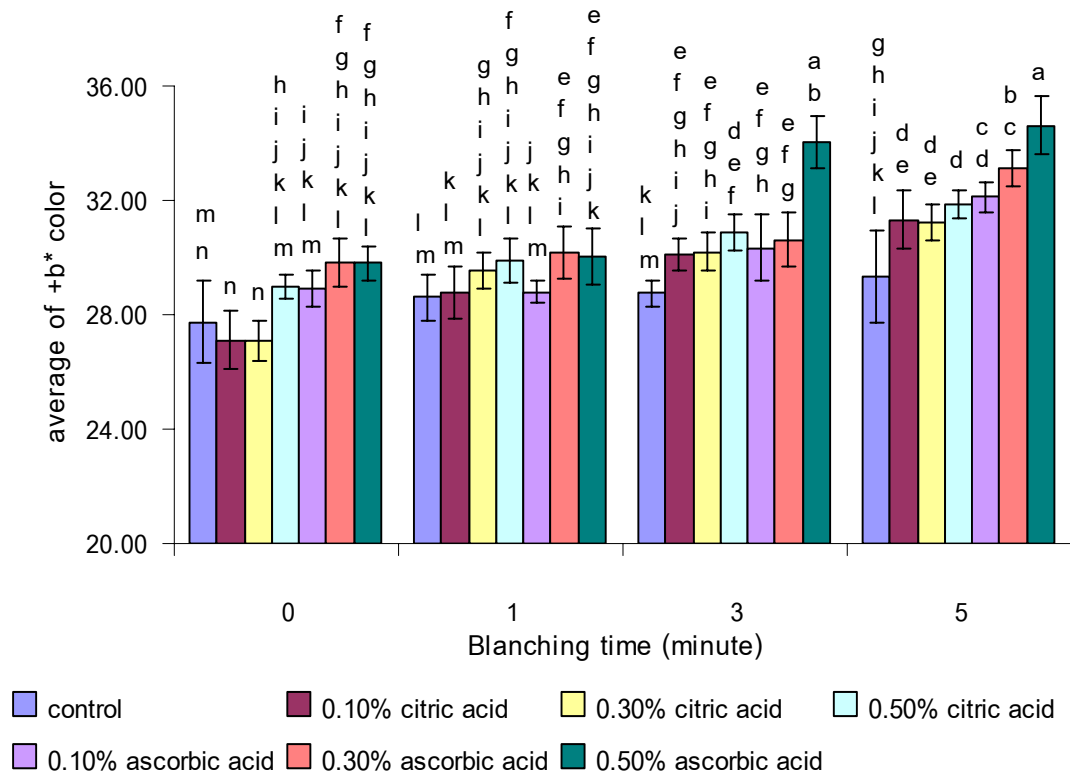
รูปที่ 4.3 สีเนื้อมะม่วงตีปั่นที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลด้วย (a) การให้ความร้อนที่เวลาต่างๆ และ (b) การเติมกรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บที่อุณหภูมิ $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 5 วัน



รูปที่ 4.4 สีเนื้อมะม่วงตีปนที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลด้วยการให้ความร้อนเป็นเวลานาน (a) 1 นาที (b) 3 นาที และ (c) 5 นาที ควบคู่กับการเติมกรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริกที่ความเข้มข้นต่างๆ เก็บที่อุณหภูมิ $10 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 5 วัน



รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความสว่าง (L*) ของเนื้อมะม่วงดิบที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ



รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยสีเหลือง (+b*) ของเนื้อมะม่วงดิบที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ

จากรูปที่ 4.2-4.6 พบว่า ระยะเวลาการให้ความร้อน ชนิดกรดอินทรีย์ และปริมาณกรดอินทรีย์มีผลต่อการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเนื้อมะม่วง โดยเนื้อมะม่วงที่ไม่ผ่านการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว และเนื้อมะม่วงที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจะมีความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เพื่อควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงตีปั่นพบว่า การให้ความร้อนด้วยไอน้ำจนจุดกึ่งกลางของเนื้อมะม่วงมีอุณหภูมิ 85°C นาน 1, 3 และ 5 นาที จะช่วยควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วง ทำให้เนื้อมะม่วงมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะม่วงตีปั่นที่ไม่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (รูปที่ 4.5 และ 4.6) เนื่องจากความร้อนจะทำให้เอนไซม์ PPO เสียสภาพจนไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ (Vásquez-Caicedo, Neidhart และ Carle, 2004) แต่เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานจะพบว่า เนื้อมะม่วงตีปั่นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C นาน 1, 3 และ 5 นาที ไม่สามารถทำให้เอนไซม์ PPO สูญเสียกิจกรรมอย่างสมบูรณ์ ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ndiaye, Xu และ Wang (2009) ที่รายงานว่า การให้ความร้อนด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 85°C นาน 3 นาที ช่วยควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของมะม่วงสายพันธุ์ Badami แต่จะมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เหลืออยู่ 2.85% และเนื้อมะม่วงตีปั่นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) ลดลงเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 10 วัน นอกจากนี้ Vásquez-Caicedo และคณะ (2007) ยังรายงานว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C กับเนื้อมะม่วงสายพันธุ์ Tommy Atkins เป็นเวลานาน 1, 4 และ 16 นาที จะมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เหลืออยู่ 8.5%, 8.1% และ 6.1% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลของชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ที่ใช้ควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงตีปั่นพบว่า ชนิดกรดอินทรีย์มีผลต่อการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วง โดยการใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะทำให้เนื้อมะม่วงตีปั่นมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) มากกว่าการใช้กรดซิตริก (รูปที่ 4.5 และ 4.6) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการทำงานของกรด 2 ชนิด ในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแตกต่างกัน โดยกรดซิตริกจะทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในกลุ่ม acidulant ทำให้ค่า pH ลดลง และเมื่อค่า pH ต่ำกว่าค่า optimum pH ของเอนไซม์ PPO (pH 5-7) จะช่วยลดแอกทิวิตีของเอนไซม์ นอกจากนี้กรดซิตริกยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารคีเลทจับกับทองแดงที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ PPO ทำให้เอนไซม์ PPO ไม่สามารถทำงานได้เป็นปกติ (McCord และ Kilara, 1983) ในขณะที่กรดแอสคอร์บิกจะทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ โดยจะรีดิวซ์ o-quinone ให้กลับมาอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอลทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล แต่เมื่อกรดแอสคอร์บิกถูกใช้หมดสาร

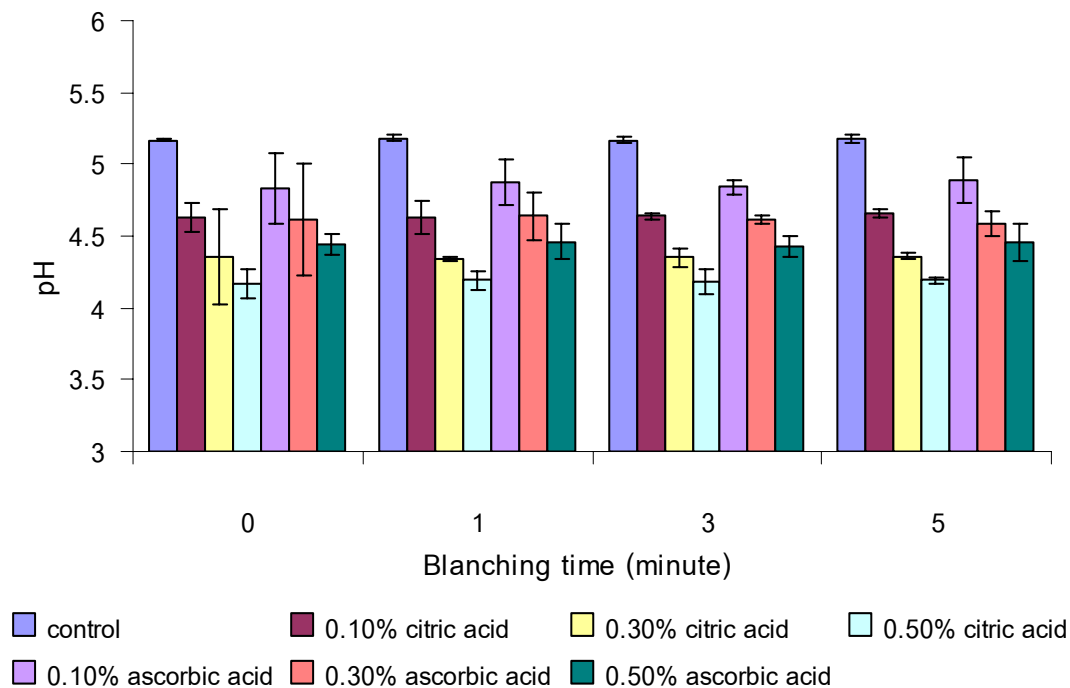
o-quinone จะสะสมมากขึ้น และเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารที่ให้สีน้ำตาล (Dris และ Jain, 2004) สำหรับผลของปริมาณกรดอินทรีย์พบว่า การเพิ่มปริมาณกรดอินทรีย์ทั้งสองชนิด(0.1-0.5% (v/w)) จะช่วยควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงทำให้เนื้อมะม่วงมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อมะม่วงตีปั่นที่ไม่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (รูปที่ 4.5 และ 4.6) Guerrero-Beltrán, Swanson และ Barbosa-Cánovas (2006) ศึกษาการใช้กรดแอสคอร์บิกเพื่อควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงตีปั่นพบว่า การใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 250, 500 และ 1000 mg/ kg ช่วยควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วง แต่ยังมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เหลืออยู่

ดังนั้นการเตรียมเนื้อมะม่วงตีปั่นโดยการให้ความร้อน หรือการเติมกรดอินทรีย์เพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานเนื้อมะม่วงตีปั่นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล จึงได้ทดลองให้ความร้อนควบคู่กับการเติมกรดอินทรีย์ เพื่อศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการให้ความร้อน ชนิดกรดอินทรีย์ และปริมาณกรดอินทรีย์ต่อการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงตีปั่น

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการให้ความร้อน ชนิดกรดอินทรีย์ และปริมาณกรดอินทรีย์พบว่า มีอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ต่อค่าสีเหลือง ($+b^*$) และมีอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่าง 2 ปัจจัย ต่อค่าความสว่าง (L^*)

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนนาน 3 และ 5 นาที ร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/w) และการให้ความร้อนนาน 5 นาที ร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิก 0.3% (w/w) จะได้เนื้อมะม่วงตีปั่นที่มีค่าความสว่าง (L^*) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และจากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนนาน 3 และ 5 นาที ร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/w) จะได้เนื้อมะม่วงตีปั่นที่มีค่าสีเหลือง ($+b^*$) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกใช้การให้ความร้อนด้วยไอน้ำจันจุดกึ่งกลางของเนื้อมะม่วงมีอุณหภูมิ 85°C นาน 3 นาที ร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/w) เป็นภาวะในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงตีปั่น เนื่องจากเป็นภาวะที่ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนน้อยกว่า 5 นาที จึงส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของมะม่วงน้อย ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mao, Xu และ Que (2007) ที่พบว่า การให้ความร้อนควบคู่กับการเติมกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.1% (w/w) มีผลช่วยควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและเพิ่มคุณภาพโดยรวมของน้ำอ้อยได้ เมื่อนำเนื้อมะม่วงตีปั่นภาวะที่เลือกมาตรวจสอบแอกทิวิตีของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (Peroxidase; POD) เพื่อยืนยันว่าภาวะดังกล่าวสามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ ผลการทดลองพบว่า เนื้อมะม่วงตีปั่นภาวะที่เลือกไม่

พบแอกทิวิตีของเอนไซม์ POD และเนื้อมะม่วงที่เตรียมได้มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 4.43 (รูปที่ 4.7) ซึ่งค่า pH นี้ยังอยู่ในช่วงที่เอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L สามารถทำงานได้ดี

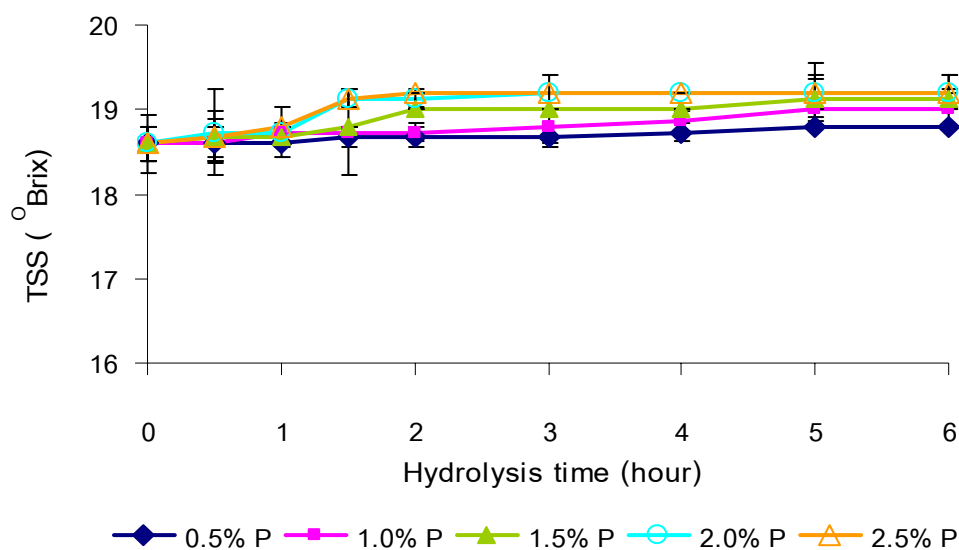


รูปที่ 4.7 ค่า pH ของเนื้อมะม่วงตีปั่นที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ

4.4 ภาวะการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์

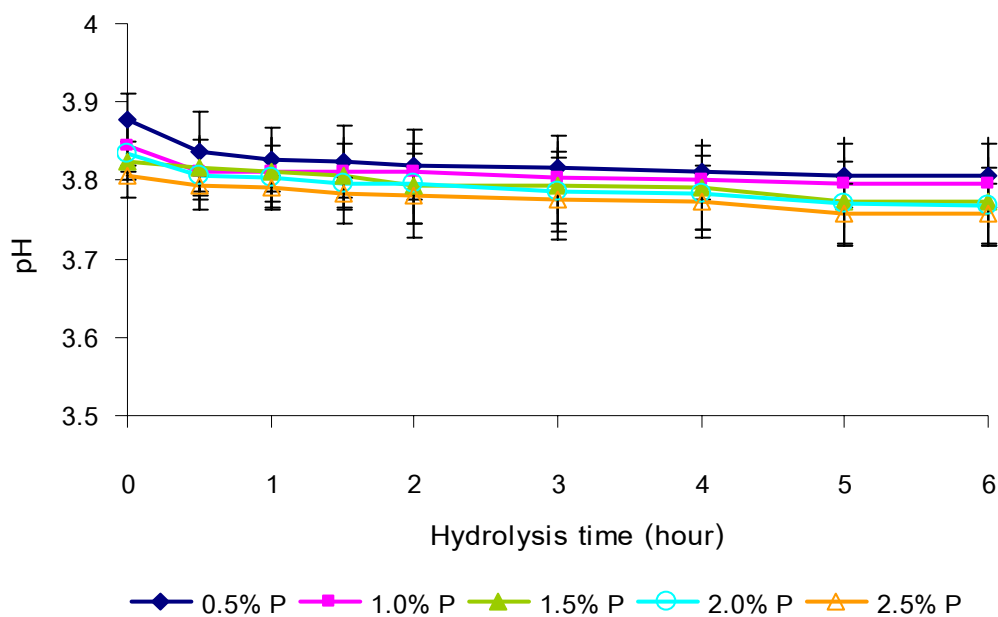
การผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงโดยการใช้เอนไซม์เพกทิเนสย่อยส่วนประกอบต่างๆ ในผนังเซลล์พืช มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มสมบัติอิมัลชันไฟเออร์ของสารประกอบเพกทินในเนื้อมะม่วง รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดของเหลวต่างๆ ได้แก่ สารให้สี กลิ่นรส และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชันที่มีมะม่วงเป็นส่วนผสมมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น ประกอบด้วยสี กลิ่นรส และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากมะม่วง การผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์ทำได้โดยนำเนื้อมะม่วงตีปั่นที่ผ่านการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากข้อ 4.3 เข้าสู่กระบวนการแปรรูปด้วยเอนไซม์เพกทินเอสทางการค้า คือ Pectinex® Ultra SP-L (10292 PGU/ml) ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ พอลิกลาแลกทูโรเนส เพกทินเอสเทอเรส เพกทินไลเอส เฮมิเซลลูเลส เซลลูเลส โปรตีเอส และอะไมเลส ที่ความเข้มข้น 0.5-2.5% (v/w) นาน 0-6 ชั่วโมง จากนั้นติดตามผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าสี และค่า pH และเลือกภาวะที่ไฮโดรไลเสตมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน (degree of hydrolysis; DH) ครอบคลุมจากช่วงต่ำไปสูงโดยประเมินจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงในขั้นตอนถัดไป

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาการย่อย และความเข้มข้นของเอนไซม์ ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แสดงดังรูปที่ 4.8 ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ที่ใช้มีสมบัติในการย่อยสารประกอบเพกทิน ทำให้สารที่อยู่ในเซลล์พืชถูกปลดปล่อยออกมา ดังนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจึงมีค่าเพิ่มขึ้น (Chauhan, Tyagi และ Singh, 2001; Rajanala, Tyagi และ Chauhan, 1995) ส่วนการที่ไฮโดรไลเสตมะม่วงมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ของเนื้อมะม่วงถูกปล่อยออกมาด้วย และอาจมีสาเหตุมาจากผลไม่แต่ละชนิดมีลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทำให้ลักษณะการย่อยสารประกอบเพกทินต่างกัน ส่งผลให้น้ำและของเหลวที่ละลายน้ำได้ซึ่งอยู่ในเซลล์ถูกปลดปล่อยออกมาในปริมาณที่ต่างกัน (Baumann, 1981) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า เวลาการย่อยและความเข้มข้นของเอนไซม์มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด แต่ไม่พบผลของอิทธิพลร่วมต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



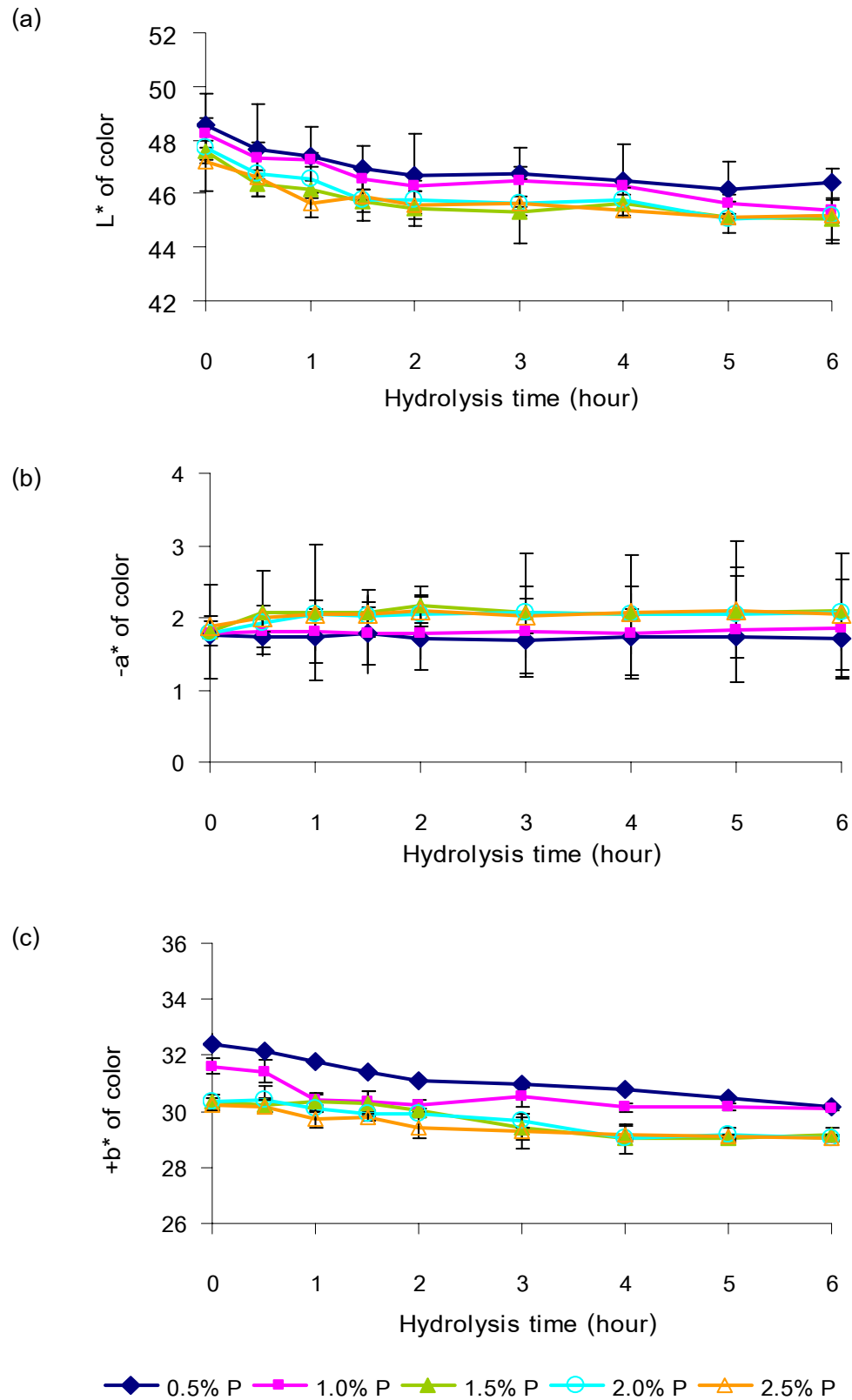
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L (P) ที่ความเข้มข้น และเวลาการย่อยต่างๆ

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของไฮโดรไลเสตมะม่วงแสดงดังรูปที่ 4.9 จากรูปพบว่า การเพิ่มระยะเวลาการย่อยและความเข้มข้นของเอนไซม์ส่งผลให้ค่า pH ลดลง เมื่อวิเคราะห์ ข้อมูลทางสถิติพบว่า ระยะเวลาการย่อยและความเข้มข้นของเอนไซม์มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อค่า pH แต่ไม่พบผลของอิทธิพลร่วมต่อค่า pH อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



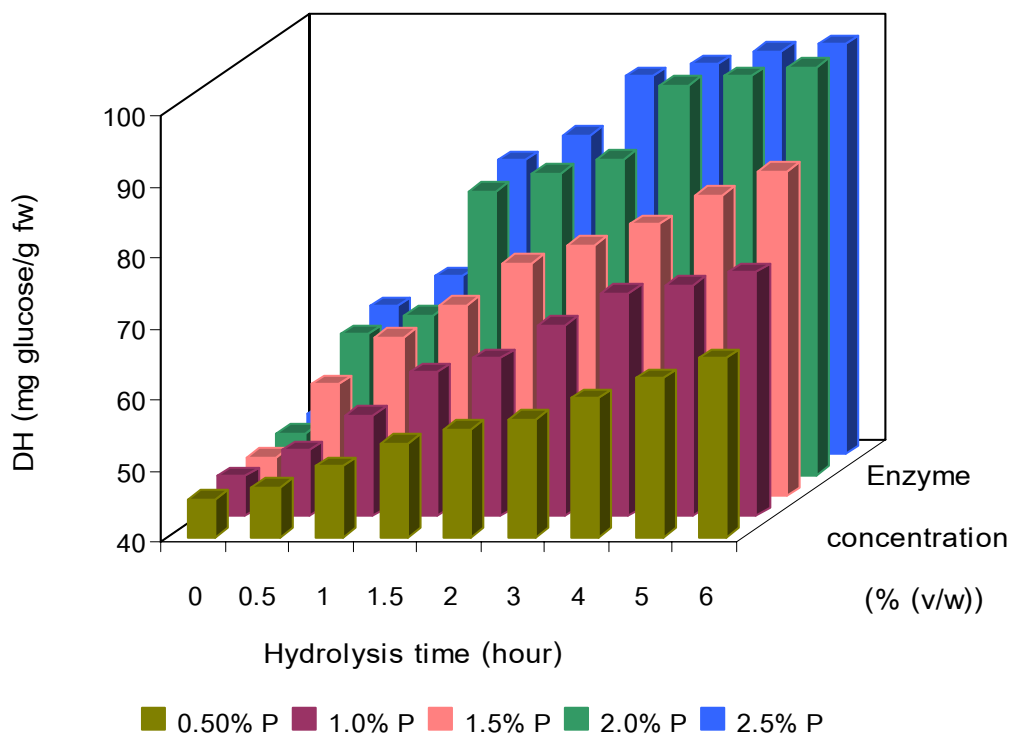
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex[®] Ultra SP-L (P) ที่ความเข้มข้น และเวลาการย่อยต่างๆ

สำหรับค่าสีในระบบ CIE LAB ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาการย่อยและความเข้มข้นของเอนไซม์จะทำให้ไฮโดรไลเสตมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) ลดลง แต่ค่าสีเขียว ($-a^*$) ค่อนข้างคงที่ อาจเนื่องมาจากสีของไฮโดรไลเสตจะเปลี่ยนแปลงตามสีของเอนไซม์เพกทิเนสซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ระยะเวลาการย่อยและความเข้มข้นของเอนไซม์มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) แต่ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ต่อค่าสีเขียว ($-a^*$) ส่วนผลของอิทธิพลร่วมพบว่า มีอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อค่าสีเหลือง ($+b^*$) แต่ไม่พบผลของอิทธิพลร่วมต่อค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเขียว ($-a^*$) อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าสีในระบบ CIE LAB (a) ค่าความสว่าง (L^*) (b) ค่าสีเขียว ($-a^*$) และ (c) ค่าสีเหลือง ($+b^*$) ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex[®] Ultra SP-L (P) ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ

จากการติดตามการทำงานของเอนไซม์ โดยพิจารณาจากระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน (DH) ในไฮโดรไลเสตมะม่วงซึ่งประเมินจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาการย่อย ส่งผลให้ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินหรือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในไฮโดรไลเสตมะม่วงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 45-95 mg glucose/ g fresh weight (fw) (รูปที่ 4.11) ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินที่เพิ่มขึ้นเกิดจากเอนไซม์เพกทิเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลสซึ่งเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L จะย่อยสลายพันธะไกลโคซิดของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ตามลำดับ ที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อพืช (ปราณี อานเป็รื่อง, 2547; Fanta และคณะ, 1992; Grohmann และ Baldwin, 1992; Jayani, Saxena และ Gupta, 2005; Sreenath และคณะ, 1999) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาการย่อยมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วง และพบผลของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 2 ต่อระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และยังพบว่า การใช้เอนไซม์เข้มข้น 2.0% (v/w) เวลาการย่อยนาน 0-6 ชั่วโมง เป็นภาวะที่ไฮโดรไลเสตมะม่วงมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน หรือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ครอบคลุมจากช่วงต่ำไปสูง ซึ่งระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกับภาวะที่ใช้เอนไซม์เข้มข้น 2.5% (v/w) อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์เข้มข้น 2.0% (v/w) แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 45.78, 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw ซึ่งใช้เวลาย่อย 0, 0.5, 1.5 และ 4.0 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้น 2.0% (v/w) เวลาการย่อย 0, 0.5, 1.5 และ 4.0 ชั่วโมง เป็นตัวแทนเพื่อศึกษาผลของระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในเนื้อมะม่วงด้วยเอนไซม์ที่มีต่อลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วง และเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะที่ได้กับไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ โดยกำหนดรหัสตัวอย่างเพื่อสะดวกในการอ้างถึงตลอดงานวิจัย ดังนี้ ไฮโดรไลเสตมะม่วงเริ่มต้นที่ไม่เติมเอนไซม์ และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 45.59 mg glucose/ g fw ให้รหัสตัวอย่างเป็น DP 46 ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ ณ จุดเริ่มต้นของการย่อยสลายสารประกอบเพกทินซึ่งมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับรหัสตัวอย่าง DP 46 ให้รหัสตัวอย่างเป็น DP 46E ส่วนไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินด้วยเอนไซม์จนมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw ให้รหัสตัวอย่างเป็น DP 60, DP 80 และ DP 95 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน (DH) ในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex[®] Ultra SP-L (P) ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ

4.5 ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

เมื่อนำไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์จนมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในช่วง 45-95 mg glucose/ g fw (DP 46E-DP 95) จากข้อ 4.4 และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) มาศึกษาลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพในด้านสี ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณใยอาหาร ปริมาณเบต้าแคโรทีน ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ขนาดอนุภาค ความหนืด และคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงจะมีลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพแตกต่างกันตามระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน ดังตารางที่ 4.5 ดังนี้

4.5.1 ค่าสี

เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินส่งผลให้ไฮโดรไลเสตมะม่วงมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ค่าสีเขียว ($-a^*$) ค่อนข้างคงที่ ($p > 0.05$) การลดลงของค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง ($+b^*$) อาจเกิดจากสีของไฮโดรไลเสตมะม่วงเปลี่ยนตามสีของเอนไซม์เพกทิเนสซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม

4.5.2 ค่า pH

ค่า pH ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ (DP 46E, DP 60, DP 80 และ DP 95) มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เพราะไฮโดรไลเสตทั้ง 4 ระดับ ถูกย่อยด้วยเอนไซม์เพกทินเอสที่ความเข้มข้น 2.0% (v/w) แต่ค่า pH ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์มีค่าน้อยกว่าค่า pH ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) เนื่องจากเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L มีสภาพเป็นกรด

4.5.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

การเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินตั้งแต่ DP 46 ถึง DP 95 ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.5.4 ปริมาณใยอาหาร

การเปลี่ยนแปลงปริมาณใยอาหารในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.5 จากตารางพบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงจะมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (TDF) คงที่ ในขณะที่ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) จะเพิ่มขึ้น และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน เนื่องจากเอนไซม์เพกทินเอสเทอร์เรส (PE) และพอลิกลาแลกทูโรเนส (PG) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L จะย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสต โดยเอนไซม์เพกทินเอสเทอร์เรส (PE) จะดึงหมู่เมทิลออกจากสารประกอบเพกทิน ส่วนเอนไซม์พอลิกลาแลกทูโรเนส (PG) จะไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคซิดระหว่างกรดกลูโคนิกของสารประกอบเพกทินทำให้ไฮโดรไลเสตมีขี้ผึ้งเพิ่มมากขึ้น และสารประกอบเพกทินที่ไม่ละลายน้ำจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารประกอบเพกทินที่ละลายน้ำได้ ซึ่งสารประกอบเพกทินที่ละลายน้ำได้นี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน (Akhtar และคณะ, 2002; Leroux และคณะ, 2003)

ผลการทดลองพบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw (DP 80) ขึ้นไป มีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำน้อยสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.5.5 ปริมาณเบต้าแคโรทีน

เบต้าแคโรทีนเป็นรงควัตถุสำคัญในมะม่วง จัดอยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ ให้สีเหลืองส้ม และมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน (Godoy และ Rodriguez-Amaya, 1989) ผลการทดลอง

พบว่า ไฮโดรไลเซตมะม่วงจะมีปริมาณเบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินเพิ่มขึ้น โดยไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fw (DP 60) ขึ้นไป จะมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Çinar (2005) Haard และ Chism (1996) และ Sun และคณะ (2006) ที่รายงานว่า เอนไซม์เพกทิเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลสจะย่อยผนังเซลล์พืช ทำให้แคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ หรือโครโมพลาสต์ และของเหลวภายในเซลล์ถูกปลดปล่อยออกมา แคโรทีนอยด์ที่ได้จะอยู่ในรูปธรรมชาติ กล่าวคือสามารถจับกับโปรตีน กรดไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในส่วนของใยอาหาร ซึ่งแคโรทีนอยด์ที่อยู่ในรูปนี้จะช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

4.5.6 ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่พบในมะม่วง ได้แก่ สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ สารกลุ่มวิตามิน และสารประกอบฟีนอลิก ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินจะทำให้ไฮโดรไลเซตมะม่วงมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw (DP 80) ขึ้นไป มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ FRAP ให้ผลไปในทางเดียวกัน เนื่องจากเอนไซม์เพกทิเนสจะย่อยองค์ประกอบต่างๆ บริเวณผนังเซลล์พืชที่ยึดจับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ทำให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพถูกปล่อยออกมา (Puupponen-Pimia และคณะ, 2008)

4.5.7 ขนาดอนุภาค

จากตารางที่ 4.5 พบว่า การเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเซตมะม่วงส่งผลให้ขนาดอนุภาคของไฮโดรไลเซตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw (DP 80) ขึ้นไป มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์จะย่อยสารประกอบต่างๆ บริเวณผนังเซลล์พืช ได้แก่ สารประกอบเพกทิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ทำให้ได้พอลิเมอร์ของสารประกอบดังกล่าวสั้นลง ส่งผลให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง (Jayani, Saxena และ Gupta, 2005; Shallom และ Shoham, 2003; Zhang, Himmel และ Mielenz, 2006) นอกจากนี้ยังพบว่าไฮโดรไลเซตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ ณ จุดเริ่มต้น (DP 46E) มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) อาจเนื่องมาจากเอนไซม์ซึ่งป็น

โปรตีนจะช่วยลดการรวมตัวของไขมันในไฮโดรไลเสตมะม่วง (Youssef และ Barbut, 2009) ขนาดอนุภาคของไฮโดรไลเสตที่ได้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน

4.5.8 ความหนืด

ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินจะทำให้ความหนืดของไฮโดรไลเสตมะม่วงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเอนไซม์จะย่อยสารประกอบเพกทินส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของสารประกอบเพกทินลดลง น้ำอิสระจึงถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้ค่าความหนืดของไฮโดรไลเสตลดลง (Abdullah และคณะ, 2007; Lee และคณะ, 2006; Sreenath, Krishna และ Santhanam, 1995) นอกจากนี้ยังพบว่า ความหนืดของไฮโดรไลเสตจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดอนุภาคของไฮโดรไลเสต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ana และ Cunha (2009) ที่รายงานว่า ความหนืดของ jaboticaba pulp จะลดลงตามขนาดอนุภาค ความหนืดที่ได้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสต

4.5.9 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ในด้านสี กลิ่น รส และความเรียบเนียนของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ โดยให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 10 คน ให้ผลดังตารางที่ 4.6 จากตารางพบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw (DP 80) ขึ้นไป จะมีสีเหลืองและกลิ่นมะม่วงชัดเจนกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้สอดคล้องกับ Sreenath, Krishna และ Santhanam (1995) ที่รายงานว่า เอนไซม์เพกทิเนสจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมะม่วง ทำให้น้ำมะม่วงมีลักษณะปรากฏด้านสี กลิ่น รสดีขึ้น ส่วนในด้านกลิ่นรสแปลกปลอมผู้ทดสอบจะรู้สึกถึงกลิ่นรสแปลกปลอมได้บ้างในไฮโดรไลเสตทุกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw (DP 80) ขึ้นไป มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนกว่าไฮโดรไลเสตที่ภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลของขนาดอนุภาค และค่าความหนืดที่พบว่า เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินจะทำให้ไฮโดรไลเสตมีขนาดอนุภาคเล็กลง และมีความหนืดลดลง นอกจากนี้ผู้ทดสอบจะรู้สึกถึงกลิ่นรสมะม่วงที่ตกค้างได้ปานกลางในไฮโดรไลเสตมะม่วงทุกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน

ตารางที่ 4.5 ลักษณะเฉพาะทางเคมีกายภาพของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Physicochemical properties	Sample codes				
	DP 46	DP 46E	DP 60	DP 80	DP 95
Degree of hydrolysis	45.59±0.37	45.78±0.78	59.84±0.37	79.83±1.16	94.80±0.44
Color					
L*	48.35 ^a ±0.73	47.69 ^{ab} ±0.41	46.73 ^{bc} ±0.20	45.75 ^c ±0.78	45.78 ^c ±0.63
-a*	1.77 ^{ns} ±0.32	1.79 ^{ns} ±0.13	1.94 ^{ns} ±0.04	2.03 ^{ns} ±0.27	2.06 ^{ns} ±0.27
+b*	32.51 ^a ±0.48	30.32 ^b ±0.18	30.43 ^b ±0.48	29.88 ^b ±0.10	29.01 ^c ±0.02
pH	4.49 ^a ±0.01	3.83 ^b ±0.02	3.81 ^b ±0.05	3.80 ^b ±0.05	3.78 ^b ±0.05
Total soluble solid (°Brix)	18.53 ^c ±0.31	18.60 ^{bc} ±0.00	18.73 ^{abc} ±0.50	19.13 ^{ab} ±0.12	19.20 ^a ±0.00
Total dietary fiber (TDF) (g/ 100 g dw)	10.37 ^{ns} ±0.17	10.43 ^{ns} ±0.07	10.32 ^{ns} ±0.04	10.34 ^{ns} ±0.07	10.36 ^{ns} ±0.07
Soluble dietary fiber (SDF)	2.40 ^c ±0.08	2.46 ^c ±0.04	3.80 ^b ±0.04	4.38 ^a ±0.03	4.44 ^a ±0.04
Insoluble dietary fiber (IDF)	7.96 ^a ±0.10	7.97 ^a ±0.04	6.49 ^b ±0.03	5.96 ^c ±0.04	5.94 ^c ±0.03
β-Carotene (µg/ g dw)	40.72 ^b ±0.52	40.90 ^b ±0.47	48.59 ^a ±0.68	48.92 ^a ±0.37	48.97 ^a ±0.24
Antioxidant activities					
DPPH assay (EC50, µg dw/ µg DPPH)	15.93 ^a ±0.12	15.94 ^a ±0.42	11.45 ^b ±0.26	10.27 ^c ±0.19	9.83 ^c ±0.24
FRAP assay (µM TE/ g dw)	16.99 ^c ±0.89	16.86 ^c ±0.49	25.22 ^b ±0.82	27.40 ^a ±0.94	28.22 ^a ±1.24
Particle size (µm)	32.69 ^a ±1.86	13.41 ^b ±2.93	11.52 ^{bc} ±2.52	9.09 ^{cd} ±1.53	6.68 ^d ±0.74
Viscosity (mPa.s)	317.97 ^a ±5.34	289.90 ^b ±5.43	155.10 ^c ±2.89	112.60 ^d ±10.08	96.11 ^e ±4.68

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

dw คือ dry weight basis, fw คือ fresh weight basis, TE คือ trolox equivalent

ตารางที่ 4.6 คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Sensory attributes	Sample codes				
	DP 46	DP 46E	DP 60	DP 80	DP 95
Color	6.31 ^b ±1.15	6.37 ^b ±1.03	6.95 ^b ±0.86	8.53 ^a ±0.86	8.56 ^a ±0.73
Flavor					
Mango flavor	6.46 ^c ±0.42	6.43 ^c ±1.01	7.14 ^b ±0.41	7.90 ^a ±0.72	8.41 ^a ±0.56
Off- flavor	7.81 ^a ±0.26	6.38 ^b ±0.46	6.52 ^b ±0.31	6.41 ^b ±0.23	6.63 ^b ±0.28
Smoothness	2.85 ^c ±0.62	2.98 ^c ±0.34	4.49 ^b ±0.48	7.21 ^a ±0.68	7.74 ^a ±0.74
Aftertaste	6.42 ^a ±1.17	6.24 ^{ab} ±1.16	5.94 ^{abc} ±0.50	5.55 ^{bc} ±0.53	5.30 ^c ±0.55

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

กำหนดให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของไฮโดรไลเสตมะม่วงมีคะแนนสูงสุด 10 คะแนน

4.6 ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

เสถียรภาพของอิมัลชัน หรือความคงตัวของอิมัลชันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น ชนิดและความเข้มข้นของโปรตีน ชนิดและความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ ปริมาณน้ำมัน และสภาวะที่ใช้ในการแปรรูปและเก็บรักษา ได้แก่ ค่า pH อุณหภูมิ ความเข้มข้นของไอออน และความเร็วในการโฮโมจีไนส์ (Gu, Regnier และ McClements, 2005; Hemar และคณะ, 2001; Huang, Kakuda และ Cui, 2001; Surh, Decker และ McClements, 2006) เสถียรภาพของอิมัลชันประเมินได้จากขนาดอนุภาคของอิมัลชัน ความหนืดของอิมัลชัน และเสถียรภาพของครีม (Creaming stability)

4.6.1 ค่า pH ที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

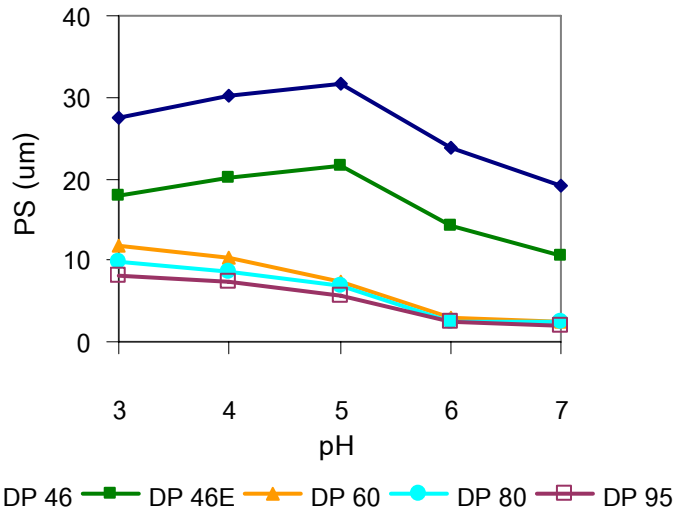
4.6.1.1 ขนาดอนุภาคของอิมัลชัน

การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของอิมัลชันที่ค่า pH ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.12 จากรูปพบว่า ค่า pH ส่งผลต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชัน โดยเมื่อลดค่า pH จาก 7 เป็น 5 จะส่งผลให้อิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงทุกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น เนื่องจาก pH 5 มีค่าใกล้เคียงกับค่าไอโซอิเล็กทริกของไซเดียมเคซีเนต ($pI \approx 4.6$) ดังนั้นประจุรวมที่ผิวว่ระหว่างน้ำกับน้ำมันจึงมีค่าใกล้เคียงศูนย์ มีผลให้การเกาะกลุ่ม (flocculation)

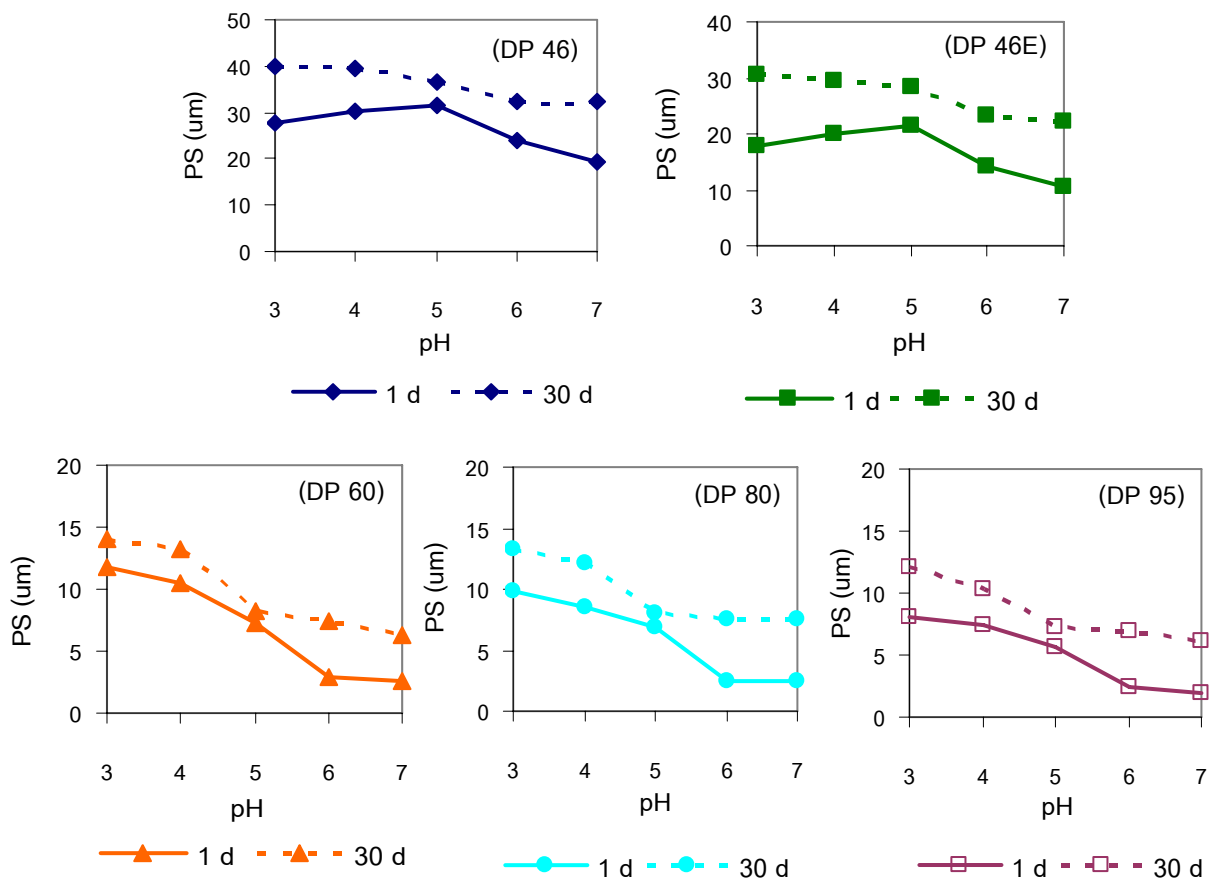
และการรวมตัว (coalescence) ของอนุภาคน้ำมันเพิ่มขึ้น ขนาดอนุภาคของอิมัลชันจึงเพิ่มขึ้น (McClements, 2005) แต่อิมัลชันจากไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw (DP 60, DP 80 และ DP 95) จะมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากที่ pH 5 สารประกอบเพกทินซึ่งถูกย่อยด้วยเอนไซม์สามารถดูดซับบนผิวของอนุภาคน้ำมันที่ล้อมรอบด้วยไฮเดียมเคซีน ทำให้การเกาะกลุ่ม (flocculation) และการรวมตัว (coalescence) ของอนุภาคลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Surh, Decker และ McClements (2006) ที่รายงานว่า ที่ pH 5 สารประกอบเพกทินซึ่งมีประจุลบจะสามารถดูดซับบนผิวร่วมของอนุภาคน้ำมันที่ล้อมรอบด้วยไฮเดียมเคซีน นอกจากนี้งานวิจัยก่อนหน้านี้อย่างงานว่า ที่ pH 5 สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีประจุลบจะช่วยลดการเกาะกลุ่ม (flocculation) และการรวมตัว (coalescence) ของอนุภาคน้ำมันที่ล้อมรอบด้วยเคซีน ทำให้อิมัลชันมีขนาดอนุภาคเล็ก (de kruif และ Tuinier, 2001; Laurent และ Boulenguer, 2003; Sedlmeyer และคณะ, 2004) เมื่อลดค่า pH เป็น 3 และ 4 พบว่า อิมัลชันจากไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) และไฮโดรไลเซตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ ณ จุดเริ่มต้น (DP 46E) มีขนาดอนุภาคลดลง เนื่องจากอิมัลชันมีค่า pH น้อยกว่าค่าไอโซอิเล็กทริกของไฮเดียมเคซีน ($pI \approx 4.6$) ดังนั้นไฮเดียมเคซีนจึงมีประจุบวก และสามารถจับกับสารประกอบเพกทินซึ่งมีประจุลบบนผิวของอนุภาคน้ำมัน ช่วยเพิ่มความหนาของชั้นผิวร่วมระหว่างกับน้ำมัน ส่งผลให้การเกาะกลุ่ม (flocculation) และการรวมตัว (coalescence) ของอนุภาคน้ำมันลดลง ในขณะที่อิมัลชันจากไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw (DP 60, DP 80 และ DP 95) จะมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อลดค่า pH เป็น 3 และ 4 เนื่องจากที่ pH 3 และ 4 จะมีสารประกอบเพกทินจำนวนมากดูดซับบนผิวร่วมระหว่างน้ำกับน้ำมัน มีผลให้สารประกอบเพกทินที่ดูดซับบนผิวร่วมรวมตัวกันเอง ทำให้อนุภาคมีขนาดเพิ่มขึ้น (Cao, Dickinson และ Wedlock, 1990; Dickinson, 2003; Ward-Smith, Hey และ Mitchell, 1994) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Akhtar และคณะ (2002) ที่รายงานว่า อิมัลชันที่มีสารประกอบเพกทินซึ่งสกัดได้จาก citrus และถูกย่อยด้วยเอนไซม์ Rheozyme™ (10 PEU/ml) จะมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อลดค่า pH จาก 7 เป็น 4

เมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของอิมัลชันที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 และ 30 วันพบว่า อิมัลชันจากไฮโดรไลเซตมะม่วงทุกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 30 วัน (รูปที่ 4.13) อาจเนื่องมาจากไฮเดียมเคซีนที่ความเข้มข้น 2% (w/w) ไม่เพียงพอสำหรับปกคลุมอนุภาคน้ำมันซึ่งมีขนาดใหญ่

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ค่า pH มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชันที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 และ 30 วัน



รูปที่ 4.12 ขนาดอนุภาคของอิมัลชัน (PS) จากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินใน ระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่ pH ต่างๆ และเก็บเป็นเวลา 1 วัน

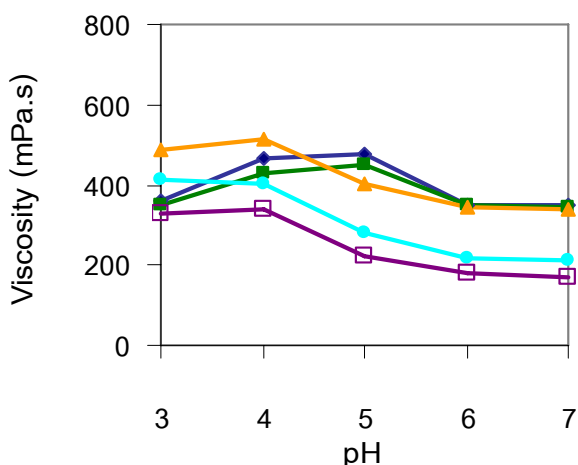


รูปที่ 4.13 ขนาดอนุภาคของอิมัลชัน (PS) จากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินใน ระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่ pH ต่างๆ และเก็บเป็นเวลา 1 และ 30 วัน

4.6.1.2 ความหนืดของอิมัลชัน

ผลของ pH ต่อความหนืดของอิมัลชันแสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่า เมื่อลดค่า pH จาก 7 เป็น 5 อิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงทุกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการลดค่า pH จนมีค่าใกล้เคียงกับค่าไอโซอิเล็กทริกของไฮเดียมเคซีเนตจะส่งผลให้การเกาะกลุ่ม (flocculation) และการรวมตัว (coalescence) ของอนุภาคในอิมัลชันเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าความหนืดของอิมัลชันจึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อลดค่า pH เป็น 3 และ 4 พบว่า อิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ ณ จุดเริ่มต้น (DP 46E) มีความหนืดลดลง เนื่องจากที่ pH 3 และ 4 สารประกอบเพกทินจะดูดซับบนผิวร่วระหว่างน้ำกับน้ำมัน ทำให้การเกาะกลุ่ม (flocculation) และการรวมตัว (coalescence) ของอนุภาคในอิมัลชันลดลง ส่งผลให้ความหนืดของอิมัลชันมีค่าลดลง ในขณะที่อิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw (DP 60, DP 80 และ DP 95) จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อลดค่า pH เป็น 3 และ 4 ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Surh, Decker และ McClements (2006) ที่ศึกษาผลของ pH ต่อเสถียรภาพของอิมัลชันที่มีไฮเดียมเคซีเนตเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์พบว่า ที่ pH 6 และ 7 อิมัลชันจะมีความหนืดต่ำและมีพฤติกรรมการไหลแบบ newtonian แต่เมื่อลด pH เป็น 5 อิมัลชันจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ค่า pH มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อความหนืดของอิมัลชัน



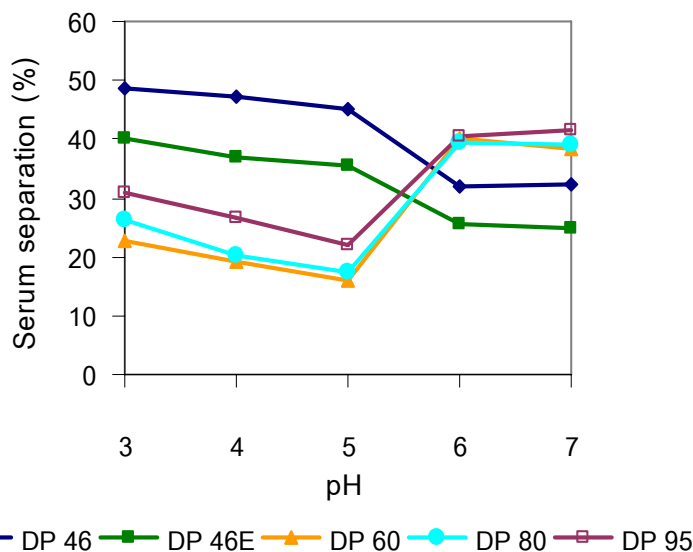
—◆— DP 46 —■— DP 46E —▲— DP 60 —●— DP 80 —□— DP 95

รูปที่ 4.14 ความหนืดของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่ pH ต่างๆ

4.6.1.3 เสถียรภาพของครีม

เสถียรภาพของครีมประเมินจากการแยกชั้นของสารละลาย การแยกชั้นของสารละลายเกิดจากน้ำมันซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะรวมตัวกัน และลอยขึ้นสู่ด้านบน ทำให้เกิดลักษณะของครีมที่ผิวด้านบน ส่วนด้านล่างจะเป็นชั้นของสารละลายใส ทั้งนี้อิมัลชันจะมีเสถียรภาพของครีมสูงเมื่อการแยกชั้นของสารละลายน้อย การแยกชั้นของสารละลายแสดงดังรูปที่ 4.15 พบว่า อิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ ณ จุดเริ่มต้น (DP 46E) มีเสถียรภาพของครีมสูงที่ pH 6 และ 7 เนื่องจากที่ค่า pH ดังกล่าวมีขนาดอนุภาคเล็ก ดังนั้นความหนืดจึงเพียงพอสำหรับต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาค แต่ที่ pH 3-5 อิมัลชันจะมีขนาดอนุภาคใหญ่ ดังนั้นความหนืดของอิมัลชันจึงไม่เพียงพอสำหรับต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคซึ่งมีขนาดใหญ่ สำหรับเสถียรภาพของครีมของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw (DP 60, DP 80 และ DP 95) พบว่า ที่ pH 5 อิมัลชันจะมีเสถียรภาพของครีมสูงสุด เพราะสารประกอบเพกทินที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์สามารถดูดซับบนผิวร่วมระหว่างน้ำกับน้ำมัน ทำให้โอกาสที่อนุภาคน้ำมันจะเกาะกลุ่ม (flocculation) และรวมตัว (coalescence) ลดลง อนุภาคจึงมีขนาดเล็ก และมีเสถียรภาพของครีมสูง ในขณะที่ pH 3, 4, 6 และ 7 จะมีเสถียรภาพของครีมต่ำ เนื่องจากที่ pH 3 และ 4 อนุภาคจะเกาะกลุ่มกันด้วยแรงที่แข็งแรงระหว่างโมเลกุลของสารประกอบเพกทิน (bridging flocculation) ทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่และเคลื่อนที่ได้ง่าย ส่งผลให้สารละลายแยกชั้นออกมามาก (Cao, Dickinson และ Wedlock, 1990; Dickinson, 2003; Ward-Smith, Hey และ Mitchell, 1994) สำหรับการสูญเสียเสถียรภาพของครีมที่ pH 6 และ 7 เกิดจากที่ pH ดังกล่าวสารประกอบเพกทิน ($pK_a=3.5$) และไซเตียมเคซีน ($pI \approx 4.6$) จะมีประจุลบ ดังนั้นสารประกอบเพกทินจึงไม่สามารถดูดซับบนผิวของอนุภาคน้ำมันที่ล้อมรอบด้วยไซเตียมเคซีน สารประกอบเพกทินจึงกระจายตัวอยู่ในเฟสต่อเนื่องของอิมัลชันและเหนี่ยวนำให้อิมัลชันเกิดการเกาะกลุ่มกันแบบ depletion flocculation โดยทำให้แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคเพิ่มขึ้นจนมากกว่าแรงผลักรังสีไฮโดรฟิลิก ทำให้การแยกชั้นของสารละลายเพิ่มขึ้น (Kiosseoglou และ Drakos, 2008; Singh, Srinivasan และ Munro, 1999; Singh และ Ye, 2008; Ye, 2008)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ค่า pH มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อเสถียรภาพของครีม และอิมัลชันที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw (DP 60, DP 80 และ DP 95) จะมีเสถียรภาพของครีมสูงสุดที่ pH 5 ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือก pH 5 เป็นค่า pH ที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชันเพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 4.15 การแยกชั้นของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่ pH ต่างๆ

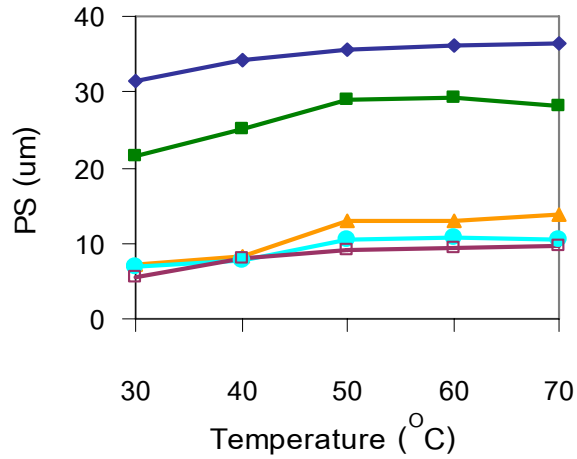
4.6.2 คุณภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

4.6.2.1 ขนาดอนุภาคของอิมัลชัน

การเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 30-70°C ส่งผลให้อิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงทุกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะเร่งการเคลื่อนที่แบบบราวน์ของอนุภาคน้ำมัน ทำให้อนุภาคน้ำมันมีโอกาสชนกัน และรวมตัวกันมากขึ้น (รูปที่ 4.16) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tangsuphoom และ Coupland (2009) ที่ศึกษาผลของคุณภูมิในการเตรียมน้ำกะทิที่มีโปรตีนเวย์เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิการเตรียมน้ำกะทิในช่วง 30-70°C ไม่ส่งผลให้ขนาดอนุภาคของน้ำกะทิเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเตรียมน้ำกะทิเป็น 90°C และ 120°C พบว่า น้ำกะทิจะมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Tung และ Jones (1981) ยังรายงานว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ทำมายองเนสทำให้มุมสัมผัส (contact angle) เปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้นำไปสู่การรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน ทำให้อนุภาคน้ำมันมีขนาดใหญ่

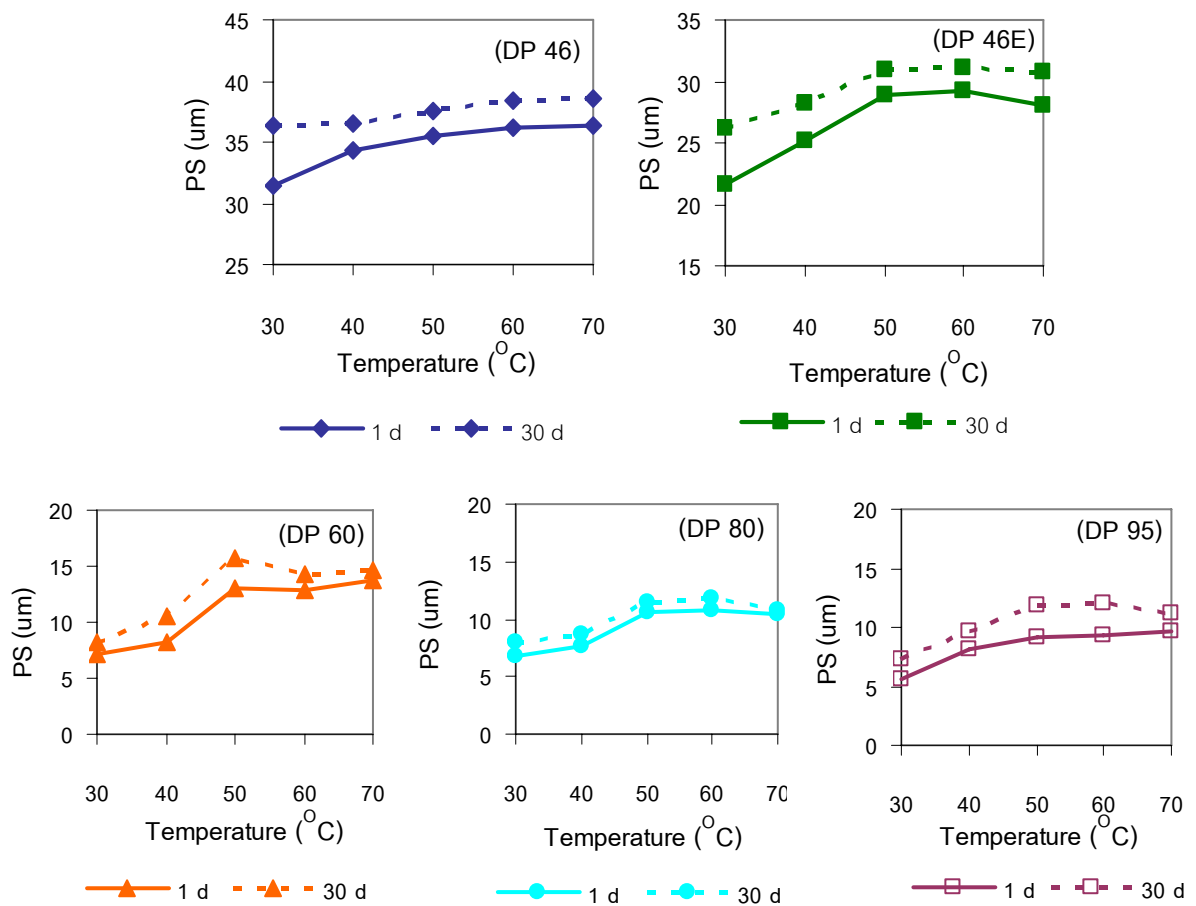
เมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของอิมัลชันที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 และ 30 วันพบว่า อิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงทุกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 30 วัน (รูปที่ 4.17)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า คุณภูมิในการเตรียมอิมัลชันมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชันที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 และ 30 วัน



—◆— DP 46 —■— DP 46E —▲— DP 60 —●— DP 80 —□— DP 95

รูปที่ 4.16 ขนาดอนุภาคของอิมัลชัน (PS) จากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บเป็นเวลา 1 วัน

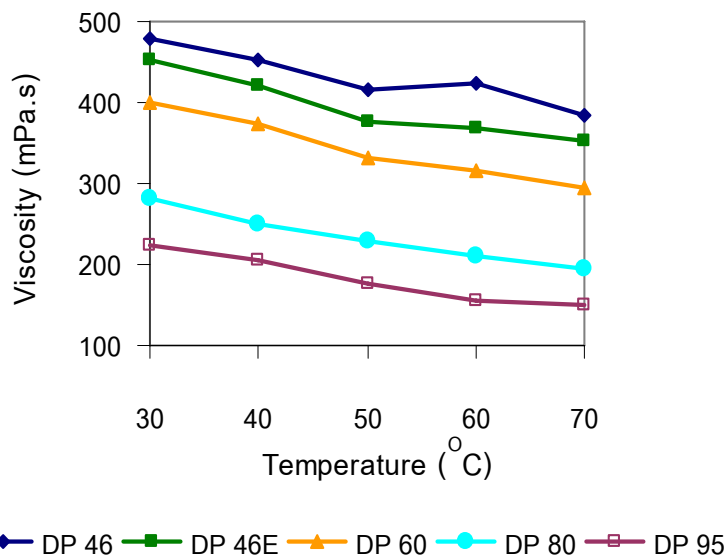


รูปที่ 4.17 ขนาดอนุภาคของอิมัลชัน (PS) จากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บเป็นเวลา 1 และ 30 วัน

4.6.2.2 ความหนืดของอิมัลชัน

การเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 30-70°C ส่งผลให้ความหนืดของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงทุกระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินลดลง (รูปที่ 4.18)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า อุณหภูมิในการเตรียมอิมัลชันมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อความหนืดของอิมัลชัน

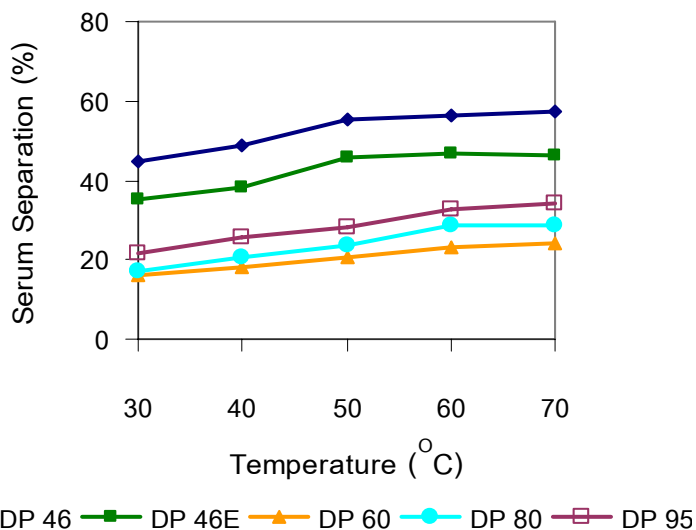


รูปที่ 4.18 ความหนืดของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ

4.6.2.3 เสถียรภาพของครีม

ผลของอุณหภูมิต่อเสถียรภาพของครีมแสดงดังรูปที่ 4.19 จากรูปพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเตรียมอิมัลชัน ส่งผลให้อิมัลชันมีเสถียรภาพของครีมลดลง เนื่องจากอิมัลชันมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นและความหนืดลดลง ทำให้อนุภาคน้ำมันเคลื่อนที่ได้ง่าย ดังนั้นการแยกชั้นของสารละลายจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า อุณหภูมิการเตรียมอิมัลชันมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน และอิมัลชันซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 30°C มีเสถียรภาพของครีมสูงสุด ($p \leq 0.05$) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกอุณหภูมิ 30°C เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชัน เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 4.19 การแยกชั้นของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ ในภาวะการเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ

4.6.3 คัดเลือกความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนต และปริมาณน้ำมันที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

4.6.3.1 ขนาดอนุภาคของอิมัลชัน

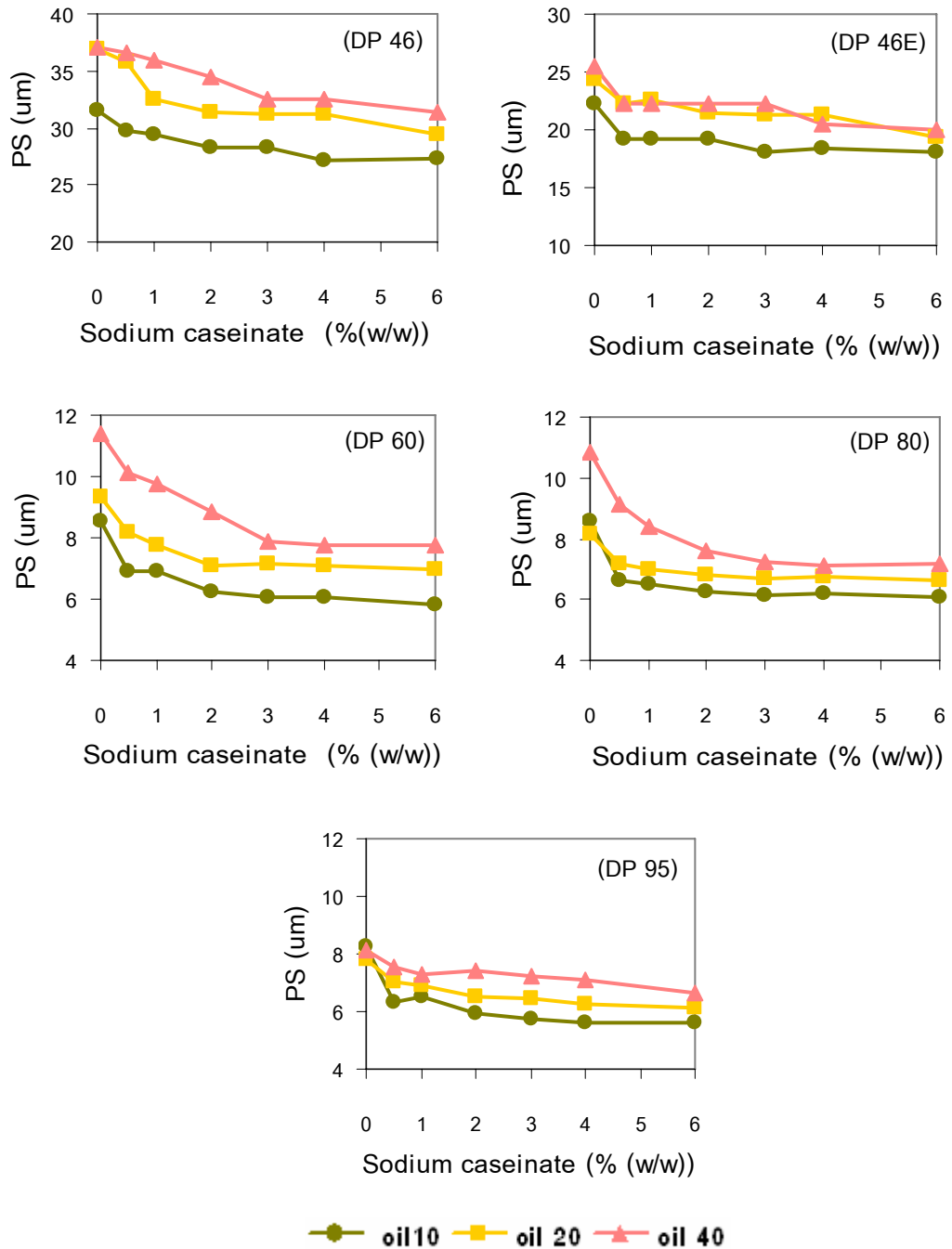
ขนาดอนุภาคของอิมัลชันแสดงดังรูปที่ 4.20 จากรูปพบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนต ปริมาณน้ำมัน และระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงส่งผลต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชัน การเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนตส่งผลให้ขนาดอนุภาคของอิมัลชันลดลง เนื่องจากโซเดียมเคซีเนตจะดูดซับบนพื้นผิวร่วมระหว่างน้ำกับน้ำมันทำให้เกิดชั้นโปรตีนหน้าล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน ซึ่งชั้นโปรตีนที่เกิดขึ้นจะช่วยขัดขวางการเกาะกลุ่ม (flocculation) และการรวมตัว (coalescence) ของอนุภาคน้ำมัน (Dickinson, 1999; Dickinson และ Golding, 1998) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hemar และคณะ (2001) ที่รายงานว่า อิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต 3% (w/w) มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต 1% (w/w) Dalgleish, Srinivasan และ Singh (1995) รายงานว่า อิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต 3% (w/w) จะมีชั้นโปรตีนหนา 10 nm ล้อมรอบอนุภาคน้ำมันทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพ เมื่อพิจารณาผลของปริมาณน้ำมันต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชันพบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำมันส่งผลให้ขนาดอนุภาคของอิมัลชันเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.20) เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำมันจะเพิ่มอัตราการชนระหว่างอนุภาคทำให้อนุภาคมีโอกาสเกาะกลุ่ม (flocculation) และรวมตัวกัน (coalescence) มากขึ้น (Dickinson, Golding และ Povey, 1997; Sun และ Gunasekaran, 2009) สำหรับผลของระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชันพบว่า การเพิ่มระดับการย่อยสลาย

สารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงส่งผลให้ขนาดอนุภาคของอิมัลชันลดลง โดยอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 94.80 mg glucose/ g fw (DP 95) มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83, 59.84, 45.78 mg glucose/ g fw (DP 80, DP 60, DP 46E) และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) ตามลำดับ (รูปที่ 4.20) อาจเนื่องจากขนาดอนุภาคของอิมัลชันจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดอนุภาคของไฮโดรไลเสตที่ใช้เป็นองค์ประกอบในอิมัลชัน ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Akhtar และคณะ (2002) ที่ศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันที่มีสารประกอบเพกทินซึ่งสกัดได้จาก citrus และถูกย่อยด้วยเอนไซม์พบว่า อนุภาคของอิมัลชันจะมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามขนาดอนุภาคของสารประกอบเพกทินที่ใช้เป็นองค์ประกอบ

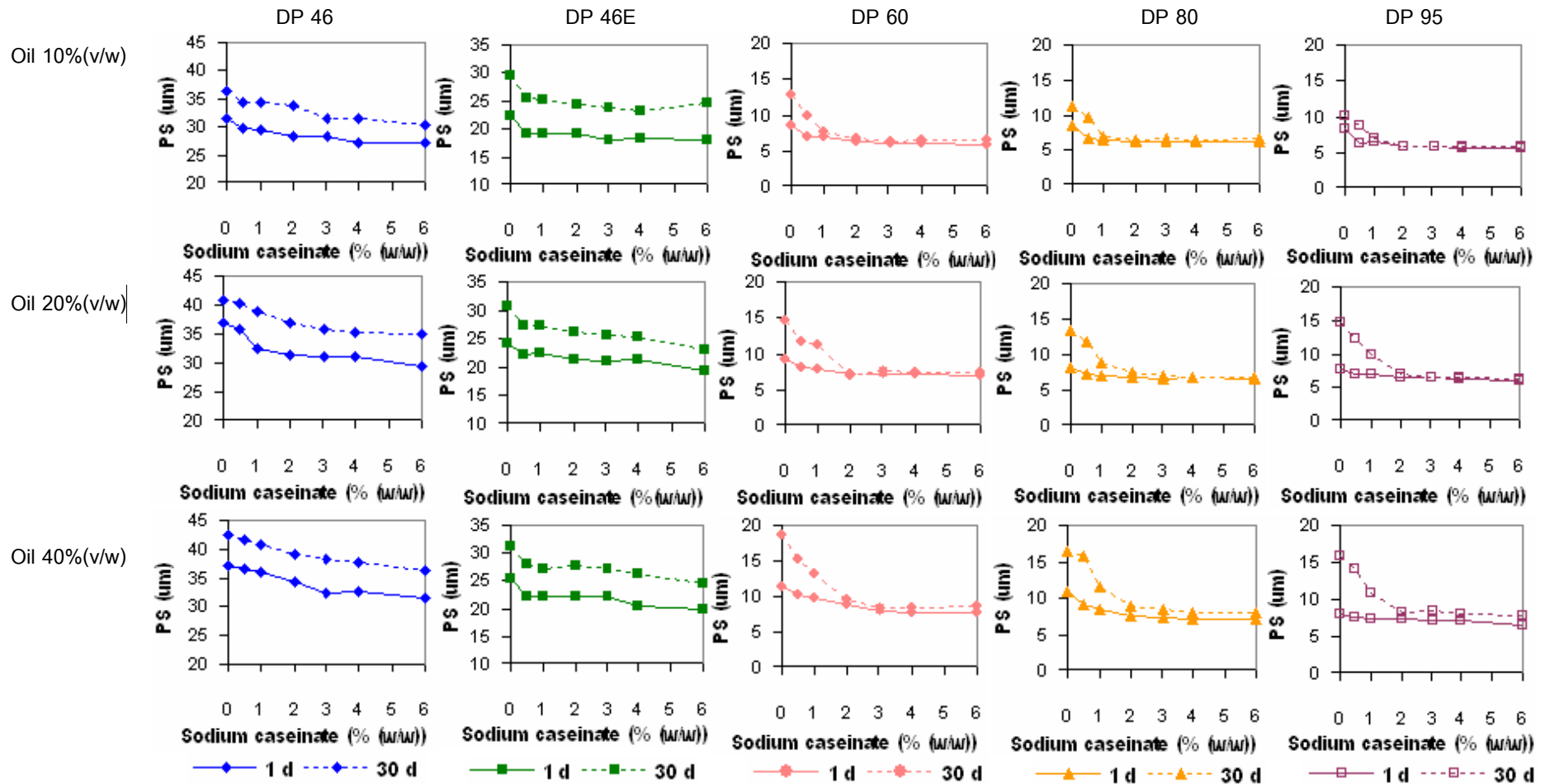
การเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของอิมัลชันหลังจากเก็บไว้เป็นระยะเวลา 30 วัน แสดงดังรูปที่ 4.21 พบว่า อิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ ณ จุดเริ่มต้น (DP 46E) จะมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 30 วัน เนื่องจากอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ ณ จุดเริ่มต้น (DP 46E) มีอนุภาคขนาดใหญ่ ดังนั้นโซเดียมเคซีเนตที่ความเข้มข้น 0-6% (w/w) จึงไม่เพียงพอสำหรับล้อมรอบอนุภาคน้ำมัน อนุภาคน้ำมันจึงเกาะกลุ่ม (flocculation) และรวมตัวกัน (coalescence) ส่งผลให้ขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นสำหรับการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw (DP 60 DP 80 และ DP 95) เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 30 วันพบว่า ที่ปริมาณน้ำมัน 10% (v/w) อิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต 0-0.5% (w/w) จะมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 30 วัน แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนตเป็น 1-6% (w/w) อิมัลชันจะมีขนาดอนุภาคไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนที่ปริมาณน้ำมัน 20 และ 40% (v/w) พบว่า อิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต 0-1% (w/w) จะมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 30 วัน แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนตเป็น 2-6% (w/w) อิมัลชันจะมีขนาดอนุภาคไม่เปลี่ยนแปลง ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dickinson, Golding และ Povey (1997) ที่รายงานว่า อิมัลชันที่มีน้ำมัน 35 และ 45% (v/w) และโซเดียมเคซีเนตเข้มข้น 1% (w/w) จะมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 30 วัน แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนตเป็น 2% (w/w) อิมัลชันจะมีขนาดอนุภาคไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 30 วัน

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนต ปริมาณน้ำมัน และระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชันที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 และ 30 วัน และพบอิทธิพลร่วมอย่างมี

นัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ต่อขนาดอนุภาคของอิมัลชันที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 และ 30 วัน



รูปที่ 4.20 ขนาดอนุภาคของอิมัลชัน (PS) จากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ และมีโซเดียมเคซีเนต และน้ำมันที่ความเข้มข้นต่างๆ ในภาวะการเก็บเป็นเวลา 1 วัน

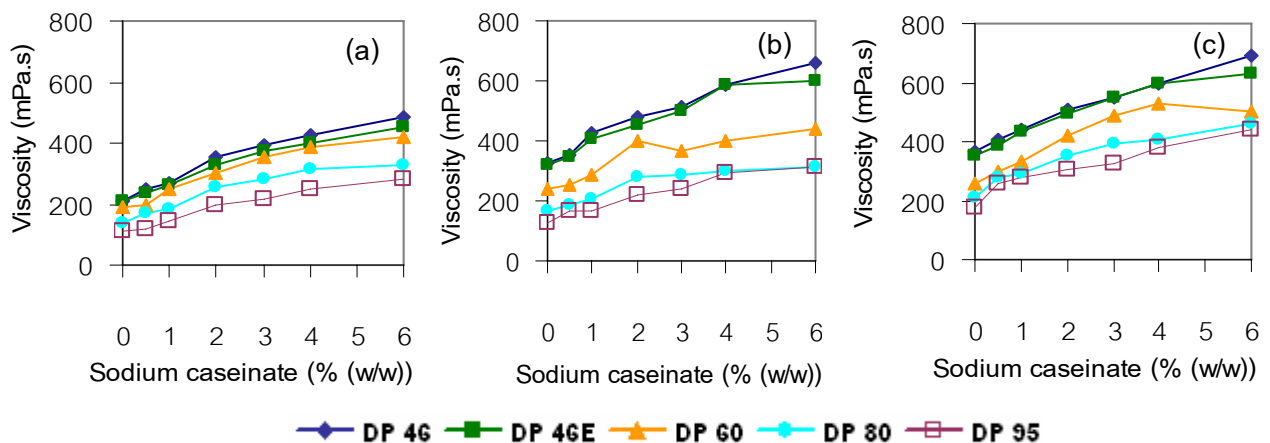


รูปที่ 4.21 ขนาดอนุภาคของอิมัลชัน (PS) จากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ และมีโซเดียมเคซีเนตและน้ำมันที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในภาวะการเก็บเป็นเวลา 1 และ 30 วัน

4.6.3.2 ความหนืด

ความหนืดของอิมัลชันแสดงดังรูปที่ 4.22 พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของไซโตเดียมเคซีนเนตส่งผลให้ความหนืดของอิมัลชันเพิ่มขึ้น สำหรับผลของปริมาณน้ำมันต่อความหนืดของอิมัลชันพบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำมันส่งผลให้ความหนืดของอิมัลชันเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำมันจะเพิ่มโอกาสในการรวมตัวกันของอนุภาค ทำให้ความหนืดของอิมัลชันเพิ่มขึ้น (Sun และ Gunasekaran, 2009) เมื่อพิจารณาผลของระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน พบว่า การเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงส่งผลให้ความหนืดของอิมัลชันลดลง อาจเนื่องมาจากความหนืดของอิมัลชันจะเปลี่ยนแปลงตามความหนืดของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ใช้เป็นองค์ประกอบในอิมัลชัน

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ความเข้มข้นของไซโตเดียมเคซีนเนต ปริมาณน้ำมัน และระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อความหนืดของอิมัลชัน และพบอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ต่อความหนืดของอิมัลชัน



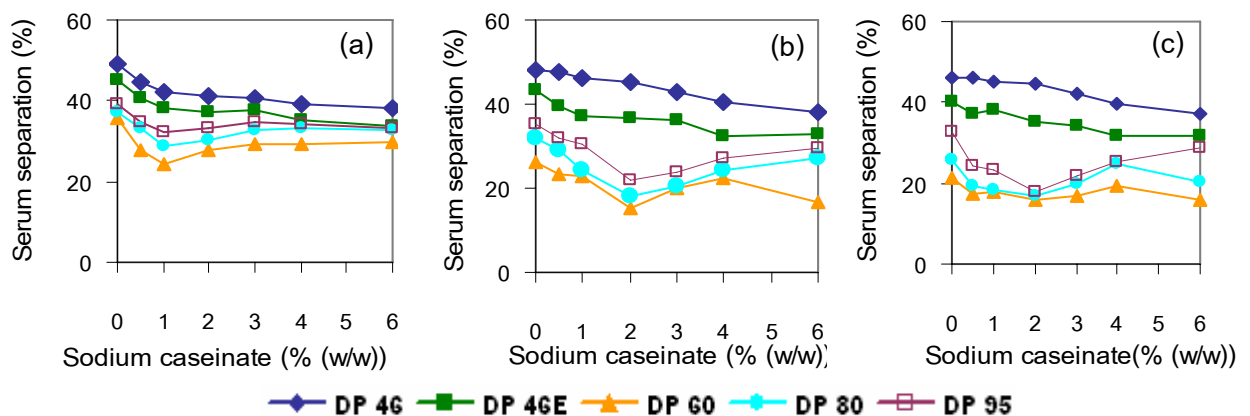
รูปที่ 4.22 ความหนืดของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ และมีไซโตเดียมเคซีนเนตและน้ำมันที่ความเข้มข้นต่างๆ (a) น้ำมัน 10% (v/w) (b) น้ำมัน 20% (v/w) และ (c) น้ำมัน 40% (v/w)

4.6.3.3 เสถียรภาพของครีม

เสถียรภาพของครีมประเมินจากการแยกชั้นของสารละลาย (%Serum separation) ทั้งนี้อิมัลชันจะมีเสถียรภาพของครีมสูงเมื่อการแยกชั้นของสารละลายน้อย การแยกชั้นของสารละลายแสดงดังรูปที่ 4.23 จากรูปพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของไซโตเดียมเคซีนเนตส่งผลให้เสถียรภาพของครีมเพิ่มขึ้น เนื่องจากไซโตเดียมเคซีนเนตจะช่วยรักษาขนาดอนุภาคของอิมัลชัน

แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนตจนมากเกินไปจะส่งผลให้เสถียรภาพของครีมลดลง เนื่องจากโซเดียมเคซีเนตที่เหลือจากการดูดซับบนผิวร่วระหว่างน้ำกับน้ำมันจะเหนี่ยวนำให้แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคน้ำมันมากกว่าแรงผลักระหว่างอนุภาคน้ำมัน เรียกกระบวนการนี้ว่า depletion flocculation (Kiosseoglou และ Drakos, 2008; Singh, Srinivasan และ Munro, 1999; Singh และ Ye, 2008; Ye, 2008;) เช่น อิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมัน 20% (v/w) และ ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fw (DP 60) จะมีเสถียรภาพของครีมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนตในช่วง 0-2% (w/w) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนตมากกว่า 2% (w/w) เสถียรภาพของครีมจะลดลง ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dickinson และ Golding (1997) ที่รายงานว่า เสถียรภาพของอิมัลชันขึ้นกับความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนต โดยอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนตมากกว่า 2% (w/w) จะมีเสถียรภาพของครีมน้อยกว่าอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต 2% (w/w) สำหรับผลของน้ำมันต่อเสถียรภาพของครีมพบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำมันส่งผลให้เสถียรภาพของครีมเพิ่มขึ้น โดยอิมัลชันที่มีน้ำมัน 40% (v/w) จะมีเสถียรภาพของครีมมากกว่าอิมัลชันที่มีน้ำมัน 10% (v/w) และ 20% (v/w) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (รูปที่ 4.23) เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำมันจะเพิ่มโอกาสในการรวมตัวกันของอนุภาค ทำให้ความหนืดของอิมัลชันเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเคลื่อนที่ของอนุภาคในอิมัลชันจึงลดลง (Sun และ Gunasekaran, 2009) เมื่อพิจารณาผลของระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินพบว่า อิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์ ณ จุดเริ่มต้น (DP 46E) มีเสถียรภาพของครีมต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิมัลชันที่ภาวะดังกล่าวมีขนาดอนุภาคใหญ่ ดังนั้นความหนืดของอิมัลชันจึงไม่เพียงพอสำหรับต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาค และอาจเนื่องมาจากสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์มีสายโมเลกุลยาว จึงเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวระหว่างโมเลกุลของสารประกอบเพกทิน (bridging flocculation) (Akhtar และคณะ, 2002; Dickinson, 1992) จากรูปที่ 4.23 ยังพบว่า อิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fw (DP 60) มีเสถียรภาพของครีมมากกว่าอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw อาจเนื่องมาจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fw (DP 80 และ DP 95) ถูกย่อยด้วยเอนไซม์เป็นระยะเวลานานเกินไป ทำให้สารประกอบเพกทินมีสายโมเลกุลสั้นและมีขั้วมากเกินไป ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ดังนั้นสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ของสารประกอบเพกทินจึงลดลง (Akhtar และคณะ, 2002; Dickinson, 1992)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมเคซีนในปริมาณน้ำมัน และระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อเสถียรภาพของครีม และพบอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ต่อเสถียรภาพของครีม นอกจากนี้ยังพบว่าอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fw ปริมาณน้ำมัน 20% (v/w) และโซเดียมเคซีนที่ความเข้มข้น 2% (w/w) เป็นภาวะที่อิมัลชันมีเสถียรภาพของครีมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.23 การแยกชั้นของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ และมีโซเดียมเคซีนและน้ำมันที่ความเข้มข้นต่างๆ (a) น้ำมัน 10% (v/w) (b) น้ำมัน 20% (v/w) และ (c) น้ำมัน 40% (v/w)

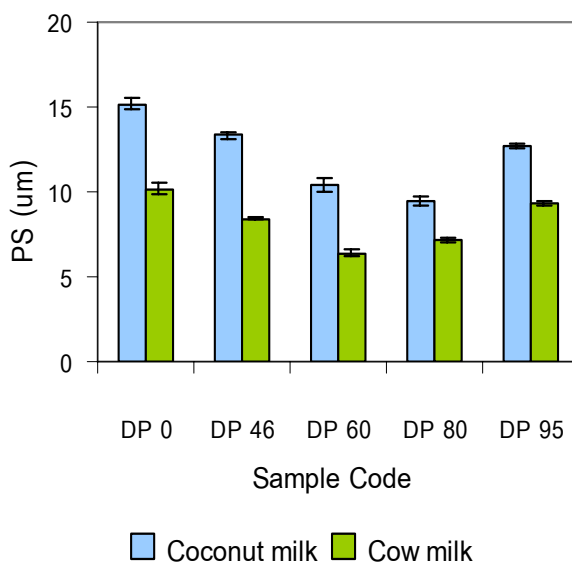
4.7 การประยุกต์ใช้ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ กับน้ำกะทิ และนํ้านม

น้ำกะทิ และนํ้านมเป็นองค์ประกอบสำคัญที่เพิ่มความหวานมันให้กับผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ไล่ขนม สังขยา และแกงต่างๆ น้ำกะทิเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเอนโดสเปิร์มของมะพร้าว (Seow และ Gwee, 1997) มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น มีไขมัน และโปรตีนประมาณ 27-40% และ 2.8-4.4% (w/w) ตามลำดับ ส่วนนํ้านมเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น ประกอบด้วยไขมันและโปรตีนประมาณ 3.8% และ 3.4% (w/w) ตามลำดับ น้ำกะทิและนํ้านมเป็นอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำที่สูญเสียเสถียรภาพได้อย่างรวดเร็ว การสูญเสียเสถียรภาพของน้ำกะทิและนํ้านมเกิดจากการแยกชั้นของสารละลาย โดยของเหลวที่มีความหนาแน่นสูงจะอยู่ด้านล่าง ส่วนครีมซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะลอยขึ้นสู่ด้านบน เรียกการสูญเสียเสถียรภาพนี้ว่าการเกิดครีม (creaming) (Dickinson, 1992) การเกิดครีมจะทำให้คุณภาพของน้ำกะทิและนํ้านมลดลง และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ปัญหาดังกล่าวแก้ไขได้โดยการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ เช่น

สารประกอบเพกทิน ร่วมกับการไฮโมจีไนซ์ (Akhtar และคณะ, 2002; Seow และ Gwee, 1997) ดังนั้นจึงทดลองใช้ไฮโดรไลเซตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในน้ำกะทิและนํ้านม เพื่อศึกษาผลของระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเซตมะม่วงต่อเสถียรภาพของน้ำกะทิ และนํ้านม

4.7.1 ขนาดอนุภาคของน้ำกะทิ และนํ้านมที่มีไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ

ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเซตมะม่วงส่งผลต่อขนาดอนุภาคของน้ำกะทิและนํ้านมดังรูปที่ 4.24 พบว่า การเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินตั้งแต่ 45.59 ถึง 79.83 mg glucose/ g fw (DP 46-DP 80) ส่งผลให้นํ้ากะทิมีขนาดอนุภาคเล็กลง แต่เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินเป็น 94.80 mg glucose/ g fw (DP 95) จะส่งผลให้นํ้ากะทิมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น ส่วนขนาดอนุภาคของนํ้านมที่มีไฮโดรไลเซตมะม่วงพบว่า การเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินตั้งแต่ 45.59 ถึง 59.84 mg glucose/ g fw (DP 46-DP 60) ส่งผลให้นํ้านมมีขนาดอนุภาคเล็กลง แต่เมื่อระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินมากกว่า 59.84 mg glucose/ g fw จะส่งผลให้นํ้านมมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น

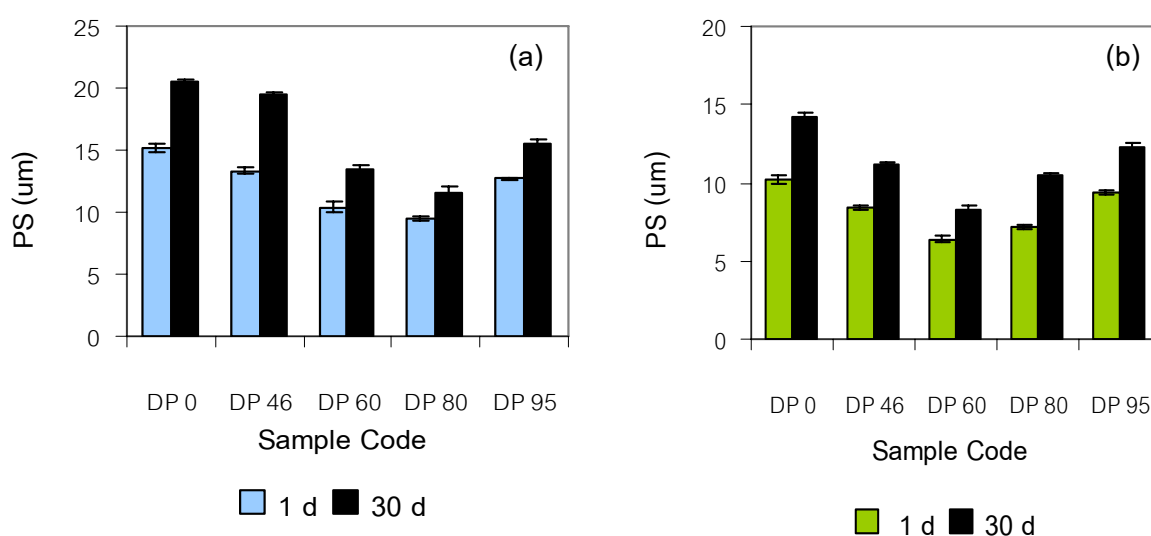


รูปที่ 4.24 ขนาดอนุภาคของน้ำกะทิ และนํ้านม (PS) ที่มีไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ ในภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 วัน

สำหรับการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของน้ำกะทิและนํ้านมที่มีไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า น้ำกะทิ

และน้ำนมทุกภาวะจะมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 วัน (รูปที่ 4.25)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงมีอิทธิพลต่อขนาดอนุภาคของน้ำกะทิและน้ำนมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำกะทิที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/g fw (DP 80) และน้ำนมที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/g fw (DP 60) มีขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 และ 30 วัน เล็กกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



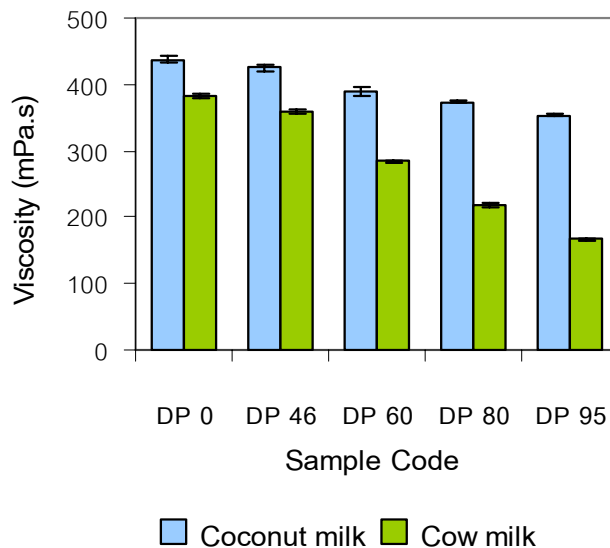
รูปที่ 4.25 ขนาดอนุภาคของ (a) น้ำกะทิ และ (b) น้ำนม (PS) ที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ ในภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 และ 30 วัน

4.7.2 ความหนืดของน้ำกะทิและน้ำนมที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ

ความหนืดของน้ำกะทิและน้ำนมที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.26 พบว่า การเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินส่งผลให้ความหนืดของน้ำกะทิและน้ำนมลดลง ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของน้ำกะทิและน้ำนมจะเปลี่ยนแปลงตามความหนืดของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ใช้เป็นองค์ประกอบ

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงมีอิทธิพลต่อความหนืดของน้ำกะทิและน้ำนมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ

น้ำกะทิและนํ้านมที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 94.80 mg glucose/ g fw (DP 95) มีค่าความหนืดน้อยกว่าภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

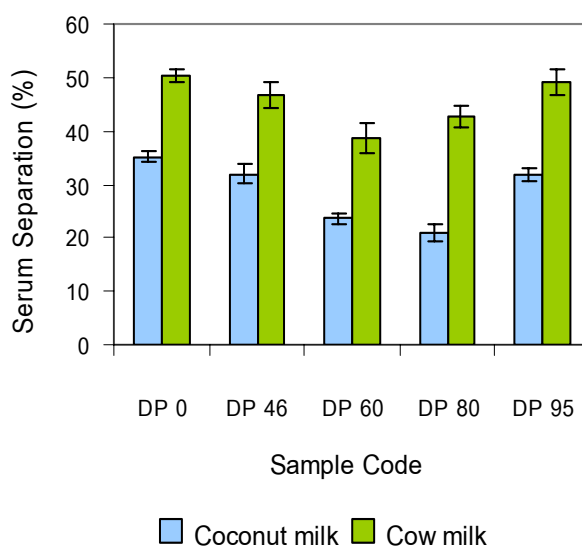


รูปที่ 4.26 ความหนืดของน้ำกะทิ และนํ้านมที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ

4.7.3 เสถียรภาพของครีมของน้ำกะทิ และนํ้านมที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ

เสถียรภาพของครีมของน้ำกะทิ และนํ้านมที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.27 ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินตั้งแต่ 45.59 ถึง 79.83 mg glucose/ g fw (DP 46-DP 80) จะทำให้นํ้ากะทิมีเสถียรภาพของครีมเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินเป็น 94.80 mg glucose/ g fw นํ้ากะทิจะมีเสถียรภาพของครีมลดลง ในขณะที่นํ้านมจะมีเสถียรภาพของครีมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินตั้งแต่ 45.59 ถึง 59.84 mg glucose/ g fw (DP 46-DP 60) แต่เมื่อเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินมากกว่า 59.84 mg glucose/ g fw นํ้านมจะมีเสถียรภาพของครีมลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์จะทำให้ไฮโดรไลเสตมีขนาดอนุภาคเล็กลง และมีขั้วเพิ่มขึ้น ส่งผลให้นํ้ากะทิและนํ้านมเกิดสมดุลระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) แต่ถ้าสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลเสตมะม่วงถูกย่อยด้วยเอนไซม์มากเกินไปจะทำให้มีปริมาณหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) มากเกินไป จึงสูญเสียสมดุลระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) มีผลให้เสถียรภาพของอิมัลชันลดลง

(Akhtar และคณะ, 2002; Dickinson, 1992) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า น้ำกะทิที่มีไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw (DP 80) และนํ้านมที่มีไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fw (DP 60) มีเสถียรภาพของครีมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์จันมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 59.84 mg glucose/ g fw (DP 80 และ DP 60) เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชันประเภทนํ้ามันในนํ้าที่มีน้ำกะทิ และนํ้านมเป็นองค์ประกอบตามลำดับ



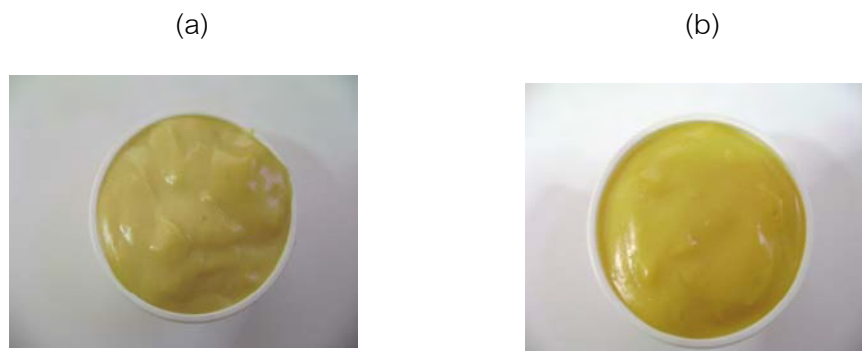
รูปที่ 4.27 การแยกชั้นของน้ำกะทิ และนํ้านมที่มีไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ

จากการทดลองใช้ไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 59.84 mg glucose/ g fw (DP 80 และ DP 60) เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในสังขยาที่มีน้ำกะทิและนํ้านมตามลำดับ เพื่อเพิ่มสี กลิ่นรสมะม่วง ความเป็นเนื้อเดียวกัน และเพิ่มทางเลือกใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์สังขยา ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสังขยาที่ได้เปรียบเทียบกับสังขยาที่มีไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) โดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี QDA ในด้านสี กลิ่นรส และความเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 10 คน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่า สังขยาที่มีส่วนผสมของไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 59.84 mg glucose/ g fw (DP 80 และ DP 60) มีสีกลิ่นรสมากกว่าสังขยาที่มีส่วนผสมของไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) ผลที่ได้สอดคล้องกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไฮโดรไลเซตมะม่วงที่พบว่า ไฮโดรไลเซต

มะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 59.84 mg glucose/ g fw (DP 80 และ DP 60) ได้รับคะแนนด้านสี กลิ่นรสมากกว่าไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) ส่วนด้านกลิ่นรสแปลกปลอมพบว่า สังขยาทุกภาวะมีกลิ่นรสแปลกปลอมในระดับที่ผู้ทดสอบไม่รู้สึกชัดเจน และผู้ทดสอบจะรู้สึกถึงกลิ่นรสมะม่วงตกค้างปานกลางในสังขยาทุกภาวะ สำหรับด้านความเป็นเนื้อเดียวกันพบว่า สังขยาที่มีส่วนผสมของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 59.84 mg glucose/ g fw (DP 80 และ DP 60) มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้น และไม่มีตะกอนหรือลิ่มเนื้อมะม่วง ในขณะที่สังขยาที่มีส่วนผสมของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (DP 46) จะมีความเป็นเนื้อเดียวกันปานกลาง และอาจมีตะกอนหรือเป็นก้อน ผลที่ได้สอดคล้องกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่พบว่า ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 59.84 mg glucose/ g fw (DP 80 และ DP 60) มีความเรียบเนียนมากกว่าไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ และสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 4.7 ที่พบว่า น้ำกะทิและน้ำนมที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 59.84 mg glucose/ g fw ตามลำดับ มีเสถียรภาพของครีมสูงสุด ส่วนด้านการยอมรับโดยรวมพบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับสังขยาที่มีส่วนผสมของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 59.84 mg glucose/ g fw มากกว่าสังขยาที่มีส่วนผสมของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์



รูปที่ 4.28 ลักษณะของสังขยาที่มีส่วนผสมของน้ำกะทิ และ (a) ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ (b) ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์จนมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fresh weight



รูปที่ 4.29 ลักษณะของสังขยาที่มีส่วนผสมของน้ำนม และ (a) ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติม เอนไซม์ (b) ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่เติมเอนไซม์จนมีระดับการย่อยสลายสารประกอบ เพกทิน 59.84 mg glucose/ g fresh weight

ตารางที่ 4.7 คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของสังขยาที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงเป็นส่วนผสม

Sensory attributes	Coconut milk		Cow milk	
	DP 46	DP 80	DP 46	DP 60
Color	6.52±0.37	8.81±0.48	7.44±0.58	9.39±0.66
Flavor				
Mango flavor	5.12±0.60	7.58±0.73	5.95±0.41	8.36±0.51
Off- flavor	9.50±0.49	9.27±0.31	9.27±0.35	9.15±0.34
Smoothness	3.45±0.36	8.85±0.32	4.45±0.52	9.32±0.87
Aftertaste	7.36±0.66	6.33±0.27	7.06±1.06	6.28±0.58
Overall acceptability	6.76±0.40	8.58±0.77	3.80±0.53	9.59±0.88

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

กำหนดให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของไฮโดรไลเสตมะม่วงมีคะแนนสูงสุด 10 คะแนน

จากลักษณะเฉพาะของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสีเหลือง มีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ มีรสหวาน และประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น เบต้าแคโรทีน โยอาหารและฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน อีกทั้งไฮโดรไลเสตมะม่วงยังช่วยเพิ่มเสถียรภาพ และความเป็นเนื้อเดียวกันให้กับผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชันดังที่กล่าวมาแล้ว แสดงให้เห็นว่าไฮโดรไลเสตมะม่วงมีแนวโน้มในการใช้เป็นสารปรุงแต่งสี กลิ่นรส และสารอิมัลซิไฟเออร์กับผลิตภัณฑ์อาหารระบบอิมัลชัน เช่น สังขยา มายองเนส และน้ำสลัด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ผลมะม่วงแก่ที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวคือ มะม่วงที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.015-1.028 ซึ่งมีค่า pH 3.52 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก 2.76% และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 7.27°Brix และมะม่วงสุกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงคือ ผลมะม่วงแก่ป่มที่อุณหภูมิ $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 วัน ลักษณะเปลือกภายนอกมีสีเหลืองทั่วทั้งผล เนื้อภายในมีสีเหลืองค่อนข้างสด มีกลิ่นหอมมะม่วง มีรสหวานค่อนข้างมาก และไม่มีรสแปลกปลอม ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่น โยอาหารซึ่งมีทั้งโยอาหารที่ละลายน้ำและโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และเบต้าแคโรทีน ส่วนภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อมะม่วงสุกตีป่นคือ การให้ความร้อนด้วยไอน้ำจนจุดกึ่งกลางของเนื้อมะม่วงมีอุณหภูมิ 85°C เป็นเวลานาน 3 นาที ร่วมกับการเติมกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.5% (w/w) และภาวะการผลิตไฮโดรไลเสตมะม่วงด้วยเอนไซม์ที่ใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาลักษณะเฉพาะของไฮโดรไลเสตมะม่วงคือ ไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ Pectinex[®] Ultra SP-L 2.0% (v/w) เวลาการย่อยนาน 0, 0.5, 1.5 และ 4 ชั่วโมง ซึ่งที่ภาวะดังกล่าวมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน หรือปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยประมาณคือ 45.78, 59.84, 79.83 และ 94.80 mg glucose/ g fresh weight (fw) ตามลำดับ เมื่อพิจารณา ลักษณะเฉพาะของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ภาวะดังกล่าวเปรียบเทียบกับไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ซึ่งมีระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 45.59 mg glucose/ g fw พบว่า การเพิ่มระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินด้วยเอนไซม์จะช่วยเพิ่มปริมาณโยอาหารที่ละลายน้ำ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและปริมาณเบต้าแคโรทีน แต่จะลดปริมาณโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ขนาดอนุภาคและความหนืดของไฮโดรไลเสต นอกจากนี้ยังทำให้ไฮโดรไลเสตมะม่วงมีสีเหลืองและกลิ่นรสมะม่วงชัดเจนขึ้น และมีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียนมากขึ้น สำหรับภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วง คืออิมัลชันซึ่งเตรียมที่ pH 5 และอุณหภูมิ 30°C และภาวะที่อิมัลชันมีเสถียรภาพสูงสุด คืออิมัลชันที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fw โซเดียมเคซีนเนตที่ความเข้มข้น 2% (w/w) และปริมาณน้ำมัน 20% (v/w) สำหรับการประยุกต์ใช้ไฮโดรไลเสตมะม่วงกับน้ำกะทิและน้ำมันพบว่า น้ำกะทิที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 mg glucose/ g fw และ

น้ำนมที่มีไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 59.84 mg glucose/ g fw มีเสถียรภาพสูงสุด เมื่อทดลองใช้ไฮโดรไลเซตมะม่วงเป็นส่วนผสมในสังขยาพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนด้านสี กลิ่นรส ความเป็นเนื้อเดียวกัน และยอมรับสังขยาที่มีส่วนผสมของไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน 79.83 และ 59.84 mg glucose/ g fw มากกว่าสังขยาที่มีส่วนผสมของไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ไม่เติมเอนไซม์ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์มีแนวโน้มในการใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในอาหารระดับอิมัลชัน

ข้อเสนอแนะ

1. ด้านวัตถุดิบ

ขยายการศึกษาการผลิตไฮโดรไลเซตมะม่วงด้วยมะม่วงสายพันธุ์อื่นที่มีสมบัติและลักษณะเด่นกว่าสายพันธุ์ที่เลือกใช้ เพื่อให้ได้ไฮโดรไลเซตมะม่วงที่มีคุณภาพและลักษณะเฉพาะดีกว่าสายพันธุ์ที่เลือก ยกตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอิมัลชันเพื่อสุขภาพ

2. ด้านกระบวนการผลิต

ควรศึกษาผลของอุณหภูมิในการแปรรูปด้วยเอนไซม์ เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งอาจจะช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการแปรรูป

ควรทดลองเปลี่ยนชนิดหรือแปรสัดส่วนความเข้มข้นของเอนไซม์ให้เหมาะสมกับองค์ประกอบบริเวณผนังเซลล์ของเนื้อมะม่วง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์และปรับปรุงลักษณะเฉพาะในด้านต่างๆ ของไฮโดรไลเซตมะม่วงให้ดียิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น เปลี่ยนชนิดของเอนไซม์ที่มีสัดส่วนของเอนไซม์เพกทิเนส และเซลลูเลสที่เหมาะสมกับปริมาณสารประกอบเพกทิน และเซลลูโลสบริเวณผนังเซลล์ของเนื้อมะม่วง

3. ด้านเสถียรภาพของอิมัลชัน

ควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชันเพิ่มเติม เช่น ชนิดและความเข้มข้นของไอออน และความเร็วในการโฮโมจีไนส์ เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเซตมะม่วงให้ดียิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2539. ข้อมูลด้านการเกษตรและการตลาดสินค้าเกษตรที่สำคัญ. กรุงเทพมหานคร: สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2542. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2529. ผลกระทบจากมะม่วง ตอนที่ 1. อาหาร 16 (1): 8-13.
- ถวิล ข่ายสุวรรณ. 2525. การปลูกมะม่วงในปัจจุบัน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์เจ็ดสยาม.
- ปราณี อ่านเปรื่อง. 2547. เอนไซม์ทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เปรมปรี ฌ สงขลา. 2537. รวมกลยุทธมะม่วง. การเก็บเกี่ยวและปฏิบัติการต่อผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยว. กรุงเทพมหานคร: ชมรมผู้พัฒนามะม่วงแห่งประเทศไทย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภูวนาท นนทรีย์. 2532. มะม่วง. กรุงเทพมหานคร: เอดิชั่นเพรสโปรดักส์.
- วรรณดา ตูลย์ธัญ. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. กรุงเทพมหานคร: แอควีฟพรีนซ์.
- วิจิตร วังไ. 2529. มะม่วง. กรุงเทพมหานคร: ศรีสมบัติการพิมพ์
- วิจิตร วังไ. 2533. พันธุ์มะม่วง. ใน การทำสวนมะม่วง, หน้า 34-65. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สาธารณสุข, กระทรวง. กรมอนามัย. กองโภชนาการ. 2530. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการอาหาร. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์กระทรวงสาธารณสุข.
- สาธารณสุข, กระทรวง. กรมอนามัย. กองโภชนาการ. 2549. องค์ความรู้เรื่องปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผลไม้เพื่อส่งเสริมสุขภาพ (วิตามินซี วิตามินอี และเบต้าแคโรทีนในผลไม้) [online]. แหล่งที่มา: <http://nutrition.anamai.moph.go.th>[21 มกราคม 2552]
- โสภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจุง, จันทนา บุญยรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดดีสินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ Radical Scavenging Agent. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: พี. เอส. พรีนซ์.

ภาษาอังกฤษ

- Abdulah, A. G. L., Sulaiman, N. M., Aroua, M. K., and Megat Mohd Noor, M. J. 2007. Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using commercial enzyme. Journal of Food Engineering 81: 65-71.
- Akhtar, M., Dickinson, E., Mazoyer, J., and Langendorff, V. 2002. Emulsion stabilizing properties of depolymerized pectin. Food Hydrocolloids 16: 249-256.
- Ana, C. K. S., and Cunha, R. L. 2009. Effect of particle size on rheological properties of jaboticaba pulp. Journal of Food Engineering 91: 566-570.
- AOAC. 2006. Official Methods of Analysis of the AOAC International. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.
- Baumann, J. W. 1981. Application of enzymes in fruit juice technology. In G. G. Birch, N. Blakebrough, and K. J. Parker (eds.), Enzymes and Food Processing, pp. 129-146. England: Applied Science Publishings.
- Belitz, H. D., and Grosch, W. 1999. Food Chemistry: Vegetables and Vegetable Products. 2nd ed. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Benzie, I. F. F., and Strain, J. J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power" the FRAP assay. Analytical Biochemistry 239: 70-76.
- Bhattacharya, S., and Rastogi, N. K. 1998. Rheological properties of enzyme-treated mango pulp. Journal of Food Engineering 36: 249-262.
- Bingham, S. A. 2003. Dietary fiber in food and protection against colorectal cancer in the European prospective investigation into cancer and nutrition (EPIC): an observational study. Lancet 361: 1496-1499.
- Block, G., Patterson, B., and Subar, A. 1992. Fruit, vegetables, and cancer prevention: A review of the epidemiological evidence. Nutrition and Cancer 18: 1-29.
- Britten, M., and Giroux, H. J. 1991. Coalescence index of protein stabilized emulsions. Journal of Food Science 56(3): 792-795.
- Cao, Y., Dickinson, E., and Wedlock, D. J. 1990. Creaming and flocculation in emulsions containing polysaccharide. Food Hydrocolloids 4: 185-195.

- Chang, S. C., Lee, M. S., Lin, C. J., and Chen, M. L. 1998. Dietary fiber content and composition of fruits in Taiwan. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition 7: 206-210.
- Chauhan, S. K., Tyagi, S. M., and Singh, D. 2001. Pectinolytic liquefaction of apricot, plum, and mango pulp for juice extraction. International Journal of Food Properties 4(1): 103-109.
- Chun, O. K., and Kim, D. O. 2004. Consideration on equivalent chemicals in total phenolic assay of chlorogenic acid-rich plums. Food Research International 37: 337-342.
- Çinar, I. 2005. Effect of cellulose and pectinase concentrations on the colour yield of enzyme extracted plant carotenoids. Process Biochemistry 40: 945-949.
- Coupland, J. N., and McClements, D. J. 1996. Lipid oxidation in food emulsions. Trends in Food Science and Technology 7: 83-91.
- Dalgleish, D. G. 1997. Adsorption of protein and the stability of emulsions. Trends in Food Science and Technology 8: 1-6.
- Dalgleish, D. G., and Hollocou, A. L. 1997. Stabilization of protein-based emulsions by means of interacting polysaccharides. In E. Dickinson and B. Bergenstahl (eds.), Food Colloids: proteins, lipids and polysaccharides, pp. 236-244. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Dalgleish, D. G., Srinivasan, M., and Singh, H. 1995. Surface properties of oil-in-water emulsion droplets containing casein and tween 60. Journal of Agricultural and Food Chemistry 43: 2351-2355.
- Dea, L. C. M., and Madden, J. K. 1986. Acetylated pectin polysaccharides of sugar beet. Food Hydrocolloids 11: 71-88.
- de Kruijff, C. G., and Tuinier, R. 2001. Polysaccharide protein interactions. Food Hydrocolloids 15: 555-563.
- Demetriades, K., Coupland, J. N., and McClements, D. J. 1997. Physicochemical properties of whey protein-stabilized emulsions as affected by heating and ionic strength. Journal of Food Science. 62(3): 462-467.
- Dickinson, E. 1992. An Introduction to Food Colloids. Oxford: University Press.

- Dickinson, E. 1999. Caseins in emulsions: Interfacial properties and interactions. International Dairy Journal 9: 305-312.
- Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. Food Hydrocolloids 17: 25-39.
- Dickinson, E., and Golding, M. 1997. Depletion flocculation of emulsions containing unadsorbed sodium caseinate. Food Hydrocolloids 11: 13-18.
- Dickinson, E., and Golding, M. 1998. Influence of calcium ions on creaming and rheology of emulsions containing sodium caseinate. Colloids and Surfaces A 144: 167-177.
- Dickinson, E., Golding, M., and Povey, J. W. 1997. Creaming and flocculation of oil-in-water emulsions containing sodium caseinate. Journal of Colloid and Interface Science 185: 515-529.
- Dickinson, E., Rolfe, S. E., and Dalgleish, D. G. 1988. Competitive adsorption of α_{s1} -casein and β -casein in oil-in-water emulsions. Food Hydrocolloids 2: 397-405.
- Dickinson, E., Semenova, M. G., Antipova, A. S., and Pelan, E. G. 1998. Effect of high-methoxy pectin on properties of casein-stabilized emulsions. Food Hydrocolloids 12: 425-432.
- Dickinson, E., and Stainsby, G. 1982. Colloids in Food. London: Applied Science.
- Dris, R., and Jain, S. M. 2004. Production Practices and Quality Assessment of Food Crops. Netherlands: Kluwer Academic.
- Dykes, L., and Rooney, L. W. 2007. Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. Cereal Foods World 52(3): 105-111.
- Fanta, N., Quaas, A., Zulueta, P., and Pérez, L. M. 1992. Release of reducing sugars from *Citrus* seedlings, leaves and fruits: Effect of treatment with pectinase and cellulase from *Alternaria* and *Trichoderma*. Phytochemistry 31(10): 3359-3364.
- Femenia, A., Lefebvre, C., Thebaudin, Y., Robertson, J., and Bourgeois, C. 1997. Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. Journal of Food Science 62: 635-639.

- Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estévez, A. M., Chiffelle, I., and Asenjo, F. 2005. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. Food Chemistry 91: 395-401.
- Franke, A. A., Custer, L. J., Arakaki, C., and Murpy, S. P. 2004. Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. Journal of Food Composition and Analysis 17: 1-35.
- Galeazzi, M. A., and Sgarbieri, V. C. 1981. Substrate specificity and inhibitor of polyphenoloxidase (PPO) from a dwarf variety of banana (*Musa cavendishii* L.). Journal of Food Science 46: 1404-1406.
- Gallaher, D., and Schneeman, B. O. 2001. Dietary fiber. In B. Bowman and R. Russel (eds.), Present knowledge in nutrition, p. 805. Washington DC.
- Gaziano, J. M., Manson, J. E., Buring, J. E., and Hennekens, C. H. 1992. Dietary antioxidants and cardiovascular disease. Annals of the New York Academy of Science 669: 249-259.
- Gerbaund, P. 2008. Mango. FruiTrop Journal 153: 10-35.
- Gil, M. I., Aguayo, E., and Kader, A. A. 2006. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. Journal of Agriculture and Food Chemistry 54: 4284-4296.
- Godoy, H. T., and Rodriguez-Amaya, D. B. 1989. Carotenoid composition of commercial mangoes from Brazil. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie 22: 100-103.
- González-Aguilar, G. A., Celis, J., Sotelo-Mundo, R. R., de la Rosa, L. A., Rodrigo-García, J., and Alvarez-Parrilla, E. 2008. Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivar stored at 5°C. International Journal of Food Science and Technology 43: 91-101.
- Grassin, C., and Fauquembergue, P. 1996. Fruit juice. In T. Godfray and S. West (eds.), Industrial Enzymology, pp. 208-224. New York: Stuckton Press.
- Grohmann, K., and Baldwin, E. A. 1992. Hydrolysis of orange peel with pectinase and cellulase enzymes. Biotechnology Letters 14(12): 1169-1174.
- Gross, J. 1991. Pigments in Vegetables: Chlorophylls and Carotenoids. New York: Van Nostrand Reinhold.

- Grove, R. 2005. Notes on Making Cola[Online]. Available from:
<http://sparror.cubecinemar.com/cube/cola.pdf>[2009, February 28]
- Gu, Y. S., Regnier, L., and McClements, D. J. 2005. Influence of environmental stresses on stability of oil-in-water emulsions containing droplets stabilized by beta-lactoglobulin-*iota*-carrageenan membranes. Journal of Colloid and Interface Science 286: 551-558.
- Guerrero-Beltrán, J. A., Swanson, B. G., and Barbosa-Cánovas, G. V. 2005. Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid. Lebensmittel-Wissenschaft und Tchnologie 308: 625-630.
- Haard, N. F., and Chism, G. W. 1996. Characteristics of edible plant tissues. In O. R. Fennema (ed.), Food Chemistry, pp. 943–1001. New York: Marcel Dekker.
- Hemar, Y., Tamehana, M., Munro, P. A., and Singh, H. 2001. Influence of xanthan gum on the formation and stability of sodium caseinate oil-in-water emulsion. Food Hydrocolloids 15: 513-519.
- Hill, S. E. 1996. Methods of testing protein functionality. In G. M. Hall (ed.), Emulsions, p. 153. London: Blackie Academic and Professional.
- Huang, X., Kakuda, Y., and Cui, W. 2001. Hydrocolloids in emulsions: particle size distribution and interfacial activity. Food Hydrocolloids 15: 533-542.
- Hulme, A. C. 1971. The mango. In A. C. Hulme (ed.), The Biochemistry of Fruits and Their Product, pp. 223-253. New York: Academic Press.
- Hunt, J. A., and Dalgleish, D. G. 1994. Adsorption behaviour of whey protein isolate and caseinate in soya-oil-in-water emulsions. Food Hydrocolloids 8(2): 175-187.
- Hutchings, J. B., and Fift, F. 1999. Food Color and Appearance. 2nd ed. Gaithersburg, Maryland: Aspen.
- Jayani, R. S., Saxena, S., and Gupta, R. 2005. Microbial pectinolytic enzymes: A review. Process Biochemistry 40: 2931-2944.
- Kakuda, Y., Cui, W., and Huang, X. 2001. Hydrocolloids in emulsions: particle size distribution and interfacial activity. Food Hydrocolloids 15: 533-542.
- Kalra, S. K., Tandon, D. K., and Singh, B. P. 1995. Handbook of Fruit Science and Technology. New York: Mercel Dekker.

- Kandlakunta, B., Rajendran, A., and Thinghganing, L. 2008. Carotene content of some common (cereals, pulses, vegetables, spices and condiments) and unconventional source of plant origin. Food Chemistry 106: 85-89.
- Kapur, K. L. 1974. Studies on biochemical changes in mango during growth and ripening. Indian Food Packer (Nov-Dec): 10-16.
- Kashyap, D. R., Vohra, P. K., Chopra, S., and Tewari, R. 2001. Applications of pectinases in the commercial sector: a review. Bioresource Technology 77: 215-227.
- Keowmaneechai, E., and McClements, D. J. 2002. Influence of EDTA and citrate on physicochemical properties of whey protein-stabilized oil-in-water emulsions containing CaCl₂. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 7145–7153.
- Kiosseoglou, V., and Drakos, A. 2008. Depletion flocculation effects in egg-based model salad dressing emulsion. Food Hydrocolloids 22: 218-224.
- Kongkachuichai, R., Chroensiri, R., Sukunicom, S., and Sungpuag, P. 2009. Beta-carotene, lycopene, and alpha-tocopherol contents of selected Thai fruits. Food Chemistry 113: 202-207.
- Laurent, M. A., and Boulenger, P. 2003. Stabilization mechanism of acid dairy drinks induced (ADD) by pectin. Food Hydrocolloids 17: 445-454.
- Lebrun, M., Plotto, A., Goodner, K., Ducamp, M., and Baldwin, E. 2008. Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography. Postharvest Biology and Technology 48: 122-131.
- Lee, W. C., Yusof, S., Hamid, N. S. A., and Baharin, B. S. 2006. Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response methodology (RSM). Journal of Food Engineering 73: 55-63.
- Leroux, J., Langendorff, V., Schick, G., Vaishnav, V., and Mazoyer, J. 2003. Emulsion stabilizing properties of pectin. Food Hydrocolloids 17: 455-462.
- Leverington, R. F., and Mayer, L. H. 1960. Food Chemistry. New York: Reinhold Publishing.
- Maa, Y. F., and Hsu, C. 1996. Liquid-liquid emulsification by rotor/stator homogenization. Journal of Controlled Release 38: 219-228.

- Maisuthisakul, P., Suttajit, M., and Pongsawatmanit, R. 2007. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. Food Chemistry 100: 1409-1418.
- Mao, L. C., Xu, Y. Q., and Que, F. 2007. Maintaining the quality of sugarcane juice with blanching and ascorbic acid. Food Chemistry 104: 740-745.
- Mariam, B. S. 2008. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. Nature Reviews Genetics 9(6): 433-443.
- Martinez, M. V., and Whitaker, J. R. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. Trends in Food Science and Technology 6(6): 195-200.
- Masuda, T., Yonemori, S., Oyama, Y., Takeda, Y., Tanaka, T., Andoh, T., Shinobara, A., and Nakata, M. 1999. Evaluation of the antioxidant activity of environmental plants: activity of the leaf extracts from seashore plants. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47: 1749-1754.
- May, C. D. 1992. Pectins. In A. Imeson (ed.), Thickening and Gelling Agents for Food, pp. 115-124. Glasgow: Blackie.
- Mazoyer, J., Leroux, J., and Bruneau, G. 1999. Use of depolymerized citrus fruit and apple pectins as emulsifier and emulsion stabilizers. U. S. Patent No. 5,900,268.
- McClements, D. J. 1999. Emulsion rheology. In D. J. M. McClements (ed.), Food Emulsions Principles, Practice and Techniques, pp. 235-266. Washington D. C.: CRC Press.
- McClements, D. J. 2005. Food Emulsions: Principles, Practice and Techniques. Florida: CRC Press.
- McClements, D. J., and Demetriades, K. 1998. An integrated approach to the development of reduced-fat food emulsions. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 38(6): 511-536.
- McCord, J. D., and Kilara, A. 1983. Control of enzymatic browning in processed mushrooms (*Agaricus bisporus*). Journal of Food Science 48: 1417-1483.
- McEvily, A. J., Lyengar, R., and Otwell, W. S. 1992. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 32: 53-273.
- Mulley, B. A. 1974. Medicinal emulsions. In K.J. Lissant (ed.), Emulsions and Emulsion Technology, pp. 291-349. New York: Marcel Dekker.

- Mutlu, M., Sariođlu, K., Demir, N., Ercan, M. T., and Acar, J. 1999. The use of commercial pectinase in fruit juice industry Part I: viscosimetric determination of enzyme activity. Journal of Food Engineering 41: 147-150.
- Narain, N., Bora, P. S., Narain, R., and Shaw, P. E. 1998. Mango. In P. E. Shaw, Jr. H. T. Chan, and S. Nagy (eds.), Tropical and Subtropical Fruits, pp. 1-77. Florida: Agscience.
- Ndiaye, C., Xu, S. Y., and Wang, Z. 2009. Steam blanching effect on polyphenoloxidase, peroxidase and colour of mango (*Mangifera indica* L.) slice. Food Chemistry 113: 92-95.
- Neiryneck, N., Van lent, K., Dewettinck, K., and Van der Meeren, P. 2007. Influence of pH and biopolymer ratio on sodium caseinate-guar gum interactions in aqueous solutions and in O/W emulsions. Food Hydrocolloids 21: 862-869.
- Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for determination of glucose. Journal of Biological Chemistry 153: 375-380.
- Nitithan, S., Komindr, S., and Nichachotsalid, A. 2004. Phytate and fiber content in Thai fruits commonly consumed by diabetic patients. Journal of The Medical Association of Thailand 87(12): 1444-1446.
- Pearson, D. 1970. The Chemical Analysis of Food. 6th ed. New York: Chemical Publishing.
- Peter, U. 2003. Dietary fiber and colorectal adenoma in a colorectal cancer early detection programme. Lancet 361: 1491-1495.
- Pilnik, W., and Rombouts, F. M. 1979. Pectic enzymes. In J. M. V. Blanshard and J. R. Mitchell (eds.), Polysaccharides in Food, pp. 109-126. London: Butterworths.
- Prior, R. L., Wu, X., and Schaich, K. 2005. Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53(10): 4290-4302.
- Puuppopen-Pimia, R., Nohynek, L., Ammann, S., Oksman-Caldentey, K. M., and Buchert, J. 2008. Enzyme-assisted processing increases antimicrobial and antioxidant activity of bilberry. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 681-688.

- Rajanala, R., Tyagi, S. M. and Chauhan, G. S. 1995. Effect of enzymatic liquefaction of banana pulp on juice yield and its characteristics. Beverage Food World 22(5): 10-12.
- Ramulu, P., and Rao, P. U. 2003. Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. Journal of Food Composition and Analysis 18: 677-685.
- Ranganna, S. 1978. Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products. 2nded. New Delhi: McGraw Hill Publishing.
- Rao, K. L., Eipeson, W. E., Rao, P. N. S., Patwardhan, M. V., and Ramanathan, P. K. 1985. Rheological properties of mango pulp and concentrates. Journal of Food Science and Technology 22: 30-33.
- Rastogi, N. K., and Rashmi, K. R. 1999. Optimisation of enzymatic liquefaction of mango pulp by response surface methodology. European Food Research and Technology 209: 57-62.
- Rodríguez, R., Jiménez, A., Fernández-Bolaños, J., Guillén, R., and Heredia, A. 2006. Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. Trends in Food Science and Technology 17(1): 3-15.
- Rooker, W. A. 1927. New uses of fruit pectin. The Fruit Products Journal and American Vinegar Industry 7(4): 11.
- Sakai, T., Sakamoto, T., Hallaert, J., and Vandamme, E. J. 1993. Pectin, pectinase, and protopectinase: production, properties and applications. In S. Neidleman and A. I. Laskin (eds.), Advances in Applied Microbiology, pp. 213-294. San Diego: Academic Press.
- Sakho, M., Chassagne, D., Jaus, A., Chiarazzo, E., and Crouzet, J. 1998. Enzymatic maceration effects on volatile components of mango pulp. Journal of Food Science 63(6): 975-978.
- Sapers, G. M. 1993. Browning of foods: control by sulfites, antioxidants, and other means. Food Technology 47(2): 75-84.
- Schols, H. A., Ros, J. M., Daas, P. J. H., Bakx, E. J., and Voragen, A. G. J. 1998. Structural features of native and commercially extracted pectins. In P. A. Williams and G. O. Phillips (eds.), Gums and Stabilizer for the Food Industry, pp. 3-15. Cambridge: Royal Society of Chemistry.

- Sedlmeyer, F., Brack, M., Rademacher, B., and Kulozik, U. 2004. Effect of protein composition and homogenization on the stability of acidified milk drinks. International Dairy Journal 14: 331-336.
- Seow, C. C., and Gwee, C. N. 1997. Coconut milk: chemistry and technology. International Journal of Food Science and Technology 32: 189-201.
- Seymour, G. B., Taylor, J. E., and Tucker, G. A. 1993. Biochemistry of Fruit Ripening. New York: Chapman and Hall Publishing.
- Shallom, D., and Shoham, Y. 2003. Microbial hemicellulases. Current Opinion in Microbiology 6: 219-228.
- Shri, K. S., Albert, L., and Marc, L. M. 1998. Molecular characterization, physico-chemical and functional properties of tomato fruit pectin. Food Research International 30(7): 543-547.
- Singh, L. B. 1960. The Mango. London: Leonard Hill.
- Singh, H., and Ye, A. 2008. Interfacial composition and stability of sodium caseinate emulsions as influenced by calcium ions. Food Hydrocolloids 15: 195-207.
- Singh, H., Srinivasan, M., and Munro, P. A. 1999. Adsorption behaviour of sodium and calcium caseinates in oil-in-water emulsions. International Dairy Journal 9: 337-341.
- Sreenath, H. K., Koegel, R. G., Jeffries, T. W., and Straub, R. J. 1999. Enzymic saccharification of alfalfa fibre after liquid hot water pretreatment. Process Biochemistry 35: 33-41.
- Sreenath, H. K., Krishna, K. R. S., and Santhanam, K. 1995. Enzymatic liquefaction of some varieties of mango pulp. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie 28: 196-200.
- Sreenath, H. K., Nanjundaswamy, A. M., and Sreekantiah, K. R. 1987. Effect of various cellulases and pectinases on viscosity reduction of mango pulp. Journal of Food Science 52: 230-231.
- St. Angelo, A. L. 1989. A brief introduction to food emulsions and emulsifier. In G. Charalambous and G. Doxastakis (eds.), Food Emulsifier Chemistry Technology, Functional Properties and Application, pp. 1-8. Amsterdam: Elsevier Science.

- Steinmertz, K. A., and Potter, J. D. 1996. Vegetables, fruit and cancer prevention: A review. Journal of the American Dietetic Association 96: 1027-1039.
- Sun, C., and Gunasekaran, S. 2009. Effect of protein concentration and oil-phase volume fraction on the stability and rheology of menhaden oil-in-water emulsions stabilized by whey protein isolate with xanthan gum. Food Hydrocolloids 23: 165-174.
- Sun, Y., Wang, Z., Wu, J., Chen, F., Liao, X., and Hu, X. 2006. Optimising enzymatic maceration in pretreatment of carrot juice concentrate by response surface methodology. International Journal of Food Science and Technology 41: 1082-1089.
- Surh, J., Decker, E. A., and McClements, D. J. 2006. Influence of pH and pectin type on properties and stability of sodium-caseinate stabilized oil-in-water emulsions. Food Hydrocolloids 20: 607-618.
- Tandon, D. K., Kalra, S. K., and Singh, B. P. 1988. Ripening pattern of specific gravity graded Dashehari mangoes. Indian Journal of Horticulture 45(3): 219.
- Tangsuphoom, N., and Coupland, J. N. 2009. Effect of thermal treatments on the properties of coconut milk emulsions prepared with surface-active stabilizers. Food Hydrocolloids 21: 21-29.
- Terry, P. 2001. Fruit, vegetables dietary fiber, and risk of colorectal cancer. Journal of the National Cancer Institute 93: 525-533.
- Tomás-Barberán, F. A., and Espin, J. C. 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture 81: 853-876.
- Tung, M. A., and Jones, L. J. 1981. Microstructure of mayonnaise and salad dressing. Scanning Electron Microscopy 3: 523-530.
- Urlacher, B., and Noble, O. 1997. Xanthan gum. In A. Imerson (ed.), Thickening and Gelling Agent for Foods, pp. 290-310. London: Blackie Academic and Professional.
- Van't Veer, P., Janson, M., Klert, M., and Kok, F. 2000. Fruits and vegetables in the prevention of cancer and cardiovascular disease. Public Health Nutrition 3: 103-107.

- Vasco, C., Ruales, J., and Kamal-Eldin, A. 2008. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruit from Ecuador. Food Chemistry 111: 816-823.
- Vásquez-Caicedo, A. L., Neidhart, S., and Carle, R. 2004. Postharvest ripening behavior of nine Thai mango cultivars and their suitability for industrial applications. Acta Horticulturae (ISHS) 645: 617-625.
- Vásquez-Caicedo, A. L., Schilling, S., Carle, R., and Neidhart, S. 2007. Effect of thermal processing and fruit matrix on β -carotene stability and enzyme inactivation during transformation of mangoes into purée and nectar. Food Chemistry 102: 1172-1186.
- Walstra, P. 1996. Dispersed systems: basic considerations. In O. R. Fennema (ed.), Food Chemistry, pp. 95-155. New York: Marcel Dekker.
- Ward-Smith, R. S., Hey, M. J., and Mitchell, J. R. 1994. Protein-polysaccharide interactions at the oil-water interface. Food Hydrocolloids 8: 309-315.
- Whitaker, J. R. 1996. Enzymes. In O. R. Fennema (ed.), Food Chemistry, pp.453-472. New York: Marcel Dekker.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., and Joyce, D. 1998. Postharvest. Sydney: UNSW Press
- Worrasinchai, S., Supphantharika, M., Pinjai, S., and Jamnong, P. 2006. β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. Food Hydrocolloids 20: 68-78.
- Ye, A. 2008. Interfacial composition and stability of emulsions made with mixtures of commercial sodium caseinate and whey protein concentration. Food Chemistry 110: 946-952.
- Youssef, M. K., and Barbut, S. 2009. Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters. Meat Science 82(2): 228-233.
- Zhang, Y. H. P., Himmel, M. E., and Mielenz, J. R. 2006. Research review paper: Outlook for cellulose improvement: Screening and selection strategies. Biotechnology Advances 24: 452-481.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก

ตามวิธีของ A.O.A.C. (2006)

สารเคมี

1. 0.1 N Sodium hydroxide (NaOH)
2. Potassium hydrogen phthalate ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)
3. Phenolphthalein indicator

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐาน NaOH โดยไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ และใช้ phenolphthalein เป็น indicator

$$N \text{ NaOH} = \frac{\text{น้ำหนักของ } \text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 \text{ (g)} \times 1000}{\text{ปริมาตรของ NaOH (ml)} \times 204.22}$$

2. ชั่งตัวอย่าง 5 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) เติมน้ำกลั่นเล็กน้อย ต้มให้เดือดเป็นเวลา 2-3 นาที
3. ทำให้เย็น ถ่ายใส่ขวดปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วกรองกากออก
4. ปิเปตส่วนที่กรองได้ 10 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 ml
5. เติมสารละลาย Phenolphthalein indicator 2 หยด
6. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนกระทั่งถึงจุดยุติ ซึ่งมีสีชมพูอ่อน คำนวณปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมดในรูปของกรดซิตริกจากสูตร

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ทั้งหมด (%)

$$= \frac{N \text{ NaOH} \times \text{ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไทเทรต (ml)} \times \text{มิลลิลิววาเลนซ์ของกรดซิตริก} \times 100 \times 50}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)} \times 10}$$

โดยที่มิลลิลิววาเลนซ์ของกรดซิตริก (Milliequivalent of citric acid monohydrate) = 0.07

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ตามวิธีของ A.O.A.C. (2006)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน
2. Aluminium dish
3. Desiccator
4. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ aluminium dish ซึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C จนน้ำหนักคงที่ และชั่งน้ำหนักที่แน่นอนไว้แล้ว
2. นำตัวอย่างอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 10-12 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่
3. นำมาทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน คำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)}} \times 100$$

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

(Total, Soluble, and Insoluble dietary fiber; TDF, SDF, and IDF)

ตามวิธีการของ A.O.A.C. (2006)

สารเคมี

1. 95% Ethanol
2. 78% Ethanol
3. Acetone
4. Na₂HPO₄
5. NaH₂PO₄
6. เอนไซม์ Termamyl
7. เอนไซม์ Protease
8. เอนไซม์ Amyloglucosidase
9. 0.275 M Sodium hydroxide (NaOH)

10. 0.325 M Hydrochloric acid (HCl)

11. Celite

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Vacuum pump
2. เครื่อง Magnetic stirrer
3. Desiccator
4. Crucible
5. อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน
6. เตาเผา
7. ตู้อบลมร้อน
8. เครื่อง pH meter
9. เครื่อง Water bath shaker
10. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator (ทำ 2 ซ้ำ เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและเถ้า)
2. นำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดและเก็บตัวอย่างที่เตรียมได้ไว้ใน desiccator

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียม Phosphate buffer 0.08 M pH 6 โดยละลาย Na_2HPO_4 1.4 g และ NaH_2PO_4 9.68 g ในน้ำกลั่น 700 ml ปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น วัด pH
2. ชั่งตัวอย่าง 1 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml เติมสารละลาย Phosphate buffer ปริมาตร 50 ml ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ pH 6.0 ± 0.2 โดยเติม NaOH ความเข้มข้น 0.275 N หรือ HCl ความเข้มข้น 0.325 N
3. เติมเอนไซม์ Termamyl 0.1 ml ปิดฝาขวดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิ 95-100°C นาน 15 นาที โดยเขย่าขวดทุกๆ 5 นาที
4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และปรับ pH ของสารละลายให้เท่ากับ 7.5 ± 0.2 ด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.275 N
5. เติมเอนไซม์ Protease (Protease 50 mg ใน Phosphate buffer 1 ml) 0.1 ml ปิดปากขวดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที โดยกวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง Magnetic stirrer

6. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และปรับ pH ของสารละลายให้เท่ากับ 4.0-4.6 ด้วยสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.325 M
7. เติมเอนไซม์ Amyloglucosidase 0.3 ml ปิดปากขวดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปให้ความร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที โดยกวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง Magnetic stirrer และทำให้เย็น
8. กรองสารละลายผ่าน crucible ที่ซึ่งน้ำหนักแล้ว ที่มี Celite ประมาณ 0.1 mg ลงในขวด suction flask และเก็บส่วนที่กรองได้ เพื่อนำไปหาใยอาหารที่ละลายน้ำต่อไป
9. ล้างกากที่ได้ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 ml 2 รอบ (เพื่อแยกส่วนใยอาหารที่ละลายน้ำเก็บไว้) 95% Ethanol ปริมาตร 10 ml 2 รอบ และ Acetone ปริมาตร 10 ml 2 รอบ
10. นำ crucible ที่มีกากอยู่ภายในไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator ซึ่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) คำนวณหาน้ำหนักกากที่ได้ ทำซ้ำ 2 รอบ
11. นำกากที่ได้จากซ้ำที่ 1 ไปหาปริมาณโปรตีนตามวิธีของ A.O.A.C. นำกากที่ได้จากซ้ำที่ 2 ไปหาปริมาณเถ้า เพื่อคำนวณหาปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (IDF) โดยใช้สูตร

$$\text{IDF (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักกากเฉลี่ย (mg)} - P - A - B)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (mg)}} \times 100$$

$$\text{โดยกำหนดให้ } P = \text{น้ำหนักโปรตีน (mg)}$$

$$A = \text{น้ำหนักเถ้า (mg)}$$

$$B = \text{blank (mg)} \quad (B = \text{น้ำหนักกากเฉลี่ย (mg)} - P_B - A_B)$$

$$P_B = \text{น้ำหนักโปรตีนของ blank (mg)}$$

$$A_B = \text{น้ำหนักเถ้าของ blank (mg)}$$

12. กรณีใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) สามารถวิเคราะห์ได้โดยนำส่วนที่กรองได้จากข้อ 8 และส่วนที่ได้จากการล้างกากด้วยน้ำกลั่นจากข้อ 9 มารวมกัน แล้วปรับน้ำหนักให้ได้ 100 g ด้วยน้ำกลั่น
13. เติม 95% Ethanol ปริมาตร 400 ml (4 เท่าของน้ำหนักที่ได้) และทำให้ร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิ 60°C
14. ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง นานประมาณ 60 นาที แล้วกรองสารละลายผ่าน crucible ที่ซึ่งน้ำหนักแล้ว ที่มี celite ประมาณ 0.1 mg

15. ล้างส่วนที่ตกตะกอนด้วย 78% Ethanol ปริมาตร 20 ml 3 รอบ 95% Ethanol ปริมาตร 10 ml 2 รอบ และ Acetone ปริมาตร 10 ml 2 รอบ

16. นำ crucible ที่มีส่วนที่ตกตะกอนอยู่ในไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก (เทคนิค 4 ตำแหน่ง) คำนวณหาน้ำหนักกากที่ได้ ทำซ้ำ 2 รอบ

17. นำกากที่ได้จากซ้ำที่ 1 ไปหาปริมาณโปรตีนตามวิธีของ A.O.A.C. นำกากที่ได้จากซ้ำที่ 2 ไปหาปริมาณเถ้า เพื่อคำนวณหาปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (SDF) โดยใช้สูตร

$$\text{SDF (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักกากเฉลี่ย (mg)} - P - A - B}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (mg)}} \times 100$$

สำหรับปริมาณใยอาหารทั้งหมด (%TDF) หาได้จาก %IDF + %SDF

ก.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

ก.4.1 การเตรียมสารสกัด

ดัดแปลงวิธีของ Masuda และคณะ (1999)

สารเคมี

1. 95% Ethanol

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องปั่นผสม
2. เครื่อง Water bath shaker
3. เครื่อง Rotary vacuum evaporator
4. เครื่อง Vacuum pump

วิธีการเตรียม

1. สุ่มตัวอย่างเนื้อมะม่วงสดมาตีปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมนาน 2 นาที
2. เติม 95% ethanol ปริมาตร 300 ml ลงในเนื้อมะม่วงที่ผ่านการตีปั่นปริมาณ 60 g เขย่าด้วยเครื่อง water bath shaker ในที่มืด ที่อัตราเร็ว 125 rpm อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลานาน 4.5 ชั่วโมง
3. กรองสารสกัดที่ได้ผ่านกระดาษกรอง (Whatman No.4) เพื่อแยกเอากากออก โดยใช้เครื่อง Vacuum pump แล้วระเหย ethanol ออกจากของเหลวที่กรองได้ด้วยเครื่อง rotary vacuum evaporator ที่อุณหภูมิ 70°C

4. เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดสีชาที่มีฝาปิดสนิท และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -15°C จนกว่าจะทำการวิเคราะห์

ก.4.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH

ตามวิธีของ Maisuthisakul, Suttajit และ Pongsawatmanit (2007)

สารเคมี

1. Methanol
2. 5 mM DPPH in methanol

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่อง Bio-Rad microplate reader
3. เครื่อง Water bath

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารสกัดจากเนื้อมะม่วงที่เจือจางด้วย methanol ในอัตราส่วนต่างๆ
2. นำสารสกัดที่เจือจางแล้วแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 4.9 ml ผสมกับสารละลาย DPPH in methanol ความเข้มข้น 5 mM ปริมาตร 100 μl ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลานาน 30 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 517 nm ด้วยเครื่อง Bio-Rad microplate reader โดยใช้ methanol เป็น blank

ปริมาณของสารอนุมูลอิสระ DPPH ที่ลดลง (DPPH radical-scavenging activity) ของตัวอย่างสารสกัดจากมะม่วงแต่ละความเข้มข้นสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{DPPH radical-scavenging activity (\%)} = \frac{[A_0 - (A_1 - A_s)] \times 100}{A_0}$$

โดยกำหนดให้ A_0 คือ ค่า absorbance ของสารละลาย DPPH (control)

A_1 คือ ค่า absorbance ของสารสกัดที่มีการเติมสารละลาย DPPH

A_s คือ ค่า absorbance ของสารสกัดที่ผ่านการเจือจางแต่ไม่มีการเติมสารละลาย DPPH

สร้างกราฟระหว่างปริมาณของสารอนุมูลอิสระ DPPH ที่ลดลง และความเข้มข้นของสารสกัดจากเนื้อมะม่วง เพื่อหาปริมาณของสารสกัดที่สามารถลดความเข้มข้นของสารอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50% เรียกว่า EC_{50}

ก.4.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP

ตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996)

สารเคมี

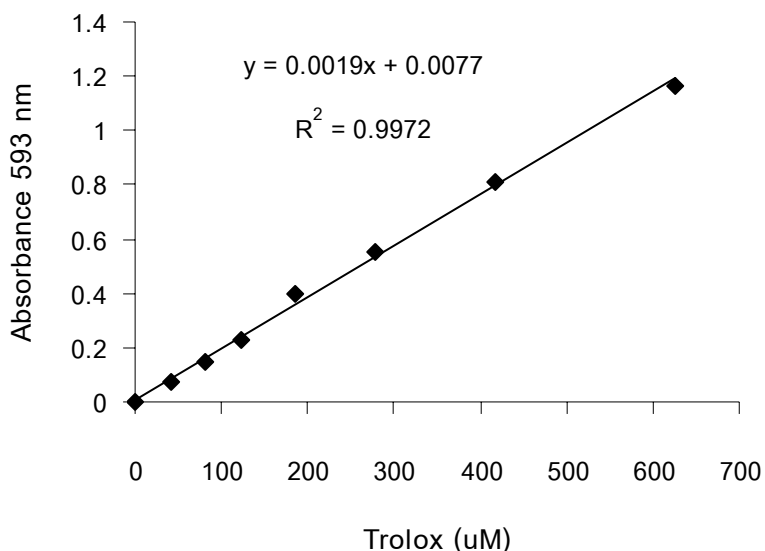
1. Trolox
2. Methanol
3. Stock solutions :
 - Acetate buffer: ปิเปต acetic acid 1.6 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น และนำมาผสมกับ sodium acetate trihydrate 0.3 g
 - Ferric chloride solution: ชั่ง ferric chloride 270 mg ปรับปริมาตรเป็น 50 ml ด้วยน้ำกลั่น
 - TPTZ solution: 100 mM HCl 4 ml ผสมกับน้ำกลั่น 6 ml = 40 mM HCl
เติม TPTZ 31.2 mg ลงใน 40 mM HCl 10 ml
4. Fresh working solution (FRAP solution) :
acetate buffer 25 ml + Ferric chloride solution 2.5 ml + TPTZ solution 2.5 ml (อุ่นที่อุณหภูมิ 37 °C ก่อนใช้ จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่อง Bio-Rad microplate reader
3. เครื่อง Water bath

วิธีวิเคราะห์

1. ผสมสารสกัดจากมะม่วงปริมาณ 50 μ l กับ FRAP solution 950 μ l ทิ้งไว้ 4 นาที ในที่มืด สีจะเปลี่ยนเป็นสีม่วง
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm (colored product; ferrous tripyridyltriazine complex) โดยใช้ methanol เป็น blank
3. สร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้ Trolox ความเข้มข้นในช่วง 82 ถึง 625 μ M Trolox แสดงผลในรูปของ μ M trolox equivalent (TE)/g fresh weight (fw) (dilute ตัวอย่าง ถ้าค่า FRAP ที่วัดได้เกินช่วง linear range ของกราฟมาตรฐาน)



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย Trolox

ก.5 เบต้าแคโรทีน

ดัดแปลงวิธีของ Ranganna (1978)

สารเคมี

1. Acetone
2. Anhydrous sodium sulphate
3. β -carotene
4. Petroleum ether

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่อง Bio-Rad microplate reader

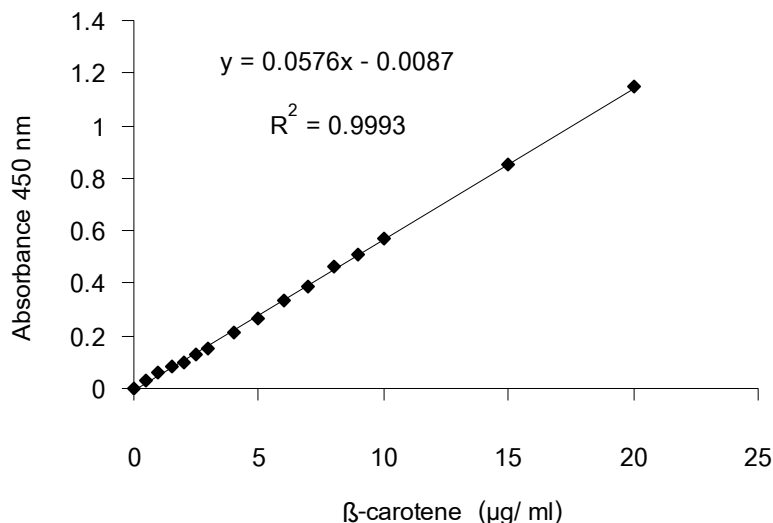
วิธีวิเคราะห์

1. สร้างกราฟมาตรฐาน โดยนำสารละลาย β -carotene ที่มีความเข้มข้น 0-20 $\mu\text{g}/\text{ml}$ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 nm ตามขั้นตอนดังนี้

1.1 ชั่งสาร β -carotene 25 mg (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ละลายใน acetone 2.5 ml และปรับปริมาตรด้วย petroleum ether ให้เป็น 250 ml ในขวดวัดปริมาตร จะได้ β -carotene เข้มข้น 0.1 mg/ml หรือ 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$

1.2 คูดสารละลายจากข้อ 1.1 มา 10 ml และปรับปริมาตรด้วย petroleum ether ให้เป็น 100 ml ในขวดวัดปริมาตร จะได้ β -carotene เข้มข้น 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$

- 1.3 นำสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 1.2 มา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 90 100,150 และ 200 ml และปรับปริมาตรด้วย petroleum ether ให้เป็น 100 ml ในขวดวัดปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐาน β -carotene เข้มข้น 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, ,3.5, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 15 และ 20 $\mu\text{g}/\text{ml}$ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 nm
2. ชั่งมะม่วงดิบ 5 g สกัดด้วย acetone และกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No.1) สกัด และกรองจนกระทั่งตัวอย่างเปลี่ยนเป็นไม่มีสี
3. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 2 ใส่ใน separating funnel แล้วเติม petroleum ether 10-15 ml
4. จากนั้นถ่ายรงควัตถุเข้าสู่ petroleum ether phase โดยเจือจาง acetone ด้วยน้ำผสม sodium sulfate 5% (w/v)
5. สกัด acetone ซ้ำด้วย petroleum ether จนกว่าจะไม่มีสีเหลืองปรากฏในชั้น acetone phase
6. กรองส่วนสกัดของ petroleum ether ผ่านกระดาษกรอง (Whatman No.1) ถ่ายลงขวดวัดปริมาตร 50 ml ปรับปริมาตรด้วย petroleum ether และนำตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 nm



รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานของสารละลาย β -carotene

ก.6 การทดสอบค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์เพออกซิเดส

ดัดแปลงวิธีของ Pearson (1970)

สารเคมี

1. 1% Guaiacol (in 50% Ethanol)

- 0.08% Hydrogen peroxide

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง

การเตรียมตัวอย่าง

1. ตีปนเนื้อมะม่วงกับ deionised water ในอัตราส่วนเนื้อมะม่วงต่อน้ำ เท่ากับ 2:1 ด้วยเครื่องปั่นผสม แล้วกรองแยกกากออก นำส่วนใสมาทดสอบปฏิกิริยาเอนไซม์

วิธีทดสอบ

- เตรียม blank โดยใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้ 0.5 ml ลงในหลอดทดลองที่มี deionised water 2 ml เขย่าให้เข้ากัน ใช้เป็นหลอดเปรียบเทียบสี
- ใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้ 0.5 ml ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม 1% Guaiacol (in 50% Ethanol) จำนวน 1 ml ลงไป โดยไม่ต้องเขย่าและผสม
- เติมสารละลาย 0.08% Hydrogen peroxide จำนวน 1 ml ตามลงไป โดยไม่ต้องเขย่าและผสม
- ผสมสารละลายในหลอดทดลองโดยจับหลอดทดลองคว่ำไปมา และสังเกตสีที่เกิดขึ้น โดยเปรียบเทียบกับหลอดที่เป็น blank ถ้าไม่มีสีเกิดขึ้นภายใน 3.5 นาที แสดงว่าไม่มีแอกทิวิตีของเอนไซม์เพอออกซิเดส และถ้าเกิดสีหลังจาก 3.5 นาที แสดงว่าไม่มีแอกทิวิตีของเอนไซม์เพอออกซิเดสเช่นเดียวกัน

ก.7 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ตามวิธีของ Nelson (1944)

สารเคมี

- Ammonium molybdate ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- Anhydrous sodium dihydrogen phosphate (NaH_2PO_4)
- Anhydrous sodium sulphate (Na_2SO_4)
- Copper sulphate pentahydrate ($\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- Potassium sodium tartrate ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$)
- Sodium hydroxide (NaOH)
- Sulfuric acid (H_2SO_4)
- Sodium arsenate ($\text{Na}_2\text{HASO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- D-(+)-glucose

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่อง Bio-Rad microplate reader

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลาย Alkaline copper reagent โดยละลาย NaH_2PO_4 14 g และ $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ 20 g ในน้ำกลั่น 350 ml เติม 1 N NaOH ปริมาตร 50 ml เติม 10% $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ปริมาตร 20 ml และเติม Anhydrous Na_2SO_4 50 g ผสมให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตรสุดท้ายเป็น 500 ml ทิ้งไว้ 1-2 วันในขวดสีชา

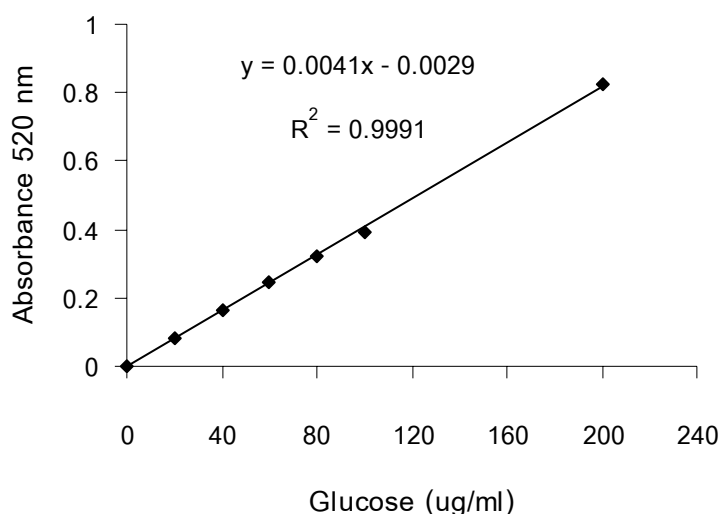
2. เตรียมสารละลาย Asenomolybdate reagent โดยละลาย $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 25 g ในน้ำกลั่น 400 ml เติม Conc. H_2SO_4 21 ml และสารละลาย $\text{Na}_2\text{HASO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (ได้จาก $\text{Na}_2\text{HASO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3 g ในน้ำกลั่น 12.5 ml) ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1-2 วันในขวดสีชา

3. เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสเข้มข้น 20-200 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ปิเปตสารละลายแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 1 ml จากนั้นเติมสารละลาย Alkaline copper reagent ปริมาตร 1 ml นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ทำให้เย็น เติม Asenomolybdate reagent ที่เจือจางด้วยสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 1.5 N ในอัตราส่วน 1:2 ปริมาตร 1 ml และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 3 ml จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm

4. ใช้น้ำกลั่นเป็น Blank โดยผ่านขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 3

5. นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน

6. การวิเคราะห์ตัวอย่างให้ทำการเจือจางจนได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นนำไปวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3



รูปที่ ก.3 กราฟมาตรฐานของสารละลาย Glucose

ก.8 การวัดขนาดอนุภาค (Particle size)

ดัดแปลงจากภาวะของ Worrasinchai และคณะ (2006)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Laser light-scattering analyzer

ภาวะที่ใช้วิเคราะห์

- | | |
|----------------------|-----------------|
| 1. Distribution | by volume |
| 2. Refractive index | 1.52 |
| 3. Laser obscuration | 10±1 % |
| 4. Pump speed | 2,500 rpm |
| 5. Absorption | 0.1 |
| 6. Dispersant Name | distilled water |

ก.9 เสถียรภาพของครีม

ดัดแปลงจากวิธีของ Keowmaneechai และ McClements (2002)

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างอิมัลชัน 30 กรัม ใส่หลอดทดลองที่มีฝาปิดซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มิลลิเมตร และสูง 86 มิลลิเมตร
2. เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดความสูงทั้งหมดของอิมัลชัน (H_E) และความสูงของสารละลายที่แยกชั้นอยู่ด้านล่าง (H_S) คำนวณหา Creaming stability (%) โดยใช้สูตร

$$\text{Creaming Stability (\%)} = \frac{H_S}{H_E} \times 100$$

ภาคผนวก ข

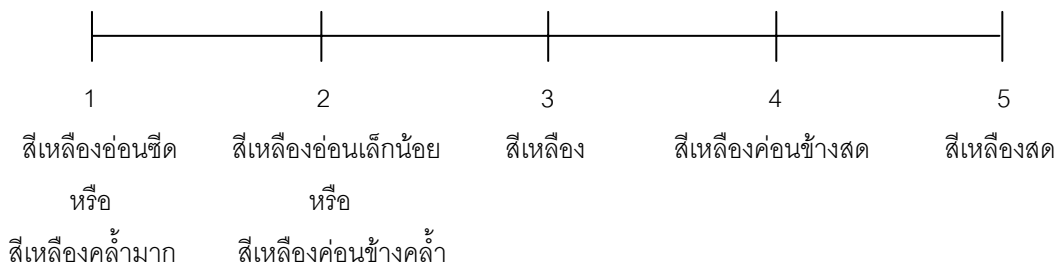
แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ข.1 แบบทดสอบที่ใช้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชิ้นเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุก

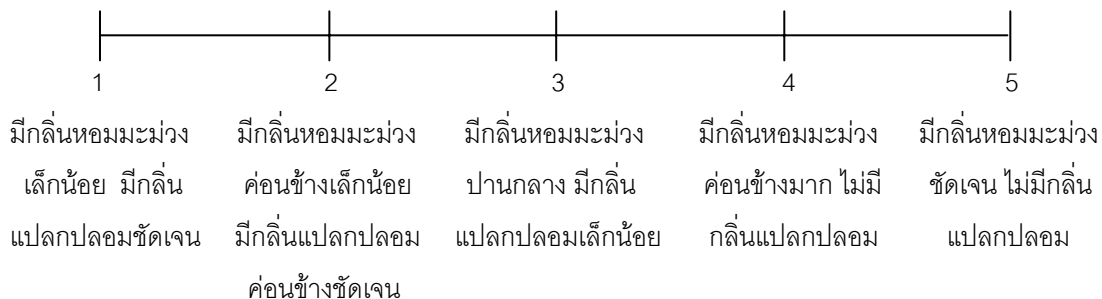
ชื่อ.....วันที่.....รหัสตัวอย่าง.....

คำแนะนำ กรุณาประเมินลักษณะต่าง ๆ ของชิ้นเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สุก โดยเขียนกากบาท (X) ตรงตำแหน่งที่ตรงตามความรู้สึกของท่านมากที่สุดลงในแบบทดสอบ

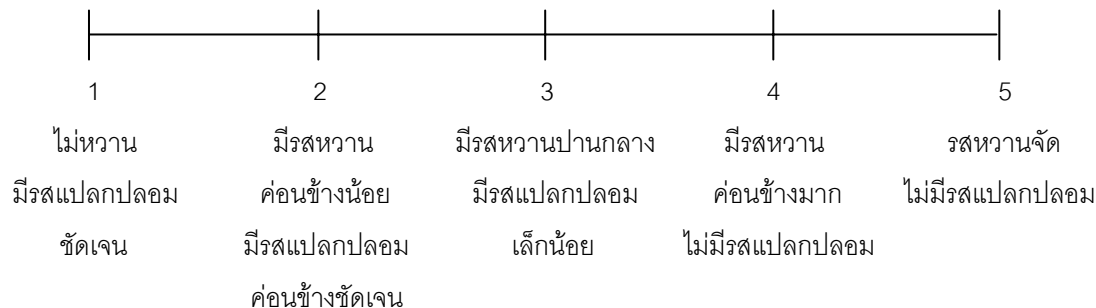
1. สีเนื้อมะม่วง



2. กลิ่น



3. รส




ข้อเสนอแนะ.....

ข.2 แบบทดสอบที่ใช้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไฮโดรเจลมะม่วง

ชื่อ.....วันที่.....รหัสตัวอย่าง.....

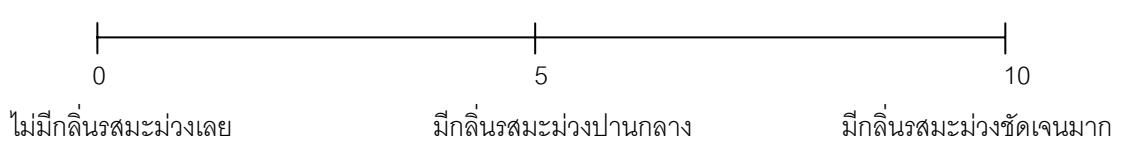
คำแนะนำ กรุณาประเมินลักษณะต่าง ๆ ของตัวอย่าง โดยเขียนกากบาท (X) ตรงตำแหน่งที่ตรงตามความรู้สึกของท่านมากที่สุดลงในแบบทดสอบ

1. สี




2. กลิ่นรส (โดยการดมและรับประทาน)

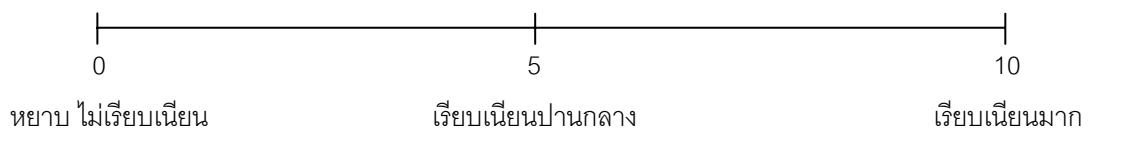
2.1 กลิ่นรสมะม่วง



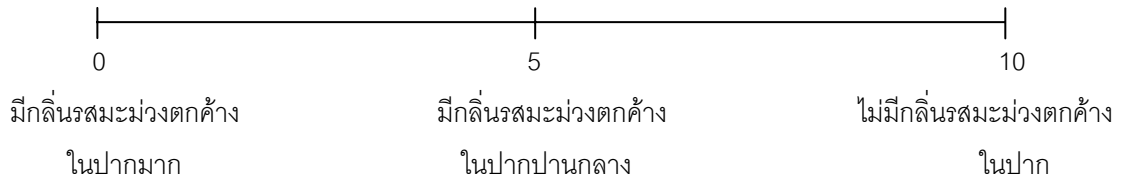
2.2 กลิ่นรสแปลกปลอม (เช่น กลิ่นหมัก กลิ่นสาบ กลิ่นหืน และกลิ่นรสไม่ปกติ ระบุไม่ได้)



3. ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความเรียบเนียน



4. สิ่งตกค้าง (aftertase)



ข้อเสนอแนะ.....

ข.3 แบบทดสอบที่ใช้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไฮโดรเจลมะม่วงที่ทำเป็นสังขยา

ชื่อ.....วันที่.....รหัสตัวอย่าง.....

คำแนะนำ กรุณาประเมินลักษณะต่าง ๆ ของตัวอย่าง โดยเขียนกากบาท (X) ตรงตำแหน่งที่ตรงตามความรู้สึกของท่านมากที่สุดลงในแบบทดสอบ

1. สี

0 5 10

สีขาวซีด สีเหลืองอ่อน สีเหลืองอมทองชัดเจน

ไม่เป็นธรรมชาติของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ ไม่เป็นธรรมชาติของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้

2. กลิ่นรส (โดยการดมและรับประทาน)

2.1 กลิ่นรสมะม่วง

0 5 10

ไม่มีกลิ่นรสมะม่วงเลย มีกลิ่นรสมะม่วงปานกลาง มีกลิ่นรสมะม่วงชัดเจนมาก

2.2 กลิ่นรสแปลกปลอม (เช่น กลิ่นหมัก กลิ่นสาบ กลิ่นหืน และกลิ่นรสไม่ปกติ ระบุไม่ได้)

0 5 10

มีกลิ่นรสแปลกปลอมชัดเจน มีกลิ่นรสแปลกปลอมบ้าง ไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอมเลย

3. ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน

0 5 10

ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเนื้อเดียวกันปานกลาง เป็นเนื้อเดียวกัน

อาจมีตะกอน หรือเป็นก้อน ไม่แยกชั้น ไม่มีตะกอนหรือลิ่มเนื้อมะม่วง

4. สิ่งตกค้าง (aftertase)

0 5 10

มีกลิ่นรสมะม่วงตกค้างในปากมาก มีกลิ่นรสมะม่วงตกค้างในปากปานกลาง ไม่มีกลิ่นรสมะม่วงตกค้างในปาก

5. การยอมรับรวม (overall acceptability)

0 5 10

ไม่ยอมรับ เฉยๆ ยอมรับและพอใจมาก

ข้อเสนอแนะ.....

ภาคผนวก ค

สูตรสังขยา

อุปกรณ์

หม้อขนาดใหญ่ และเล็ก

ไม้พาย

ถ้วงดวง

เครื่องชั่งน้ำหนัก

ส่วนผสม

น้ำกะทิ (ตรา ชาวเกาะ) หรือน้ำนม (ตรา ไทยเดนมาร์ก)	125	มิลลิลิตร
ไข่ไก่ เบอร์ 2 (ตรา ซีพี)	2	ฟอง
น้ำตาลทราย (ตรา มิตรผล)	90	กรัม
แป้งข้าวโพด (ตรา คนอร์)	18	กรัม
ไฮโดรไลเสตมะม่วง	125	มิลลิลิตร

วิธีทำ

1. ผสมไข่ น้ำกะทิหรือน้ำนม น้ำตาลทราย และแป้งข้าวโพดให้เข้ากันในหม้อใบเล็ก
2. นำหม้อใบใหญ่ใส่น้ำตั้งไฟให้เดือด แล้วนำหม้อใบเล็กวางลงกลางหม้อน้ำเดือด และใช้ไม้พายคนตลอดเวลาจนกระทั่งส่วนผสมสุกขึ้น และเข้ากันดี
3. ใส่ไฮโดรไลเสตมะม่วง และคนให้เข้ากัน ปิดไฟ รอให้เย็น

ภาคผนวก ง

รายละเอียดของเอนไซม์

เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า Pectinex® Ultra SP-L

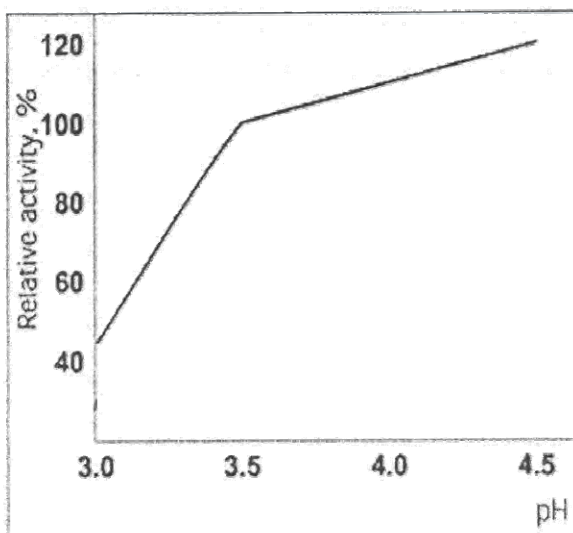
Pectinex® Ultra SP-L เป็นเอนไซม์ที่มีแอกทิวิตีของเพกทิเนสสูง ผลิตจากเชื้อกลุ่ม *Aspergillus aculeatus* สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว ประกอบด้วยเอนไซม์พอลิกลาแลกทูโรเนส เพกทินไลเอส เพกทินเอสเทอเรสเป็นหลัก โดยมีเอนไซม์เฮมิเซลลูเลส เซลลูเลส โปรตีเอส และ อะไมเลส ช่วยเสริมการย่อยสลายโมเลกุลต่างๆ ที่บริเวณผนังเซลล์ของพืช

ลักษณะปรากฏ: เป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหมักเล็กน้อย มี pH ประมาณ 4.5 สามารถละลายน้ำได้ดีที่ทุกความเข้มข้น

แอกทิวิตีของเอนไซม์โดยทั่วไป: 26,000 PGU/ml (pH 3.5) ค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์พิจารณาโดยวัดความหนืดของสารละลายกรดเพกติกที่ลดลง ที่อุณหภูมิ 20°C pH 3.5

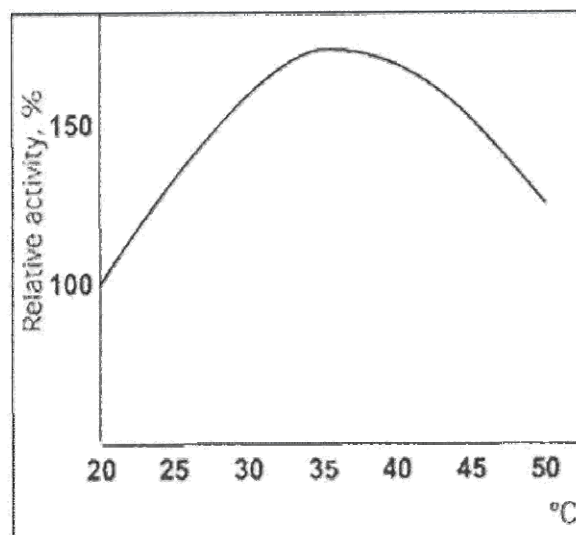
ข้อกำหนด: สามารถใช้ในอาหารได้ รับรองโดย FAO/WHO, JECFA และ FCC

การเก็บรักษา: เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 20°C แอกทิวิตีของเอนไซม์สามารถคงอยู่ได้เป็นเวลา 3 เดือน และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 0-10°C แอกทิวิตีของเอนไซม์สามารถคงอยู่ได้อย่างน้อย 1 ปี



รูปที่ ง.1 แอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ pH ต่างๆ

Polygalacturonase activity at 20°C



รูปที่ ง.2 แอกทิวิตีของเอนไซม์ที่อุณหภูมิต่างๆ

Polygalacturonase activity at pH 3.5

(ดัดแปลงจาก Novozymes, Enzyme Information)

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ จ.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก (TA) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของผลมะม่วงแก่ที่ระดับต่างๆ

Source of variance	df	MS		
		pH	TA	TSS
Maturity stages	3	0.363*	2.543*	5.461*
Error	8	0.001	0.067	0.121

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีในระบบ CIE LAB ของเนื้อมะม่วงที่ระดับความสุกต่างๆ

Source of variance	df	MS		
		L*	-a*	+b*
Ripening stages	2	0.519	0.340*	7.363*
Error	6	0.598	0.013	0.118

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริก (TA) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของเนื้อมะม่วงที่ระดับความสุกต่างๆ

Source of variance	df	MS		
		pH	TA	TSS
Ripening stages	2	0.391*	0.069*	16.008*
Error	6	0.010	0.001	0.394

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น และรสของเนื้อมะม่วงที่ระดับความสุกต่างๆ

Source of variance	df	MS		
		Color	Aroma	Taste
Ripening stages	2	4.687*	5.846*	5.861*
Panelist	9	0.080	0.148	0.033
Error	18	0.146	0.105	0.073

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความสว่าง (L^*) ค่าสีเหลือง ($+b^*$) และค่า pH ของเนื้อมะม่วงดิบที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ

Source of variance	df	MS		
		L^*	$+b^*$	pH
Blanching time (A)	3	138.594*	78.153*	0.002
Acid type (B)	1	246.860*	36.424*	0.821*
Acid concentration (C)	3	134.950*	49.294*	3.377*
AxB	3	1.440	2.835*	0.001
AxC	9	8.276*	3.893*	0.001
BxC	3	28.076*	5.793*	0.096*
AxBxC	9	1.118	2.299*	0.01
Error	64	0.637	0.808	0.016

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ค่า pH ค่าสีในระบบ CIE LAB และระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทิน (DH) ของไฮโดรไลสเตรมมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ภาวะต่างๆ

Source of variance	df	MS					
		TSS	pH	Color			DH
				L*	-a*	+b*	
Enzyme concentration (A)	5	0.471*	0.222*	6.179*	0.460	0.222*	2454.006*
Hydrolysis time (B)	8	0.482*	0.005*	9.087*	0.035	4.590*	2656.563*
AxB	32	0.029	0.000	0.101	0.009	0.174*	89.318*
Error	92	0.039	0.002	0.520	0.212	0.073	2.548

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีในระบบ CIE LAB ค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ขนาดอนุภาค (PS) และความหนืด (V) ของไฮโดรไลสเตรมมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Source of variance	df	MS						
		Color			pH	TSS	PS	V
		L*	-a*	+b*				
Degree of hydrolysis	4	4.004*	0.053	4.974*	0.285*	0.284*	323.319*	31714.556*
Error	10	0.351	0.053	0.102	0.001	0.080	4.257	37.971

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณใยอาหาร (DF) ปริมาณเบต้าแคโรทีน (BC) และฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (AA) ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Source of variance	df	MS					
		DF			BC	AA	
		TDF	SDF	IDF		DPPH	FRAP
Degree of hydrolysis	4	0.005	3.036*	3.167*	57.996*	27.475*	93.994*
Error	10	0.009	0.002	0.003	0.229	0.75	0.825

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Source of variance	df	MS				
		Color	Mango flavor	Off-flavor	Smoothness	Aftertaste
Hydrolysis time	4	12.646*	7.688*	3.608*	53.350*	2.174*
Panelist	9	9.270	0.741	0.138	0.358	1.054*
Error	36	0.864	0.363	0.092	0.345	0.626

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของอิมัลชันซึ่งเตรียมที่ค่า pH ต่างๆ

Source of variance	df	MS			
		PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
pH (A)	4	209.924*	152.763*	63777.778*	198.473*
Degree of hydrolysis (B)	4	1281.911*	2334.308*	78110.270*	437.419*
AxB	16	9.183*	2.094*	6577.788*	265.771*
Error	50	0.082	0.117	19.373	2.564

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของอิมัลชันซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ

Source of variance	df	MS			
		PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
Temperature (A)	4	80.115*	57.995*	20423.820*	339.853*
Degree of hydrolysis (B)	4	2148.089*	2387.876*	168342.824*	2745.41*
AxB	16	2.494*	2.470*	162.485*	4.929*
Error	50	0.103	0.096	6.026	2.285

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต ปริมาณน้ำมัน และไฮโดรไลเซตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Source of variance	df	MS			
		PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
Degree of hydrolysis (A)	4	7897.709*	10241.721*	502044.457*	4315.364*
Sodium caseinate concentration (B)	6	65.889*	286.220*	362865.319*	348.823*
Oil content (C)	2	190.351*	379.869*	463927.689*	1276.351*
AxB	24	3.649*	5.313*	3684.951*	36.157*
AxC	8	19.407*	15.353*	19889.697*	182.989*
BxC	12	1.146*	5.479*	1376.776*	20.716*
AxBxC	48	0.812*	1.517*	828.499*	8.152*
Error	210	0.078	0.161	4.991	2.901

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของน้ำกะทิที่มีไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ

Source of variance	df	MS			
		PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
Degree of hydrolysis	4	15.591*	43.890*	3725.670*	110.751*
Error	10	0.076	0.118	17.608	1.783

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของน้ำนมที่มีไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ

Source of variance	df	MS			
		PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
Degree of hydrolysis	4	7.198*	14.926*	24942.018*	68.589*
Error	10	0.039	0.046	5.995	5.039

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ภาคผนวก จ

รายละเอียดข้อมูลเพิ่มเติม

ตารางที่ ๑.1 ค่า pH และค่าสีของเนื้อมะม่วงดิบที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ
เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (control) (ค่าสีที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยที่วัด 0, 3 และ 5 วัน)

Blanching Time (min)	Type of Treatment	Amount of Acid (% w/w)	pH	Average of color in 5 days	
				L*	+b*
0	control		5.17 ^a ± 0.01	41.28 ^l ± 0.51	27.75 ^{mn} ± 1.46
	Citric acid	0.10	4.63 ^{cde} ± 0.10	42.06 ^{hi} ± 1.37	27.11 ⁿ ± 1.00
		0.30	4.36 ^{gh} ± 0.33	42.46 ^h ± 0.59	27.10 ⁿ ± 0.69
		0.50	4.17 ^h ± 0.10	42.66 ^h ± 0.71	28.99 ^{hijklm} ± 0.41
	Ascorbic acid	0.10	4.83 ^{bcd} ± 0.24	45.48 ^{efg} ± 0.89	28.91 ^{ijklm} ± 0.65
		0.30	4.61 ^{cde} ± 0.39	45.44 ^{efg} ± 0.54	29.80 ^{ghijkl} ± 0.84
		0.50	4.44 ^{efg} ± 0.07	45.43 ^{efg} ± 0.54	29.79 ^{ghijkl} ± 0.60
1	control		5.18 ^a ± 0.02	41.97 ^{hi} ± 0.64	28.60 ^{lm} ± 0.83
	Citric acid	0.10	4.63 ^{cde} ± 0.12	42.12 ^{hi} ± 0.37	28.75 ^{klm} ± 0.90
		0.30	0.34 ^{gh} ± 0.02	42.40 ^{hi} ± 1.08	29.54 ^{ghijkl} ± 0.62
		0.50	4.19 ^h ± 0.06	42.68 ^{hi} ± 1.81	29.91 ^{ghijkl} ± 0.79
	Ascorbic acid	0.10	4.87 ^b ± 0.16	45.28 ^{fg} ± 0.71	28.80 ^{klm} ± 0.40
		0.30	4.64 ^{cde} ± 0.17	45.08 ^{fg} ± 0.79	30.17 ^{efghi} ± 0.94
		0.50	4.46 ^{efg} ± 0.12	45.15 ^{fg} ± 0.85	30.06 ^{efghijk} ± 0.99
3	control		5.17 ^a ± 0.02	42.59 ^h ± 0.77	28.74 ^{klm} ± 0.48
	Citric acid	0.10	4.64 ^{cde} ± 0.02	44.41 ^g ± 0.98	30.11 ^{efghij} ± 0.55
		0.30	4.35 ^{gh} ± 0.06	45.92 ^{def} ± 0.25	30.20 ^{efghi} ± 0.65
		0.50	4.18 ^h ± 0.09	45.82 ^{def} ± 0.41	30.90 ^{def} ± 0.63
	Ascorbic acid	0.10	4.84 ^{bc} ± 0.05	47.46 ^c ± 1.01	30.32 ^{efgh} ± 1.16
		0.30	4.62 ^{cde} ± 0.03	48.56 ^b ± 0.79	30.61 ^{efg} ± 0.95
		0.50	4.43 ^{efg} ± 0.12	50.64 ^a ± 0.47	34.03 ^{ab} ± 0.89
5	control		5.18 ^a ± 0.03	43.03 ^h ± 0.61	29.34 ^{ghijkl} ± 1.62
	Citric acid	0.10	4.66 ^{bcde} ± 0.03	45.54 ^{efg} ± 1.30	31.32 ^{de} ± 1.01
		0.30	4.36 ^{fgh} ± 0.02	46.52 ^{cde} ± 0.51	31.24 ^{de} ± 0.65
		0.50	4.19 ^h ± 0.02	45.68 ^{cd} ± 0.22	31.87 ^d ± 0.50
	Ascorbic acid	0.10	4.89 ^b ± 0.16	48.68 ^b ± 1.08	32.11 ^{cd} ± 0.51
		0.30	4.59 ^{def} ± 0.09	50.53 ^a ± 0.82	33.10 ^{bc} ± 0.64
		0.50	4.46 ^{efg} ± 0.13	51.29 ^a ± 0.40	34.62 ^a ± 1.04

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ ๑.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ในไฮโดรไลสเตรมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ

Enzyme concentration (% v/w)	TSS (°Brix)									
	Hydrolysis time (h)									
	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	
0.5	18.60 ^{bc} ± 0.20	18.60 ^{bc} ± 0.20	18.60 ^{bc} ± 0.00	18.67 ^{bc} ± 0.12	18.67 ^{bc} ± 0.12	18.67 ^{bc} ± 1.0	18.73 ^{bc} ± 0.12	18.80 ^{abc} ± 0.00	18.80 ^{abc} ± 0.00	
1.0	18.60 ^{bc} ± 0.35	18.60 ^{bc} ± 0.20	18.73 ^{bc} ± 0.12	18.73 ^{bc} ± 0.50	18.73 ^{bc} ± 0.12	18.80 ^{abc} ± 0.20	18.87 ^{abc} ± 0.12	19.00 ^{ab} ± 0.20	19.00 ^{ab} ± 0.20	
1.5	18.60 ^{bc} ± 0.20	18.67 ^{bc} ± 0.31	18.67 ^{bc} ± 0.12	18.80 ^{abc} ± 0.00	19.00 ^{ab} ± 0.00	19.00 ^{ab} ± 0.00	19.00 ^{ab} ± 0.00	19.13 ^a ± 0.23	19.13 ^a ± 0.12	
2.0	18.60 ^{bc} ± 0.20	18.73 ^{bc} ± 0.50	18.73 ^{bc} ± 0.31	19.13 ^a ± 0.12	19.13 ^a ± 0.12	19.20 ^a ± 0.00	19.20 ^a ± 0.00	19.20 ^a ± 0.35	19.20 ^a ± 0.20	
2.5	18.60 ^{bc} ± 0.20	18.67 ^{bc} ± 0.23	18.80 ^{abc} ± 0.00	19.13 ^a ± 0.12	19.20 ^a ± 0.00	19.20 ^a ± 0.20	19.20 ^a ± 0.00	19.20 ^a ± 0.20	19.20 ^a ± 0.20	

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขทั้งหมดที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓.3 ค่าความสว่าง (L*) ของไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ

Enzyme concentration (% v/w)	L* of color								
	Hydrolysis time (h)								
	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6
0.5	48.53 ^a ±1.15	47.64 ^{abc} ±1.68	47.38 ^{abcd} ±1.13	46.91 ^{bcd} ±0.90	46.70 ^{cdefg} ±1.51	46.71 ^{cdefg} ±0.99	46.50 ^{cdefghi} ±1.37	46.17 ^{defghij} ±1.00	46.41 ^{cdefghi} ±0.53
1.0	48.26 ^{ab} ±0.56	47.31 ^{abcde} ±0.61	47.26 ^{abcde} ±0.24	46.52 ^{cdefghi} ±0.34	46.27 ^{cdefghij} ±0.19	46.46 ^{cdefghij} ±0.55	46.30 ^{cdefghij} ±0.10	45.61 ^{fghij} ±0.36	45.36 ^{ghij} ±0.45
1.5	47.55 ^{abcd} ±0.43	46.38 ^{cdefghij} ±0.47	46.14 ^{defghij} ±0.32	46.71 ^{fghij} ±0.43	45.44 ^{ghij} ±0.66	45.34 ^{ghij} ±1.18	45.67 ^{fghij} ±0.32	45.09 ^{ij} ±0.58	45.02 ^j ±0.76
2.0	47.69 ^{ab} ±0.41	46.73 ^{cdefg} ±0.20	46.52 ^{cdefghi} ±0.50	45.75 ^{fghij} ±0.78	45.78 ^{fghij} ±0.71	45.64 ^{fghij} ±0.44	45.78 ^{fghij} ±0.63	45.06 ^{ij} ±0.17	45.17 ^{hij} ±1.03
2.5	47.22 ^{abcde} ±1.14	46.61 ^{cdefgh} ±0.72	46.63 ^{fghij} ±0.54	45.89 ^{efghij} ±0.10	45.57 ^{fghij} ±0.35	45.66 ^{fghij} ±0.19	45.36 ^{ghij} ±0.27	45.13 ^{ij} ±0.06	45.17 ^{hij} ±0.28

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขทั้งหมดที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.4 ค่าสีเขียว (-a*) ของไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ

Enzyme concentration (% v/w)	-a* of color									
	Hydrolysis time (h)									
	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	
0.5	1.71 ^{ns} ±0.14	1.75 ^{ns} ±0.28	1.75 ^{ns} ±0.21	1.77 ^{ns} ±0.54	1.71 ^{ns} ±0.28	1.69 ^{ns} ±0.26	1.74 ^{ns} ±0.25	1.74 ^{ns} ±0.14	1.72 ^{ns} ±0.18	
1.0	1.79 ^{ns} ±0.16	1.80 ^{ns} ±0.22	1.81 ^{ns} ±0.43	1.79 ^{ns} ±0.43	1.79 ^{ns} ±0.52	1.81 ^{ns} ±0.63	1.79 ^{ns} ±0.64	1.84 ^{ns} ±0.74	1.85 ^{ns} ±0.69	
1.5	1.80 ^{ns} ±0.65	2.06 ^{ns} ±0.58	2.08 ^{ns} ±0.94	2.08 ^{ns} ±0.06	2.16 ^{ns} ±0.28	2.07 ^{ns} ±0.83	2.04 ^{ns} ±0.84	2.07 ^{ns} ±0.63	2.09 ^{ns} ±0.80	
2.0	1.79 ^{ns} ±0.13	1.94 ^{ns} ±0.04	2.05 ^{ns} ±0.04	2.03 ^{ns} ±0.27	2.04 ^{ns} ±0.06	2.07 ^{ns} ±0.38	2.06 ^{ns} ±0.27	2.05 ^{ns} ±0.05	2.08 ^{ns} ±0.05	
2.5	1.88 ^{ns} ±0.15	2.00 ^{ns} ±0.18	2.06 ^{ns} ±0.07	2.07 ^{ns} ±0.32	2.10 ^{ns} ±0.18	2.02 ^{ns} ±0.24	2.07 ^{ns} ±0.04	2.09 ^{ns} ±0.98	2.04 ^{ns} ±0.86	

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

Enzyme concentration (% v/w)	+b* of color								
	Hydrolysis time (h)								
	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6
0.5	32.43 ^a ±0.25	32.18 ^{ab} ±0.21	31.75 ^{bc} ±0.22	31.41 ^{cde} ±0.17	31.09 ^{def} ±0.07	30.96 ^{efg} ±0.08	30.76 ^{fgh} ±0.14	30.46 ^{hi} ±0.18	30.14 ^{ijklm} ±0.10
1.0	32.61 ^c ±0.18	31.43 ^{cd} ±0.41	30.41 ^{hijk} ±0.20	30.35 ^{hijk} ±0.36	30.24 ^{hijkl} ±0.16	30.50 ^{ghi} ±0.37	30.14 ^{ijklm} ±0.15	30.16 ^{ijklm} ±0.11	30.10 ^{ijklm} ±0.08
1.5	30.36 ^{hijk} ±0.26	30.24 ^{hijkl} ±0.25	30.36 ^{hijk} ±0.32	30.28 ^{hijkl} ±0.44	30.03 ^{ijklm} ±0.05	29.39 ^{opq} ±0.39	29.02 ^q ±0.54	29.05 ^q ±0.05	29.16 ^q ±0.25
2.0	30.32 ^{hijkl} ±0.18	30.43 ^{hij} ±0.48	30.07 ^{ijkl} ±0.11	29.91 ^{ijklmn} ±0.13	29.88 ^{klmn} ±0.10	29.67 ^{mnop} ±0.24	29.01 ^q ±0.02	29.16 ^q ±0.24	29.06 ^q ±0.10
2.5	30.25 ^{hijkl} ±0.25	30.18 ^{ijklm} ±0.21	29.71 ^{mnop} ±0.28	29.80 ^{lmno} ±0.14	29.42 ^{nopq} ±0.38	29.29 ^{pq} ±0.62	29.18 ^q ±0.28	29.12 ^q ±0.07	29.02 ^q ±0.07

ตารางที่ ๑.5 ค่าสีเหลือง (+b*) ของไฮโดรไลเซตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขทั้งหมดที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.6 ค่า pH ในไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ

Enzyme concentration (% v/w)	pH								
	Hydrolysis time (h)								
	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6
0.5	3.88 ^b ±0.04	3.84 ^{bc} ±0.05	3.83 ^{bc} ±0.04	3.82 ^{bc} ±0.05	3.82 ^{bc} ±0.04	3.82 ^{bc} ±0.04	3.81 ^{bc} ±0.03	3.81 ^{bc} ±0.04	3.81 ^{bc} ±0.04
1.0	3.84 ^{bc} ±0.04	3.81 ^{bc} ±0.04	3.81 ^{bc} ±0.04	3.81 ^{bc} ±0.04	3.81 ^{bcl} ±0.05	3.80 ^{bc} ±0.05	3.80 ^{bc} ±0.05	3.80 ^{bc} ±0.06	3.80 ^{bc} ±0.06
1.5	3.82 ^{bc} ±0.05	3.82 ^{bc} ±0.04	3.81 ^{bc} ±0.04	3.81 ^c ±0.04	3.79 ^{bc} ±0.05	3.79 ^{bc} ±0.05	3.79 ^{bc} ±0.05	3.77 ^c ±0.06	3.77 ^c ±0.06
2.0	3.83 ^{bc} ±0.02	3.81 ^{bc} ±0.05	3.80 ^{bc} ±0.04	3.80 ^{bc} ±0.05	3.80 ^{bc} ±0.05	3.79 ^c ±0.05	3.78 ^c ±0.05	3.77 ^c ±0.05	3.77 ^c ±0.05
2.5	3.81 ^{bc} ±0.01	3.79 ^{bc} ±0.01	3.79 ^{bc} ±0.02	3.78 ^c ±0.02	3.78 ^c ±0.05	3.78 ^c ±0.05	3.77 ^{bc} ±0.05	3.76 ^c ±0.04	3.76 ^c ±0.04

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขทั้งหมดที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ ๑.7 ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินในไฮโดรไลสตะมวงที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นและเวลาการย่อยต่างๆ

Enzyme concentration (% v/w)	Degree of hydrolysis (mg glucose/ g fresh weight)								
	Hydrolysis time (h)								
	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6
0.5	45.30 ^p ±0.58	47.01 ^{op} ±0.07	49.98 ⁿ ±1.18	53.16 ^m ±1.05	55.16 ^{lm} ±0.58	56.53 ^l ±1.16	59.53 ^k ±0.08	62.35 ^{jk} ±1.26	65.06 ^{ij} ±0.81
1.0	45.57 ^p ±0.43	49.34 ^{no} ±0.88	54.20 ^{lm} ±0.97	60.18 ^k ±3.89	62.16 ^{jk} ±4.36	66.80 ⁱ ±3.98	71.40 ^h ±3.94	72.51 ^{gh} ±0.96	74.26 ^g ±2.05
1.5	45.36 ^p ±0.46	55.61 ^{lm} ±2.80	62.31 ^{jk} ±1.02	66.79 ⁱ ±1.00	72.73 ^{gh} ±1.59	75.17 ^g ±1.15	78.10 ^f ±1.74	82.28 ^{de} ±1.50	85.65 ^c ±0.76
2.0	45.83 ^p ±0.74	59.84 ^k ±0.37	62.42 ^{jk} ±0.01	79.83 ^{ef} ±0.40	82.39 ^{de} ±0.31	84.34 ^{cd} ±0.89	94.80 ^{ab} ±0.44	95.98 ^{ab} ±1.57	97.34 ^a ±0.27
2.5	45.62 ^p ±0.44	60.89 ^k ±1.92	65.04 ^{ij} ±1.22	81.43 ^e ±1.10	84.86 ^{cd} ±1.67	93.18 ^b ±0.67	94.89 ^{ab} ±1.25	96.67 ^a ±1.09	97.61 ^a ±0.68

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขทั้งหมดที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ ๑.8 ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของอิมัลชันซึ่งเตรียมที่ค่า pH ต่างๆ

Sample code	pH	PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
DP 46	3	27.60 ^s ±0.17	40.11 ^q ±0.07	362.87 ^j ±5.42	48.60 ^m ±1.44
	4	30.20 ^r ±0.27	39.40 ^p ±0.50	468.00 ^d ±0.68	47.10 ^{lm} ±1.21
	5	31.58 ^q ±0.35	36.35 ^o ±0.48	478.93 ^c ±5.39	45.17 ^l ±2.89
	6	23.90 ^p ±0.51	32.36 ⁿ ±0.16	350.65 ^{jk} ±4.57	32.11 ^g ±0.55
	7	29.22 ^m ±0.30	32.42 ⁿ ±0.23	347.58 ^{kl} ±7.54	32.24 ^g ±0.36
DP 46E	3	18.80 ^l ±0.31	30.38 ^m ±0.53	351.35 ^j ±3.30	40.21 ^{jk} ±1.82
	4	20.03 ⁿ ±0.47	29.57 ^l ±0.43	430.23 ^f ±3.03	36.90 ^{hi} ±1.26
	5	21.52 ^o ±0.46	26.15 ^k ±0.14	451.06 ^e ±2.44	25.37 ^h ±2.58
	6	14.17 ^k ±0.15	23.36 ^j ±0.54	348.14 ^{ijkl} ±2.28	25.61 ^f ±0.85
	7	10.66 ⁱ ±0.12	22.16 ^j ±0.21	342.68 ^{kim} ±4.52	24.90 ^{ef} ±0.36
DP 60	3	11.82 ^j ±0.10	13.66 ^h ±0.29	489.11 ^b ±4.55	22.72 ^{de} ±2.33
	4	10.40 ⁱ ±0.59	13.31 ^g ±0.02	515.24 ^a ±2.33	19.30 ^{bc} ±0.51
	5	7.30 ^e ±0.26	8.22 ^d ±0.21	401.62 ^h ±1.52	15.94 ^a ±0.19
	6	2.89 ^b ±0.46	7.38 ^b ±0.26	343.10 ^{kim} ±8.29	40.05 ^{jk} ±0.80
	7	2.53 ^b ±0.17	6.29 ^a ±0.42	338.27 ^m ±5.07	38.20 ^{ji} ±0.91
DP 80	3	8.80 ^h ±0.22	13.30 ^g ±0.62	413.35 ^g ±2.59	26.29 ^f ±1.08
	4	8.60 ^g ±0.21	12.11 ^f ±0.68	404.27 ^h ±3.47	20.20 ^{cd} ±2.13
	5	6.82 ^d ±0.21	8.02 ^{cd} ±0.02	280.43 ^o ±0.60	17.26 ^{ab} ±0.82
	6	2.54 ^b ±0.03	7.51 ^{bc} ±0.07	216.49 ^{pq} ±1.40	39.50 ^{ijk} ±0.87
	7	2.41 ^{ab} ±0.10	7.50 ^{bc} ±0.10	211.68 ^q ±2.50	39.20 ^{ijk} ±2.55
DP 95	3	7.40 ^f ±0.11	12.10 ^f ±0.44	328.16 ⁿ ±4.04	31.05 ^g ±1.92
	4	7.41 ^e ±0.10	10.32 ^e ±0.21	340.28 ^{lm} ±1.35	26.80 ^f ±1.97
	5	5.62 ^c ±0.19	7.27 ^b ±0.18	223.03 ^p ±2.85	21.85 ^{cd} ±2.65
	6	2.44 ^{ab} ±0.16	6.99 ^b ±0.05	179.09 ^r ±2.21	40.45 ^{jk} ±0.23
	7	1.99 ^a ±0.13	6.18 ^a ±0.21	169.09 ^s ±1.06	41.42 ^k ±1.98

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ ๑.๙ ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของอิมัลชันซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิต่างๆ

Sample code	Temperature (°C)	PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
DP 46	30	31.52 ⁿ ±0.27	36.31 ^o ±0.34	479.93 ^a ±3.74	44.75 ⁱ ±2.35
	40	34.29 ^o ±0.27	36.55 ^o ±0.36	452.19 ^b ±2.63	48.78 ^j ±1.48
	50	35.51 ^p ±0.44	37.61 ^p ±0.43	415.41 ^d ±0.26	55.16 ^k ±1.18
	60	36.19 ^q ±0.28	38.34 ^q ±0.26	423.53 ^c ±3.84	56.58 ^k ±1.18
	70	36.31 ^q ±0.22	38.48 ^q ±0.43	383.83 ^f ±4.18	57.24 ^k ±1.17
DP 46E	30	21.55 ⁱ ±0.48	26.18 ^l ±0.26	451.39 ^b ±2.07	35.05 ^g ±2.14
	40	25.14 ^k ±0.24	28.19 ^m ±0.41	421.00 ^c ±3.92	38.28 ^h ±1.50
	50	28.85 ^m ±0.21	30.99 ⁿ ±0.12	377.41 ^g ±3.16	45.76 ⁱ ±1.94
	60	29.17 ^m ±0.29	31.12 ⁿ ±0.12	368.67 ^j ±2.83	46.68 ^h ±2.36
	70	28.03 ^l ±0.23	30.75 ⁿ ±0.45	352.65 ^j ±2.74	46.07 ⁱ ±1.70
DP 60	30	7.23 ^{bc} ±0.22	8.22 ^{bc} ±0.21	400.95 ^e ±2.67	15.94 ^a ±0.19
	40	8.15 ^d ±0.12	10.52 ^e ±0.29	372.92 ^h ±1.56	18.32 ^{ab} ±8.33
	50	13.08 ^h ±0.60	15.65 ^k ±0.39	330.87 ^k ±1.49	20.78 ^{bc} ±1.35
	60	12.93 ^h ±0.34	14.34 ^l ±0.29	315.55 ^l ±1.44	22.96 ^{cd} ±1.00
	70	13.71 ⁱ ±0.66	14.63 ^l ±0.54	293.90 ^m ±2.33	24.05 ^{de} ±1.70
DP 80	30	6.76 ^b ±0.26	8.02 ^b ±0.02	280.43 ⁿ ±0.60	17.26 ^a ±0.82
	40	7.66 ^{cd} ±0.21	8.64 ^c ±0.23	251.01 ^o ±1.82	20.43 ^{bc} ±1.60
	50	10.54 ^g ±0.26	11.47 ^{gh} ±0.39	228.25 ^p ±2.31	23.63 ^{de} ±1.38
	60	10.75 ^g ±0.14	11.85 ^{hi} ±0.24	210.05 ^r ±1.44	28.56 ^f ±1.10
	70	10.45 ^g ±0.42	10.75 ^{ef} ±0.06	194.58 ^t ±1.19	28.77 ^f ±0.70
DP 95	30	5.52 ^a ±0.18	7.27 ^a ±0.18	223.04 ^q ±2.85	21.85 ^{cd} ±2.65
	40	8.13 ^d ±0.21	9.71 ^d ±0.40	205.34 ^s ±1.26	25.66 ^e ±1.94
	50	9.07 ^e ±0.39	11.81 ^{hi} ±0.32	175.29 ^u ±1.73	28.14 ^f ±0.81
	60	9.37 ^{ef} ±0.25	12.08 ⁱ ±0.11	156.49 ^v ±2.76	32.52 ^g ±0.87
	70	9.62 ^f ±0.06	11.19 ^g ±0.23	150.47 ^w ±0.49	34.07 ^g ±1.01

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ ๑.10 ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต ปริมาณน้ำมัน และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Sample code	Sodium caseinate (% (w/w))	Oil (% v/w)	PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
DP 46	0	10	31.60 ^U ±0.42	36.23 ^{OP} ±0.17	209.07 ^{XY} ±1.96	49.27 ^U ±0.32
		20	36.86 ^{XY} ±0.2	40.84 ^T ±0.26	325.09 ^{FE} ±3.44	48.02 ^{YU} ±0.92
		40	37.00 ^Y ±0.07	42.51 ^V ±0.35	365.56 ^A ±2.03	46.19 ^{RST} ±0.11
	0.5	10	29.80 ^T ±0.56	34.33 ^{KL} ±0.16	248.68 ^T ±2.93	44.60 ^{PQRS} ±1.03
		20	35.82 ^W ±0.12	40.31 ^T ±0.25	353.97 ^B ±4.17	47.38 ^{STU} ±0.62
		40	36.52 ^X ±0.37	41.50 ^U ±0.44	403.46 ^{UV} ±2.00	46.22 ^{RSTI} ±0.20
	1	10	29.45 ^S ±0.25	34.33 ^{KL} ±0.21	270.46 ^P ±1.37	42.14 ^{NOPQ} ±0.23
		20	32.52 ^V ±0.45	38.96 ^{RS} ±0.10	424.83 ^S ±1.72	46.15 ^{RST} ±0.82
		40	35.91 ^W ±0.26	40.67 ^T ±0.22	442.30 ^P ±2.88	44.80 ^{PQRST} ±0.96
	2	10	29.27 ^S ±0.24	33.67 ^K ±0.22	355.17 ^B ±2.78	41.33 ^{MNO} ±0.40
		20	31.43 ^T ±0.47	36.83 ^P ±0.27	480.13 ^m ±1.39	45.27 ^{QRST} ±0.72
		40	34.43 ^V ±0.20	39.23 ^S ±0.25	508.52 ⁱ ±2.35	44.54 ^{PQRS} ±0.62
	3	10	28.23 ^R ±0.29	31.53 ^J ±0.27	393.04 ^w ±2.67	40.69 ^{LMNO} ±0.19
		20	31.17 ^T ±0.32	35.88 ^{NO} ±0.29	512.20 ^h ±2.02	42.70 ^{OPQ} ±0.52
		40	32.49 ^U ±0.29	38.35 ^R ±0.30	551.98 ^f ±0.66	41.93 ^{NOP} ±0.76
	4	10	27.22 ^Q ±0.21	31.41 ^J ±0.26	423.04 ^s ±2.95	38.97 ^{IJKLMN} ±0.92
		20	31.23 ^T ±0.34	35.36 ^{MN} ±0.35	588.28 ^e ±2.48	40.49 ^{KLMNO} ±0.77
		40	32.50 ^U ±0.32	37.62 ^Q ±0.45	598.23 ^d ±2.01	39.46 ^{IJKLMN} ±0.52
	6	10	27.29 ^R ±0.23	30.45 ^I ±0.39	485.11 ^l ±2.52	37.97 ^{GHIJKL} ±0.94
		20	29.51 ^S ±0.41	34.98 ^{LM} ±0.08	660.34 ^b ±1.89	37.92 ^{FGHIJKL} ±0.81
		40	31.44 ^T ±0.20	36.39 ^{OP} ±0.52	689.58 ^a ±3.96	37.36 ^{FGHIJKL} ±2.12

ตารางที่ ๑.10 (ต่อ) ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต ปริมาณน้ำมัน และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Sample code	Sodium caseinate (% (w/w))	Oil (% v/w)	PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
DP 46 E	0	10	22.26 ^N ±0.27	29.59 ^H ±0.45	211.15 ^X ±3.00	45.27 ^{QRST} ±0.32
		20	24.28 ^P ±0.45	30.61 ^I ±0.37	320.76 ^H ±1.59	43.35 ^{OPQR} ±0.62
		40	25.53 ^Q ±0.29	31.11 ^J ±0.19	354.16 ^B ±1.00	40.40 ^{KLMNO} ±0.52
	0.5	10	19.24 ^J ±0.58	25.45 ^D ±0.51	236.23 ^V ±2.44	40.57 ^{KLMNO} ±0.97
		20	22.18 ^N ±0.43	27.31 ^F ±0.25	343.40 ^C ±3.81	39.35 ^{JKLMN} ±0.55
		40	22.23 ^N ±0.25	28.02 ^G ±0.10	385.32 ^X ±2.32	37.42 ^{FGHIJKL} ±0.34
	1	10	19.13 ^J ±0.24	25.27 ^{CD} ±0.25	260.06 ^Q ±1.00	38.14 ^{HIJKLM} ±0.15
		20	22.52 ^O ±0.46	27.29 ^F ±0.49	404.20 ^{UV} ±0.94	37.28 ^{GHIJKL} ±0.26
		40	22.20 ^N ±0.27	27.27 ^F ±0.39	430.69 ^r ±0.51	38.29 ^{HIJKLM} ±0.42
	2	10	19.20 ^J ±0.34	24.49 ^B ±0.23	330.61 ^E ±2.03	37.33 ^{FGHIJKL} ±0.33
		20	21.38 ^M ±0.36	26.32 ^E ±0.49	450.93 ^o ±2.11	36.43 ^{EF GH IJ} ±0.36
		40	22.20 ^N ±0.32	27.66 ^{FG} ±0.58	493.36 ^k ±2.49	35.43 ^{BCDEFGH} ±0.39
	3	10	18.05 ^I ±0.15	23.75 ^A ±0.60	371.29 ^z ±1.18	37.69 ^{FGHIJKL} ±0.12
		20	21.22 ^M ±0.27	25.67 ^{DE} ±0.26	503.20 ^j ±1.59	36.31 ^{DEFGHIJ} ±0.53
		40	22.18 ^N ±0.56	27.17 ^F ±0.08	552.14 ^f ±1.00	33.98 ^{ABCDE} ±0.10
	4	10	18.44 ^I ±0.45	23.27 ^A ±0.34	400.57 ^v ±2.91	34.97 ^{ABCDEFGH} ±0.82
		20	21.29 ^M ±0.37	25.33 ^{CD} ±0.39	584.87 ^e ±1.07	32.53 ^{xyzABC} ±0.48
		40	20.46 ^L ±0.10	26.25 ^E ±0.13	598.50 ^d ±1.23	31.66 ^{wxyzA} ±0.78
	6	10	18.09 ^I ±0.14	24.54 ^B ±0.42	450.71 ^o ±2.02	33.90 ^{ABCDE} ±0.35
		20	19.31 ^J ±0.32	23.18 ^A ±0.32	597.20 ^d ±2.15	32.85 ^{zABC} ±0.12
		40	20.00 ^K ±0.01	24.66 ^{BC} ±0.61	629.62 ^c ±1.85	31.73 ^{wxyzA} ±0.36

ตารางที่ ๑.10 (ต่อ) ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต ปริมาณน้ำมัน และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Sample code	Sodium caseinate (% w/w)	Oil (% v/w)	PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
0		10	8.53 ^{BC} ±0.45	12.83 ^{tu} ±0.17	187.91 ¹ ±1.81	35.78 ^{CDEFGHI} ±1.5
		20	9.31 ^E ±0.32	14.66 ^{vw} ±0.14	237.35 ^{UV} ±1.47	26.27 ^{pqrst} ±0.76
		40	11.40 ^H ±0.28	18.57 ^Z ±0.32	260.45 ^Q ±2.00	21.20 ^{fg hijkl} ±1.06
0.5		10	6.93 ^{lmnopqrst} ±0.18	9.97 ^p ±0.89	196.49 ^Z ±2.76	27.78 ^{rstu} ±0.03
		20	8.18 ^{ZAB} ±0.09	11.59 ^f ±0.64	253.41 ^R ±3.08	23.41 ^{ijklmnop} ±0.28
		40	10.14 ^F ±0.23	15.23 ^{wx} ±0.80	300.23 ^K ±2.52	17.57 ^{abcd} ±1.67
1		10	6.89 ^{lmnopqrst} ±0.24	7.53 ^{ghij} ±0.53	249.33 ST ±3.00	24.25 ^{lmnopq} ±2.43
		20	7.76 ^{xyZA} ±0.16	11.13 ^{qr} ±0.43	289.66 ^{LM} ±0.96	22.77 ^{hijklmno} ±4.66
		40	9.78 ^F ±0.16	13.09 ^u ±0.85	335.44 ^D ±2.15	17.67 ^{abcde} ±5.09
DP 60	2	10	6.22 ^{cdefghij} ±0.27	6.80 ^{cdef} ±0.34	303.49 ^{JK} ±4.56	27.78 ^{rstu} ±2.27
		20	7.10 ^{opqrstuv} ±0.13	6.90 ^{cdefg} ±0.23	400.80 ^v ±0.37	15.46 ^a ±1.88
		40	8.84 ^{CD} ±0.14	9.59 ^p ±0.64	418.56 ^t ±2.82	15.71 ^a ±1.98
3		10	6.07 ^{abcdef} ±0.16	6.31 ^{abcd} ±0.20	357.11 ^B ±2.20	29.28 ^{tuwvx} ±0.72
		20	7.13 ^{opqrstuv} ±0.24	7.60 ^{hijk} ±0.14	368.13 ^{ZA} ±2.21	20.23 ^{defghi} ±0.60
		40	7.86 ^{yzA} ±0.14	8.32 ^{klmno} ±0.19	484.81 ^l ±4.28	17.10 ^{abcd} ±0.34
4		10	6.05 ^{abcde} ±0.04	6.50 ^{abcd} ±0.23	387.86 ^x ±2.56	29.50 ^{tuwvxy} ±0.24
		20	7.10 ^{opqrstuv} ±0.41	7.50 ^{ghij} ±0.18	400.41 ^v ±1.99	22.20 ^{ghijklmn} ±1.18
		40	7.78 ^{xyZA} ±0.28	8.36 ^{lmno} ±0.32	531.18 ^g ±1.80	19.15 ^{ab} ± 0.66
6		10	5.82 ^{abcd} ±0.35	6.51 ^{abcd} ±0.47	418.42 ^t ±0.32	29.51 ^a ± 0.54
		20	6.95 ^{lmnopqrst} ±0.27	7.41 ^{fghi} ±0.08	439.92 ^{pq} ±1.49	16.62 ^{ZABC} ±0.76
		40	7.74 ^{wxyz} ±0.19	8.64 ^{mno} ± 0.36	499.75 ^j ± 1.07	15.76 ^{wxyzA} ±0.99

ตารางที่ ๑.10 (ต่อ) ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต ปริมาณน้ำมัน และไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Sample code	Sodium caseinate (%(w/w))	Oil (%(v/w))	PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
0		10	8.59 ^{BC} ±0.48	11.22 ^{qr} ±0.11	137.80 ⁵ ±1.31	37.44 ^{FGHIJKL} ±0.52
		20	8.18 ^{zAB} ±0.17	13.42 ^u ±0.29	165.18 ³ ±4.73	32.05 ^{wxyzAB} ±0.73
		40	10.87 ^G ±0.15	16.48 ^y ±0.43	206.84 ^y ±2.36	25.94 ^{opqrs} ±1.27
0.5		10	6.65 ^{hijklmnop} ±0.31	9.64 ^p ±0.44	167.26 ³ ±4.36	33.07 ^{zABCD} ±3.15
		20	7.19 ^{pqrstuv} ±0.25	11.77 ^{rs} ±0.44	184.72 ¹ ±2.54	29.05 ^{stuvw} ±4.05
		40	9.12 ^{DE} ±0.23	15.70 ^v ±0.88	275.56 ^O ±4.36	19.25 ^{bcdefg} ±4.97
1		10	6.50 ^{ghijklm} ±0.09	6.86 ^{cdefg} ±0.42	186.73 ¹ ±2.64	28.64 ^{stuv} ±3.09
		20	7.01 ^{mnoqrst} ±0.22	8.91 ^o ±0.39	208.79 ^{XY} ±1.37	24.44 ^{mnopq} ±3.80
		40	8.40 ^{BC} ±0.24	11.50 ^f ±0.67	293.13 ^L ±2.68	18.53 ^{abcdef} ±1.48
DP 80	2	10	6.26 ^{cdefghij} ±0.40	6.36 ^{abcd} ±0.32	257.10 ^O ±2.01	30.22 ^{uvwxyz} ±1.15
		20	6.82 ^{klmnopqrs} ±0.10	7.44 ^{ghij} ±0.20	280.28 ^N ±0.54	18.32 ^{abcdef} ±5.41
		40	7.06 ^{vwxy} ±0.33	8.83 ^{no} ±0.16	354.29 ^B ±1.08	16.79 ^{abc} ±4.89
3		10	6.16 ^{cdefghij} ±0.32	6.68 ^{bcde} ±0.25	280.31 ^N ±2.96	32.71 ^{yzABC} ±1.73
		20	6.68 ^{ijklmnopq} ±0.26	7.03 ^{efgh} ±0.05	286.47 ^M ±1.96	20.63 ^{efghijk} ±1.16
		40	7.24 ^{rstuvw} ±0.27	8.37 ^{lmno} ±0.30	393.12 ^W ±0.99	19.94 ^{cdefgh} ±1.09
4		10	6.19 ^{cdefghij} ±0.15	6.50 ^{abcd} ±0.44	314.59 ^l ±0.96	33.00 ^{zABCD} ±1.38
		20	6.72 ^{klmnopqr} ±0.15	6.87 ^{cdefg} ±0.26	302.22 ^K ±1.01	24.43 ^{lmnopq} ±2.08
		40	7.12 ^{opqrstuv} ±0.18	8.10 ^{ijklmn} ±0.68	405.13 ^U ±0.53	24.65 ^{mnoqr} ±1.85
6		10	6.09 ^{abcdefg} ±0.36	6.57 ^{abcd} ±0.18	327.48 ^{EF} ±1.60	32.66 ^{yzABC} ±1.38
		20	6.66 ^{hijklmnop} ±0.18	6.73 ^{cde} ±0.24	314.53 ^l ±1.15	27.21 ^{qratu} ±0.85
		40	7.20 ^{pqrstuv} ±0.16	8.02 ^{ijklm} ±0.09	460.56 ⁿ ±0.69	20.54 ^{efghij} ±0.50

ตารางที่ ๑.10 (ต่อ) ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของอิมัลชันที่มีโซเดียมเคซีเนต ปริมาณน้ำมันและไฮโดรไลเสตมะม่วงที่มีสารประกอบเพกทินในระดับการย่อยสลายต่างๆ

Sample code	Sodium caseinate (% (w/w))	Oil (% v/w)	PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
0		10	8.27 ^{AB} ±0.12	10.06 ^P ±0.12	109.76 ⁸ ±1.31	39.33 ^{JKLMN} ±1.70
		20	7.79 ^{xyZA} ±0.25	14.81 ^{vw} ±0.15	124.92 ⁶ ±0.80	35.22 ^{BCDEFGH} ±0.88
		40	8.13 ^{zAB} ±0.30	15.84 ^{xy} ±1.90	176.34 ² ±2.18	32.68 ^{yzABC} ±1.37
0.5		10	6.31 ^{defghijk} ±0.12	8.73 ^{mno} ±0.48	118.37 ⁷ ±0.42	34.71 ^{ABCDEFG} ±0.36
		20	7.04 ^{mnpqrstu} ±0.12	12.31 st ±0.34	168.16 ³ ±2.54	31.70 ^{wxyzA} ±0.12
		40	7.58 ^{uvwxy} ±0.28	14.16 ^v ±0.12	260.22 ^Q ±0.67	24.23 ^{lmnopq} ±0.79
1		10	6.51 ^{fghijklm} ±0.18	6.92 ^{cdefg} ±0.15	142.46 ⁴ ±1.05	32.29 ^{wxyzAB} ±4.54
		20	6.91 ^{lmnopqrst} ±0.18	9.91 ^p ±0.08	166.25 ³ ±3.61	30.40 ^{wxyzA} ±2.39
		40	7.31 ^{stuvwxy} ±0.12	10.77 ^q ±0.18	280.23 ^N ±1.53	23.54 ^{ijklmnop} ±1.51
DP 95	2	10	5.94 ^{abcde} ±0.30	5.94 ^{ab} ±0.15	196.04 ^Z ±2.00	32.32 ^{ABCDE} ±1.37
		20	6.54 ^{fghijklmn} ±0.32	6.99 ^{defg} ±0.16	221.58 ^W ±1.77	21.87 ^{ghijklm} ±1.06
		40	7.40 ^{tuvwxy} ±0.17	8.19 ^{ijklmno} ±0.18	306.40 ^J ±1.89	18.02 ^{abcdef} ±3.63
3		10	5.76 ^{abc} ±0.41	5.83 ^a ±0.12	200.10 ^W ±1.05	34.60 ^{ABCDEF} ±0.56
		20	6.44 ^{efghijkl} ±0.36	6.54 ^{abcd} ±0.24	240.29 ^U ±0.62	23.83 ^{klmnop} ±0.83
		40	7.23 ^{qrstuvw} ±0.22	8.39 ^{lmno} ±0.51	323.48 ^{GH} ±2.25	22.02 ^{ghijklmn} ±0.96
4		10	5.62 ^{ab} ±0.21	5.84 ^a ±0.12	252.72 ^{RS} ±0.88	34.03 ^{ABCDE} ±0.57
		20	6.26 ^{cdefghij} ±0.10	6.60 ^{abcd} ±0.24	290.06 ^{LM} ±2.79	27.20 ^{qrst} ±0.85
		40	7.07 ^{nopqrstuv} ±0.20	7.97 ^{ijklm} ±0.15	378.21 ^y ±1.27	25.20 ^{nopqr} ±0.69
6		10	5.60 ^a ±0.29	5.89 ^a ±0.12	278.29 ^{NO} ±2.28	33.10 ^{aABCD} ±0.88
		20	6.31 ^{bcddefgh} ±0.09	6.20 ^{abc} ±0.31	312.17 ^l ±1.37	29.50 ^{tuvwxy} ±0.38
		40	6.63 ^{ghijklmno} ±0.20	7.83 ^{ijkl} ±0.16	437.39 ^q ±2.08	28.60 ^{stuv} ±0.46

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน และอักษรตัวใหญ่เล็กมีความหมายแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.11 ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของน้ำกะทิที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ

Sample code	PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
DP 46	15.19 ^e ±0.30	20.44 ^e ±0.28	436.80 ^a ±4.57	35.18 ^d ±1.03
DP 46E	13.36 ^d ±0.22	19.46 ^d ±0.23	424.98 ^b ±4.29	31.97 ^c ±1.89
DP 60	10.41 ^b ±0.42	13.43 ^b ±0.36	388.60 ^c ±6.58	23.64 ^b ±0.82
DP 80	9.45 ^a ±0.22	11.53 ^a ±0.46	372.88 ^d ±1.53	21.01 ^a ±1.56
DP 95	12.69 ^c ±0.14	15.51 ^c ±0.33	352.67 ^e ±1.76	31.98 ^c ±1.91

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.12 ขนาดอนุภาคที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 (PS₍₁₎) และ 30 วัน (PS₍₃₀₎) ความหนืด (V) และการแยกชั้น (SP) ของน้ำนมที่มีไฮโดรไลเสตมะม่วงที่ระดับการย่อยสลายสารประกอบเพกทินต่างๆ

Sample code	PS ₍₁₎	PS ₍₃₀₎	V	SP
DP 46	10.19 ^e ±0.30	14.26 ^e ±0.21	382.57 ^a ±1.78	50.25 ^c ±1.59
DP 46E	8.43 ^c ±0.10	11.23 ^c ±0.09	358.56 ^b ±2.99	49.59 ^{bc} ±2.21
DP 60	6.39 ^a ±0.23	8.25 ^a ±0.24	283.77 ^c ±2.31	38.63 ^a ±3.18
DP 80	7.16 ^b ±0.13	10.50 ^b ±0.16	217.55 ^d ±3.12	42.75 ^b ±2.92
DP 95	9.34 ^d ±0.15	12.32 ^d ±0.28	167.45 ^e ±1.67	49.08 ^c ±2.12

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าตัวเลขในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความหมายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเกวลี ครุณาสวัสดิ์ เกิดวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดนครปฐม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549

รายการสิ่งตีพิมพ์และเผยแพร่

1. เกวลี ครุณาสวัสดิ์ และ ปราณี อานเป็รื่อง. 2551. ผลของความเข้มข้นของน้ำมัน และโปรตีนต่อเสถียรภาพของอิมัลชันจากไฮโดรไลเสตมะม่วงน้ำดอกไม้ว. ใน การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 2 (ภาคบรรยาย). วันที่ 21 สิงหาคม 2551 ณ โรงแรม เดอะทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร.