

การผลิตน้ำกระท้อน *Sandoricum indicum* Cav.เข้มข้น  
และน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดี



นางสาวนิภาพร เส็งคำปาน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-3155-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF CONCENTRATED SANTOL *Sandoricum indicum* Cav. JUICE  
AND SANTOL JUICE SUPPLEMENTED WITH CALCIUM AND VITAMIN D



Miss Nipaporn Sengkhampan

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-3155-8



นิภาพร เล็งคำปาน : การผลิตน้ำกระท้อน *Sandoricum indicum* Cav. เข้มข้นและ  
น้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดี. (PRODUCTION OF CONCENTRATED

SANTOL *Sandoricum indicum* Cav. JUICE AND SANTOL JUICE

SUPPLEMENTED WITH CALCIUM AND VITAMIN D) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. พันธิพา

จันทวัฒน์, 130 หน้า. ISBN 974-17-3155-8

งานวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษากระบวนการผลิตน้ำกระท้อนเข้มข้นและน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดี โดยใช้กระท้อนพันธุ์ *Sandoricum indicum* Cav. ในขั้นต้นได้ศึกษากระบวนการเตรียมวัตถุดิบในการผลิต โดยแปรเวลาในการให้ความร้อนเนื้อกระท้อนด้วยไอน้ำเป็น 1 3 5 7 และ 9 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ต่อมาศึกษาภาวะการสกัดน้ำกระท้อน โดยแปรเวลาในการบีบอัดกากกระท้อนที่ได้จากเครื่องคั้นน้ำแบบแยกกากด้วยเครื่อง hydraulic press ที่ความดัน 100 psi เป็น 9 12 และ 15 นาที พิจารณาเลือกภาวะที่ให้ผลผลิตน้ำกระท้อนสูงสุด ต่อมาศึกษาภาวะในการให้ความร้อนที่เหมาะสมสำหรับการยับยั้งเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) โดยแปรอุณหภูมิและเวลาเป็น 70-90 °C และ 60-120 วินาที เลือกภาวะที่เหมาะสมโดยพิจารณาจาก activity ของเอนไซม์และสี ( $L^*, a^*, b^*$ ) ต่อมาศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำกระท้อนเข้มข้นโดยแปรอุณหภูมิในการระเหยน้ำที่ความดัน 50 mbar เป็น 60 70 และ 80 °C เลือกภาวะที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากสีและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำกระท้อนเข้มข้นเปรียบเทียบกับน้ำกระท้อนก่อนระเหย จากนั้นศึกษาวิธีการรักษาเสถียรภาพความขุ่นของน้ำกระท้อนจากน้ำกระท้อนเข้มข้น โดย homogenize ที่ 1000 psi หรือเติม xanthan gum 0.1% w/v หรือ homogenize ที่ 1000 psi และเติม xanthan gum 0.1%w/v เลือกวิธีการที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากความคงตัวของความขุ่นและคุณภาพทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับน้ำกระท้อนควบคุม แล้วจึงเสริมแคลเซียมโดยแปรปริมาณแคลเซียมจาก calcium lactate gluconate เป็น 120 160 และ 200 mg/100 ml และเสริมวิตามินดีสาม 1.14  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  เลือกปริมาณแคลเซียมที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับน้ำกระท้อนที่ไม่ได้เติม สุดท้ายศึกษาอายุการเก็บของน้ำกระท้อนเข้มข้นในขวดแก้วใส โดยเก็บที่ 10 27 35 และ 55 °C และทำนายอายุการเก็บที่ 0 °C และศึกษาอายุการเก็บน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดีในขวดแก้วใสเมื่อเก็บที่ 5 – 8 °C ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ 30 วัน

จากผลการทดลองพบว่าการเตรียมเนื้อกระท้อนเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมทำได้โดยให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 5 นาที สกัดน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำแบบแยกกากแล้วบีบอัดเป็นเวลา 12 นาที ภาวะในการให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ PME คือ 92 °C นาน 60 วินาที ซึ่งภาวะดังกล่าวจะให้ค่าความสว่าง( $L^*$ )ของน้ำกระท้อนในเกณฑ์ดี อุณหภูมิในการระเหยน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำกระท้อนเข้มข้นคือ 70 °C เนื่องจากมีคะแนนทางประสาทสัมผัส นอกจากนี้ยังมีผลต่อสีของน้ำกระท้อนจากน้ำกระท้อนเข้มข้นเมื่อเทียบกับน้ำกระท้อนก่อนระเหยและมีคะแนนทางประสาทสัมผัสสูงสุดเมื่อเทียบกับน้ำกระท้อนจากน้ำกระท้อนเข้มข้นทุกอุณหภูมิ วิธีการรักษาเสถียรภาพความขุ่นที่ดีที่สุดคือการเติม xanthan gum 0.1%w/v ซึ่งวิธีดังกล่าวมีคะแนนทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดีและรักษาความขุ่นของผลิตภัณฑ์ได้นาน 30 วัน ปริมาณแคลเซียมที่เสริมลงในผลิตภัณฑ์ได้อยู่ในระดับ 160 mg/100 ml โดยที่ปริมาณดังกล่าวนี้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดี น้ำกระท้อนเข้มข้นบรรจุในขวดแก้วมีอายุการเก็บอย่างน้อย 30 วันที่ 10 °C และมีอายุการเก็บ 18 12 และ 6 วันเมื่อเก็บที่ 27 35 และ 55 °C ตามลำดับ และทำนายอายุการเก็บที่ 0 °C ได้เป็น 58 วัน น้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดีในขวดแก้วมีอายุการเก็บอย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยยังมีคุณภาพทางเคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

ภาควิชา ...เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา...เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2545..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4272322223: MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORD: CONCENTRATED SANTOL JUICE / CALCIUM AND VITAMIN D / SUPPLEMENTED  
SANTOL JUICE

NIPAPORN SENGKHAMPARN : PRODUCTION OF CONCENTRATED SANTOL  
*Sandoricum indicum* Cav. JUICE AND SANTOL JUICE SUPPLEMENTED WITH  
CALCIUM AND VITAMIN D. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PANTIPA  
JANTAWAT, Ph.D. 130 pp.

This study focused on the production of concentrated santol *Sandoricum indicum* Cav. juice and santol juice supplemented with calcium and vitamin D. The steam blanching time of, 1, 3, 5, 7 and 9 minutes were studied for inactivating polyphenol oxidase (PPO). Later, the three levels of the pressed time, 9, 12 and 15 minutes at 100 psi by hydraulic press were studied and the best time selected by determining maximum yield. Later, the heating condition, 70 – 90 °C for 60 – 120 seconds were used for inactivating pectin methylesterase (PME) and the optimum condition selected by determining PME activity and color ( $L^*$ ,  $+a^*$ ,  $+b^*$ ) of the santol juice. Then, the optimum concentrated temperatures of, 60, 70 and 80 °C at 50 mbar were studied and the best temperature selected by comparing color and sensory quality of the resulting concentrated juice with those of the original santol juice. Then, the cloud stabilization method, comprising homogenization at 1000 psi, xanthan gum at 0.1 %w/v, homogenizing at 1000 psi in combination with xanthan gum at 0.1 %w/v, were studied. The best method was selected by comparing cloud stability and sensory quality of the product with that of the control santol juice. Then, supplementation of the juice with calcium lactate gluconate at 120, 160 and 200 mg calcium/100 ml and vitamin D<sub>3</sub> at 1.14 µg/100 ml was carried out and the best concentration selected via physical and sensory quality of the supplemented juice. Finally, storage stability of the concentrated santol juice, at 10, 27, 35 and 55 °C was studied and the shelf – life predicted at 0 °C. The storage stability of the santol juice supplemented with calcium and vitamin D<sub>3</sub>, at 5 – 8 °C, was later studied.

The results showed that the optimum steam blanching time was 5 minutes and the highest quantity of santol juice was obtained by using automatic juice extractor, followed by pressing with hydraulic press for 12 minutes. The optimum heating condition found for inactivating PME was 92 °C at 60 seconds. The best concentrating temperature which provided the product with a good color and sensory quality was 70 °C. The best cloud stability method selected was incorporation of 0.1 % w/v xanthan gum, with this method, the product had a good sensory quality and not seperated for 30 days. The final santol juice supplemented with 160 mg /100 ml of calcium and vitamin D<sub>3</sub> at 1.14 µg/100 ml was highly accepted by the trained sensory panelists. The concentrated santol juice could be stored in glass bottle at 10 °C for at least 30 days, 27 °C for 18 days, 35 °C for 12 days and 55 °C for 6 days and the shelf – life predicted at 0 °C was 58 days. Santol juice supplemented with calcium and vitamin D could be stored in glass bottle for at least 4 weeks at 5 – 8 °C, at the end of the storage period, the chemical, microbiological and sensory qualities of product were still being acceptable.

Department...Food Technology..... Student's signature .....

Field of study...Food technology ..... Advisor's signature .....

Academic year.....2002..... Co-Advisor's signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยกราบขอพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พันธิพา จันทวัฒน์ อาจารย์ที่  
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ในงานวิจัยนี้ ตลอดจนแก้ไข  
วิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

กราบขอพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ชินประชาษฐ์ รองศาสตราจารย์  
ดร.สุวรรณา สุภิมารส และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ ที่กรุณาสละเวลาเป็น  
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนเงินทุน  
เพื่อใช้ในการวิจัยนี้

ขอบคุณห้างหุ้นส่วนจำกัด นิวทรีชั่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ calcium  
gluconolactate และบริษัท Roche จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วิตามินดีสาม

ขอบคุณ เจ้าหน้าที่ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเฉพาะ คุณอริชิต ชื่นชูจิตต์ สำหรับความร่วมมือ  
กำลังใจและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยกราบขอพระคุณ นางนิรบล เจริญดี มารดา นายพัตร และนาง  
น้อย ยศนันท์ บิดา-มารดาบุญธรรม ที่สนับสนุนในด้านการเงิน กำลังใจ คำแนะนำและให้ความ  
ช่วยเหลือทุกด้านแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิภาพร เติ้งคำปาน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
บทนำ.....	1
วารสารปริทัศน์.....	3
การทดลอง.....	20
ผลการทดลอง.....	30
วิจารณ์ผลการทดลอง.....	68
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	94
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	130

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	25
แผนการทดลองสำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาโดย RSM.....	
4.1	30
ผลการตรวจสอบ activity ของเอนไซม์ PPO ในน้ำกระท้อนที่สกัดจากเนื้อกระท้อนที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 1 3 5 7 และ 9 นาที.....	
4.2	31
ผลผลิตของน้ำกระท้อนทั้งหมดที่สกัดได้จากเครื่องคั้นน้ำแบบแยกกากและเครื่อง hydraulic press ที่ความดัน 100 psi เป็นเวลา 9 12 และ 15 นาที .....	
4.3	32
องค์ประกอบ สมบัติทางเคมีและสมบัติกายภาพของน้ำกระท้อน.....	
4.4	42
ค่าสีของน้ำกระท้อนเข้มข้นที่ได้จากการระเหยน้ำที่ความดัน $50 \pm 5$ mbar อุณหภูมิ 60 70 และ $80^{\circ}\text{C}$ .....	
4.5	43
ค่าสีของน้ำกระท้อนก่อนระเหย และ น้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน $50 \pm 5$ mbar อุณหภูมิ 60 70 และ $80^{\circ}\text{C}$ .....	
4.6	44
ค่าความคงตัวของความขุ่นของน้ำกระท้อนก่อนระเหย และ น้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน $50 \pm 5$ mbar อุณหภูมิ 60 70 และ $80^{\circ}\text{C}$ เมื่อเก็บที่ $5 - 8^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งแสดงโดยค่าการดูดกลืนแสง.....	
4.7	50
ปริมาตรของขนาดอนุภาคในน้ำกระท้อนตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระท้อน homogenization (H) น้ำกระท้อนเติม xanthan gum (X) และน้ำกระท้อน homogenization - xanthan gum (HX).....	
4.8	55
ปริมาณแคลเซียมและวิตามินดีที่ตรวจพบในน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 $\mu\text{g}$ /100 ml .....	
4.9	55
ค่า pH และความหนืดของน้ำกระท้อนที่เติมแคลเซียมเป็น 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 $\mu\text{g}$ /100 .....	



## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9	ค่าสีของน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียมเป็น 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml .....56
4.11	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราของน้ำกระท้อนเข้มข้นเมื่อเก็บที่ 10 27 35 และ 55 °C.....60
4.12	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml เมื่อเก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....63
4.13	ค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด ของแข็งที่ละลายได้ และเพคตินใน น้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml เมื่อเก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์..... 64
4.14	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และแคลเซียมที่ตรวจพบ ในน้ำกระท้อน เสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml เมื่อเก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....64
4.15	ค่าสีของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml เมื่อเก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....65

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.1 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อ activity ของเอนไซม์ PME ในน้ำกระท้อน.....	33
4.2 contour plot ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อ activity ของเอนไซม์ PME ในน้ำกระท้อน.....	34
4.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อ ค่าความสว่าง(L*)ของน้ำกระท้อน.....	36
4.4 contour plot ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อ ค่าความสว่าง(L*)ของน้ำกระท้อน.....	37
4.5 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อค่าสีแดง (a*) ของน้ำกระท้อน.....	38
4.6 contour plot ความสัมพันธ์อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน ต่อค่าสีแดง (a*) ของน้ำกระท้อน.....	39
4.7 การซ้อน coutour plot ที่แสดงภาวะที่ activity ของเอนไซม์ PME มีค่าเป็น 0 กับ coutour plot ของค่าความสว่าง ของน้ำกระท้อน.....	41
4.8 ปริมาณสารแขวนลอยของน้ำกระท้อนก่อนระเหย(control) และน้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้น ที่ความดัน $50 \pm 5$ mbar อุณหภูมิ 60 70 และ $80^{\circ}\text{C}$ เมื่อเก็บที่ $5 - 8^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 วัน.....	45
4.9 คะแนนทางประสาทสัมผัสของน้ำกระท้อนเข้มข้นที่ได้จากการระเหยน้ำ ที่ความดัน $50 \pm 5$ mbar อุณหภูมิ 60 70 และ $80^{\circ}\text{C}$ (เฉพาะคะแนนกลิ่นแปลกปลอม 10 หมายถึง ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม).....	46
4.10 คะแนนทางประสาทสัมผัสของน้ำกระท้อนก่อนระเหย และ น้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน $50 \pm 5$ mbar อุณหภูมิ 60 70 และ $80^{\circ}\text{C}$ (เฉพาะคะแนนกลิ่นแปลกปลอม 10 หมายถึง ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม).....	47

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11	การกระจายของขนาดอนุภาคของน้ำกระท้อนตัวอย่าง ควบคุม (C) น้ำกระท้อน homogenization (H) น้ำกระท้อนเติม xanthan gum (X) และน้ำกระท้อน homogenization – xanthan gum (HX) .....49
4.12	ปริมาณสารแขวนลอยของตัวอย่างควบคุม(C)น้ำกระท้อน homogenization (H)น้ำกระท้อนเติม xanthan gum (X) และ น้ำกระท้อน homogenization - xanthan gum (HX) เมื่อเก็บที่ 5- 8 °C เป็นเวลา 30 วัน.....51
4.13	ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระท้อน homogenization (H) น้ำกระท้อนเติม xanthan gum (X) และ น้ำกระท้อน homogenization – xanthan gum (HX) เมื่อเก็บที่ 5 - 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....52
4.14	คะแนนทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างควบคุม (C ) น้ำกระท้อน homogenization (H) น้ำกระท้อนที่เติม xanthan gum (X) และน้ำกระท้อน homogenization – xanthan gum (HX) (เฉพาะคะแนนกลิ่นแปลกปลอม 10 หมายถึงไม่มีกลิ่นแปลกปลอม).....53
4.15	ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml เมื่อเก็บที่ 5 - 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ .....57
4.16	ปริมาณสารแขวนลอยของน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml เก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 30 วัน..... 58
4.17	คะแนนทางประสาทสัมผัสของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml (เฉพาะคะแนนกลิ่นแปลกปลอม 10 หมายถึงไม่มีกลิ่นแปลกปลอม).....59
4.18	ค่าความสว่างของน้ำกระท้อนเข้มข้นเมื่อเก็บที่ 10 27 35 และ 55 °C เป็นเวลา 30 วัน.....61
4.19	ค่าสีแดงของน้ำกระท้อนเข้มข้นเมื่อเก็บที่ 10 27 35 และ 55 °C เป็นเวลา 30 วัน.....61

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20	ค่าสีเหลืองของน้ำกระท้อนเข้มข้นเมื่อเก็บที่ 10 27 35 และ 55 °C เป็นเวลา 30 วัน.....62
4.21	คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีน้ำกระท้อนเข้มข้นเมื่อเก็บที่ 10 27 35 และ 55 °C เป็นเวลา 30 วัน (คะแนน 5 ถือเป็นคะแนนไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์).....62
4.22	คะแนนทางประสาทสัมผัสของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml เมื่อเก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (คะแนน 5 ถือเป็นคะแนนไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์).....66

## บทที่ 1

### บทนำ

แคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่พบมากในกระดูกและฟันและมีความสำคัญอย่างมากต่อร่างกาย เมื่อขาดแคลเซียมร่างกายจะดึงแคลเซียมจากกระดูกมาใช้เป็นผลให้กระดูกอ่อนเปราะและอาจเป็นโรคกระดูกพรุน (osteoporosis) ได้ ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมแคลเซียมในอาหารมีด้วยกันหลายปัจจัย ได้แก่ ความต้องการของร่างกาย ฮอร์โมน parathyroid ฮอร์โมน calcitonin วิตามินดี อัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหาร องค์ประกอบในอาหาร (ปริมาณโปรตีน กรดไขมันอิ่มตัว ปริมาณน้ำตาล กรด phytic กรด oxalic และ dietary fiber) ยา และปัจจัยอื่นๆ เช่น การขาดการออกกำลังกาย ความเป็นกรดต่างในกระเพาะอาหาร โดยวิตามินดีเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีผลให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้ดี (Ensminger et al., 1994a) แหล่งอาหารที่มีแคลเซียมมาก ได้แก่ นม และผลิตภัณฑ์จากนม แต่ผู้บริโภคบางกลุ่มไม่สามารถดื่มนมได้ เนื่องจากร่างกายมีเอนไซม์ lactase อยู่ น้อยหรือไม่มีเลย ซึ่งจะเกิดอาการท้องเสียหลังจากที่ร่างกายรับ lactose ภายในระยะเวลา 2 – 6 ชั่วโมง เรียกอาการนี้ว่า lactose intolerance (Ensminger et al., 1994b) ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะเสริมแคลเซียมและวิตามินดีในน้ำผลไม้เพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค ซึ่งนอกจากผู้บริโภคจะได้รับเส้นใยอาหาร วิตามิน และเกลือแร่ที่มีในน้ำผลไม้แล้วยังได้รับแคลเซียมและวิตามินดีซึ่งช่วยในการดูดซึมแคลเซียมอีกด้วย

กระท้อนหรือสะท้อนเป็นผลไม้พื้นเมืองที่มีการเพาะปลูกมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย เวียดนาม รวมถึงประเทศไทยด้วย เนื่องจากต้นกระท้อนมีลักษณะที่พิเศษคือ ทนลมและความแห้งแล้งได้เป็นอย่างดี เติบโตได้ในดินเกือบทุกประเภท และมีปัญหาในเรื่องศัตรูพืชน้อย จึงมีการปลูกในหลายพื้นที่ของประเทศไทย(กองบรรณาธิการเฉพาะกิจ สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, 2541) อย่างไรก็ตามกระท้อนเป็นไม้ผลที่ผลิตออกสู่ตลาดเฉพาะฤดูกาลและเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นการแปรรูปผลกระท้อนเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น กระท้อนแช่อิ่ม กระท้อนกวน จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ยืดอายุการเก็บรักษาและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากผลิตภัณฑ์ที่กล่าวมาแล้วน้ำกระท้อนอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้บริโภคที่นิยมรับประทานกระท้อนและชอบดื่มน้ำผลไม้ อีกทั้งเป็นการเพิ่มความแปลกใหม่ให้กับตลาดน้ำผลไม้ได้อีกด้วย แต่น้ำผลไม้ส่วนใหญ่มีอายุการเก็บสั้น ดังนั้นเพื่อให้เก็บรักษาได้เป็นเวลานานจึงทำน้ำผลไม้ให้เข้มข้น ซึ่งเป็นการนำน้ำผลไม้ 100 % ไประเหยน้ำออกบางส่วนจนมีความเข้มข้นอย่างน้อย 2 เท่า และเมื่อดื่มต้องมีการเจือจางด้วยน้ำก่อน การทำให้

เข้มข้นยังช่วยลดน้ำหนัก ประหยัดภาวะบวกรู และต้นทุนในการขนส่งอีกด้วย (Cruess, 1958; Woodroof and Luh, 1975)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตน้ำกระทอนเข้มข้น รวมถึงการนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพด้วยการเสริมแคลเซียมและวิตามินดีในน้ำกระทอนที่ได้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

#### กระท้อน

กระท้อนหรือสะท้อนมีชื่อสามัญว่า santol ลักษณะของต้นกระท้อนมีการเจริญเติบโตแตกกิ่งก้านสาขาเป็นทรงพุ่ม ตั้งแต่ขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ รากของต้นกระท้อนมีความยาวมากโดยต้นที่มีอายุมากอาจยาวถึง 5 - 8 m ดอกกระท้อนเป็นดอกสมบูรณ์เพศ เมื่อบานมีสีเหลืองอ่อน การออกดอกในแต่ละต้นมักเกิดพร้อมกัน ในระยะเวลาเพียง 7 - 10 วัน ดอกจะออกได้หมดทั้งต้น และให้ผลที่เก็บเกี่ยวได้หลังจากที่มีการออกดอกประมาณ 6 - 7 เดือน โดยเดือนที่มีกระท้อนออกมากที่สุดคือเมษายน - กันยายน (วัชชัย รัตนชเลศ และ ศิวาพร ธรรมดี, 2542) ผลของกระท้อนแต่ละพันธุ์ มีรูปร่างและสีของผลแตกต่างกัน แต่ลักษณะภายนอกโดยรวมของผลคล้ายคลึงกัน คือผลใกล้สุกสีจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองหรือน้ำตาลอ่อนอย่างเห็นได้ชัด บริเวณผิวผลหยาบและมีรอยย่นตามแนวยาวของผล ลักษณะภายในของผลมีเนื้อมากหนาประมาณ 1/2 - 1 1/2 cm และเนื้อในมีลักษณะเป็นปุยสีขาวแบ่งออกเป็นพู มี 3 - 5 พู ต่อผล โดยในแต่ละพูมีเมล็ดอยู่หนึ่งเมล็ด รสชาติมีตั้งแต่รสเปรี้ยวจนถึงรสหวานขึ้นกับพันธุ์ของกระท้อน (กองบรรณาธิการเฉพาะกิจ สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, 2541)

การจำแนกพันธุ์กระท้อนโดยอาศัยคุณภาพของผลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พันธุ์คือ กระท้อนป่า (*Sandoricum koetjape Merr.*) และกระท้อนหวาน (*Sandoricum indicum Cav.*) กระท้อนป่าหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กระท้อนเปรี้ยว เป็นกระท้อนพันธุ์พื้นเมืองที่มีอยู่ทั่วไปในทุกภาคของประเทศไทย ลำต้นสูงใหญ่แตกกิ่งก้านสาขาเป็นทรงพุ่มหนาแน่น มีรสฝาดและเปรี้ยว มักพบเจริญเติบโตในป่าส่วนใหญ่และไม่นิยมรับประทานผล สำหรับกระท้อนหวานหรือกระท้อนห่อเป็นกระท้อนที่ชาวสวนนิยมปลูก ผลมีขนาดใหญ่ เมื่อแก่ใกล้สุกพร้อมที่จะเก็บเปลือกจะมีสีเหลืองเข้มหรือน้ำตาล เปลือกบางมากลักษณะเนื้อมากนุ่มและมีรสหวาน เนื้อในมีลักษณะเป็นปุยฟูสีขาว ในผลหนึ่งมีเมล็ดประมาณ 5 เมล็ดและมีขนาดเล็กมาก (กองบรรณาธิการเฉพาะกิจ สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, 2541)

กระท้อนหวานที่ปลูกกันอยู่ในปัจจุบันมีหลายพันธุ์ พันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากเนื่องจากคุณภาพของผลดีและขายได้ราคาสูง ได้แก่ พันธุ์อีล่า และพันธุ์ปุ๋ยฝ้าย พันธุ์อีล่าให้ผลได้ถึง 150 - 200 ผลต่อต้น ลักษณะเนื้อภายในนุ่ม มีรสหวาน เนื้อปุยฟูสีขาว ส่วนพันธุ์ปุ๋ยฝ้ายมีผลทรงแบน

ขนาดใหญ่ บริเวณหัวผลแบน ผิวผลเนียนละเอียด รสหวานจัด เนื้อในมีปุยสีขาวคล้ายปุยฝ้าย มีขนาดผลใกล้เคียงกับพันธุ์อีล่า (กองบรรณาธิการเฉพาะกิจ สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, 2541)

โดยปกติกระท้อนนิยมรับประทานในลักษณะของผลสด หรือเมื่อเอาเมล็ดออกสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด อาทิ แยม เยลลี่ กระท้อนแช่อิ่ม กระท้อนกวน ในประเทศฟิลิปปินส์มีการปอกเปลือกกระท้อนด้วยวิธีทางเคมี โดยจุ่มผลกระท้อนในน้ำร้อนอย่างน้อย 2 นาที แล้วนำลงแช่ในสารละลายด่างที่อุณหภูมิ 93 °C เป็นเวลา 3 - 5 นาที ต่อมาจึงนำมาล้างด้วยน้ำเย็นแล้วแยกเปลือกออก (<http://newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/morton/santol.html>.) นอกจากนี้ยังยุทธ สารสมบัติ (2542) ได้ผลิตไวน์จากกระท้อน โดยใช้เอนไซม์ย่อยสารประกอบเพคติน ทำให้น้ำกระท้อนที่ได้มีลักษณะที่ใส เมื่อนำมาหมักและบ่มเป็นไวน์กระท้อนมีคุณภาพได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของไวน์ทั่วไป

### กระบวนการผลิตน้ำผลไม้

น้ำผลไม้ที่ดี คือน้ำผลไม้ที่ยังคงรักษากลิ่นรสและสีที่มีลักษณะเฉพาะของผลไม้ นั้นๆ ได้ หลังผ่านกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา กระบวนการผลิตน้ำผลไม้แบบชุ่นประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ การคัดเลือกและล้างผลไม้ การสกัดน้ำผลไม้ และการรักษาความชุ่นในน้ำผลไม้

#### การคัดเลือกและล้างผลไม้

เพื่อให้ได้น้ำผลไม้ที่มีคุณภาพสูง มีสี กลิ่น และรสชาติที่สม่ำเสมอ ผลไม้ที่ใช้ควรสุกพอดี ไม่มีตำหนิ ไม่เน่าเสีย (Cruess, 1958) การคัดเลือกผลไม้แบ่งเป็น 2 วิธีหลัก ได้แก่ การคัดขนาด และการคัดคุณภาพ การคัดขนาดมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อกระบวนการแปรรูปที่ขนาดผลต้องสม่ำเสมอเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างสม่ำเสมอ เกณฑ์ที่ใช้คัดขนาดได้แก่ น้ำหนัก รูปร่าง และขนาดของผล ซึ่งคัดได้โดยใช้ตะแกรงแบบต่างๆ การคัดคุณภาพเป็นการคัดเลือกตามคุณภาพของผลไม้โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ ได้แก่ สมบัติการสะท้อนแสงจากสีของผล ตำหนิต่างๆ และความถ่วงจำเพาะ (Brennan, Butters and Cowell, 1976; Rutledge, 2000) มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อมีอายุมากขึ้นความถ่วงจำเพาะจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เพราะมีการสะสมอาหารมากขึ้น เมื่อสุกเต็มที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.02 – 1.04 จึงสามารถใช้วิธีการลอยน้ำเพื่อคัดเลือกรมม่วงตามความแก่ก่อนได้ โดยผลลอยน้ำมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1.0 เป็นผลที่ยังอ่อน พวกที่จมในน้ำแต่ลอยในน้ำเกลือเข้มข้น 1.5 % w/w มีความแก่ (maturity) ระดับที่เมื่อนำไปบ่มสุกยังคงมีรสเปรี้ยวอยู่บ้าง พวกที่จมในน้ำเกลือ 1.5 % แต่ลอยในน้ำเกลือ 2.5 % แก่จัดขึ้น และพวกที่จมในน้ำเกลือ



2.5 % เป็นมะม่วงที่แก่จัดมากที่สุด (Rangana, 1978) การล้างผลไม้ช่วยกำจัดหรือลดสิ่งปนเปื้อน เช่น ฝุ่น สิ่งสกปรก ยาฆ่าแมลง ชิ้นส่วนของพืช รวมทั้งจุลินทรีย์ (Woodroof and Luh, 1975) นอกจากนี้ยังช่วยกำจัดไขที่เคลือบผิวผลไม้ได้บางส่วนด้วย (Kimball, 1999) การล้างผลไม้ทำได้หลายวิธี ได้แก่ การแช่ การล้างด้วยน้ำแบบพ่นฝอย และการล้างด้วยน้ำเคลื่อนไหว การแช่เป็นวิธีที่ใช้น้ำปริมาณมากและมีประสิทธิภาพต่ำ นิยมใช้ในการล้างขั้นต้นสำหรับผลไม้ที่มีความสกปรกมาก สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการล้างวิธีนี้ได้โดยการใส่ผงซักฟอก ใช้น้ำอุ่น หรือเติมสารเคมี เช่น คลอรีน ลงในน้ำแช่ (Woodroof and Luh, 1975) การล้างด้วยน้ำแบบพ่นฝอย เป็นวิธีที่นิยมและให้ผลดี ทำได้โดยนำผลไม้ผ่านการแช่น้ำมาผ่านใต้ละอองน้ำที่ฉีดจากหัวฉีดด้วยความดันประมาณ  $100 \text{ lb/in}^2$  ทำให้น้ำสัมผัสกับทุกซอกมุมของผลไม้ ประสิทธิภาพของการล้างขึ้นกับปริมาณน้ำที่ใช้ อุณหภูมิของน้ำ ระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับผลไม้ เวลาที่ใช้ และจำนวนหัวฉีด (Brennan et al., 1976) การล้างด้วยน้ำเคลื่อนไหวอาจทำโดยการตีใบพัด ใช้อากาศอัด หรือใช้คลื่นความถี่ตั้งแต่ 20 – 100 kHz ทำให้น้ำเกิดการเคลื่อนไหว ผลไม้ที่แช่น้ำเกิดการสั่นสะเทือนทำให้สิ่งปนเปื้อนที่ติดอยู่หลุดออกได้ (Woodroof and Luh, 1975) นอกจากนี้ยังสามารถล้างผลไม้ด้วยวิธีอื่นอีก คือการล้างโดยการฉีดน้ำร่วมกับหัวแปรงที่หมุนได้ (rotating brush) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กับผลไม้ตระกูลส้ม (Kimball, 1999)

### การสกัดน้ำผลไม้

ผลไม้แต่ละชนิดใช้วิธีการในการสกัดน้ำที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผลไม้และลักษณะของน้ำผลไม้ที่ต้องการ เช่น ชุนหรือไซ โดยทั่วไปการสกัดน้ำผลไม้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน คือการตีป่นและการคั้น (Cruess, 1958)

*การตีป่น* เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของผลไม้ หลังจากตีป่นจะได้ส่วนที่เป็นของเหลวและเนื้อผลไม้ ซึ่งสารอาหารและสารให้กลิ่นรสที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในส่วนที่เป็นของเหลว การตีป่นอาจทำได้โดยใช้เครื่องสับขนาดเล็ก หรือขนาดใหญ่ที่เรียก hammer mill ซึ่งนิยมใช้กับผลไม้ที่มีเนื้อนุ่ม เช่น สับปะรด แอปเปิล (Cruess, 1958) แต่การผลิตน้ำแอปเปิลโดยวิธีนี้ทำให้เมล็ดของแอปเปิลแตกและก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นรสของน้ำผลไม้ที่ได้ ในยุโรปจึงนิยมใช้ fixed knife mill ในการผลิตน้ำแอปเปิล อุปกรณ์ดังกล่าวนี้ประกอบด้วยถังที่หมุนได้ ภายในมี rotor 3 แขนติดตั้งใบมีดที่หมุนด้วยความเร็วสูงมีผลให้แอปเปิลภายในถังถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เนื้อแอปเปิลที่ลดขนาดแล้วจะลำเลียงผ่านตะแกรงเพื่อแยกกากที่ไม่ต้องการออก จากนั้นจึงนำไปบีบอัดต่อไป (Varnam and Sutberland, 1994)

*การคั้นน้ำผลไม้* เป็นการคั้นส่วนที่เป็นของเหลวออกจากส่วนของเนื้อผลไม้ที่ป็น ซึ่งมีอยู่หลายวิธีแต่มีหลักการในการทำงานเหมือนกันคือ ใช้แรงกดทับ หรือใช้เครื่องกดอัดแบบ hydraulic กับเนื้อผลไม้ที่ป็น และวิธีต่างๆ ที่ใช้มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามภาชนะที่บรรจุเนื้อผลไม้ และประเภทของแรงกดอัด (Crues, 1958) วิธีคั้นที่ใช้ในการผลิตน้ำแอปเปิลโดยทั่วไปคือ hydraulic cider press, pneumatic press, continuous screw-type press, continuous plate press, horizontal basket press และ screening centrifuge (Woodroof and Luh, 1975) สำหรับผลไม้ตระกูลส้มนิยมใช้เครื่องคั้นที่ออกแบบโดยเฉพาะ ซึ่งชนิดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ FMC cup extractor และ Brown reamers น้ำผลไม้ที่ได้จากการคั้นด้วยเครื่อง 2 ประเภทนี้มีคุณภาพด้านสี กลิ่น และรสชาติสูง (Kimball, 1999)

นอกจากวิธีที่กล่าวมาแล้วยังสามารถใช้เอนไซม์ในการสกัดน้ำผลไม้ได้ด้วย โดยใช้เอนไซม์ pectinase ย่อยเพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบในผลไม้ ทำให้ผลไม้มีผลให้การสกัดของเหลวทำได้ง่ายขึ้นและน้ำผลไม้ที่ได้ใส (Tressler and Joslyn, 1971) เอนไซม์ pectinase ที่ใช้ทางการค้าส่วนใหญ่ผลิตได้จากเชื้อรา *Aspergillus niger* และมักประกอบด้วยเอนไซม์ชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น cellulase, arabinase, galacturonase, protease, glycosidase, xylase, esterase และ oxidoreductase ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ pectinase (Pilnik and Rombouts, 1979) Sreekantiah, Jaleel และ Rao (1971) ศึกษาการใช้เอนไซม์ pectinolytic เข้มข้นที่ได้จาก *Aspergillus niger* 0.2 - 0.5 % โดยน้ำหนัก ในการสกัดน้ำจากกล้วย องุ่น แอปเปิล มะม่วง มะละกอ และขนุน โดยบ่มที่อุณหภูมิ 24 - 25 °C 3 - 8 ชั่วโมง ได้ น้ำผลไม้ 60 - 87 %, 85.5 - 91 %, 80 %, 92 %, 85 % และ 78 % w/w ตามลำดับ

#### การรักษาความขุ่นในน้ำผลไม้

องค์ประกอบและสารที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพความขุ่นและการตกตะกอนในน้ำผลไม้ โดยทั่วไปได้แก่ โปรตีน polysaccharides (เพคติน, cellulose, hemicellulose, แป้ง) น้ำตาล polyphenols และ metal ions น้ำผลไม้ที่มีค่า pH ต่ำกว่า isoelectric point (pI) ของโปรตีนในน้ำผลไม้มีผลทำให้โปรตีนมีประจุบวก และถูกล้อมรอบด้วยเพคตินที่มีประจุลบโดยผ่านทางพันธะ electrostatic นอกจากนี้โมเลกุลของน้ำตาล เช่น rhamnose, arabinose, glucose และ fructose ในสายโซ่กิ่งของเพคติน เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนได้ด้วยพันธะ hydrogen การเกิดพันธะระหว่างเพคติน โปรตีน และน้ำตาล มีผลช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบแขวนลอยในน้ำผลไม้ ทำให้เกิดลักษณะที่เรียกว่า cloud ซึ่งเป็นการแพร่กระจายของอนุภาคที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ อย่างสม่ำเสมอโดยไม่มีการแยกชั้น (Baker and Bruemmer, 1973; Klavons, Bennete and

Vannier, 1994) สำหรับสารประกอบ polyphenols เช่น tannin ไม่ได้มาจากตัวผลไม้เพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดจากการ polymerization ของสารประกอบ phenols โมเลกุลเล็ก หรือ สารประกอบ aldehydes ในภาวะที่มีออกซิเจนหรือความร้อน สารเหล่านี้เมื่อเกิดการเกาะติดกับ โปรตีน เพคติน และแป้ง มีผลให้เกิดการตกตะกอนได้ สำหรับ metal ion จะสร้างสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรกับสารประกอบ phenols และ aldehydes ทำให้เกิดการแยกชั้นขึ้น (Cheynier, Osse and Rigaud, 1988) การแยกชั้นของน้ำผลไม้ นอกจากให้ลักษณะที่ไม่ชวนบริโภคแล้ว ตะกอนที่แยกยังดูดซับสารให้กลิ่นและรสชาติ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ (Baker and Bruemmer, 1973) การแยกชั้นของน้ำผลไม้ไม่ได้เกิดได้จาก 2 สาเหตุสำคัญ คือ จากปฏิกิริยาของ เอนไซม์ย่อยเพคติน และจากสมบัติทางกายภาพที่สำคัญขององค์ประกอบของ cloud

ปฏิกิริยาของเอนไซม์ย่อยเพคติน เพคตินเป็นสารประกอบหลักของผนังเซลล์พืชชั้นแรก (primary cell wall) ซึ่งรวมตัวอยู่กับ cellulose ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน และพบในส่วนของ middle lamella ในพืชชั้นสูงด้วย สารประกอบเพคตินเป็นโพลีเมอร์สายยาวของกรด D-galacturonic ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glycosidic ที่ตำแหน่ง  $\beta$  (1  $\rightarrow$  4) โดยมีหมู่ carboxyl (-COOH) ในโมเลกุลของกรด galacturonic บางส่วน esterified อยู่กับหมู่ methyl ขณะที่บางส่วนยังคงเหลือเป็นหมู่อิสระอยู่ โดยปกติคำว่า เพคติน ใช้เรียกสายโพลีเมอร์ที่ esterified ด้วย methanol มากกว่า 50% ขณะที่กรด pectic หรือ pectate คือ สายโพลีเมอร์ที่ esterified ด้วย methanol อย่างน้อย 10 % แต่ถ้าสายโพลีเมอร์ esterified ไป 10 - 50 % สารที่ได้จัดเป็น low methoxyl pectin (Pilnik and Rombouts, 1979; DeMan, 1990) เอนไซม์ pectin methylesterase (PME) หรือ pectin esterase (PE) มีอยู่ตามธรรมชาติในผลไม้ทุกชนิด และผลิตได้จากเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิด โดยเอนไซม์จากเชื้อรามี optimum pH ประมาณ 4.5 ขณะที่เอนไซม์จากพืชและแบคทีเรียมี optimum pH มากกว่า 7.0 เอนไซม์ทุกชนิดเข้าทำปฏิกิริยากับสายเพคตินจากส่วน reducing end ของสายเพคติน หรือ โมเลกุลของกรด galacturonic ที่มีหมู่ carboxyl อิสระ ที่ถัดจาก reducing end (Pilnik and Rombouts, 1979) การตัดหมู่ methyl ออกจากโมเลกุลของเพคติน ทำให้เกิดหมู่ carboxyl อิสระ, methanol, low methoxyl pectin และกรด pectic ซึ่งทำปฏิกิริยากับ divalent cation เช่น แคลเซียมไอออน เกิดเป็น calcium pectate ที่ไม่ละลายน้ำแล้วตกตะกอนลงอย่างรวดเร็ว เนื้อเยื่อแขวนลอยที่เป็นองค์ประกอบของ cloud จึงตกตะกอนนอนกัน ทำให้ความหนืดของน้ำผลไม้ลดลง (Kertesz, 1951 ; Baker and Bruemmer, 1973; Pilnik and Rombouts, 1979; Yen, Lin and Yang, 1992) นอกจากนั้น calcium pectate ที่เกิดขึ้นจะเป็นเจลในระหว่างการทำให้เข้มข้นส่งผลให้การคืนรูปของน้ำผลไม้เข้มข้นเป็นไปได้ไม่สมบูรณ์อีกด้วย (Perera and Baldwin, 2001)

องค์ประกอบที่สำคัญของ *cloud* ได้แก่ ขนาดอนุภาค และความหนืดของส่วนของเหลว (serum) Kraft, Pecoroni and Gierschner (1997) กล่าวว่า การแยกชั้นของน้ำผลไม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น แต่ไม่มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงระหว่างกัน โดยปกติอนุภาค colloid มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาโดยอาศัย Brownian movement ที่เกิดจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มโดยขึ้นกับคุณสมบัติของโมเลกุล ส่งผลให้อนุภาคที่แขวนลอยมีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม ซึ่งอาจทำให้อนุภาคเข้ามาใกล้กันและรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ โดยเฉพาะถ้ามีแรงดึงดูดอื่นช่วยเสริม เช่น แรง Van der Waal's ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคมากกว่าแรงผลัก อนุภาคจึงรวมตัวกันได้ และเมื่ออนุภาคมีการรวมตัวกันใหญ่ขึ้นโอกาสที่จะตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วงของโลกจึงเกิดขึ้นได้ ส่งผลให้ Brownian movement ลดลงด้วย (DeMan, 1990) ความหนืดของ serum ได้รับอิทธิพลจากความหนาแน่นของอนุภาคองค์ประกอบในน้ำผลไม้และประจุของอนุภาค แต่องค์ประกอบในน้ำผลไม้และประจุของอนุภาคไม่มีผลโดยตรงกับการแยกชั้นของน้ำผลไม้ (Pecoroni et al., 1996; Kraft et al., 1997) โดยทั่วไปถ้าความหนาแน่นของน้ำผลไม้ต่ำกว่าความหนาแน่นของอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคในน้ำผลไม้ที่อยู่ใกล้กัน ส่งผลให้อนุภาคตกลงที่ก้นภาชนะตามแรงโน้มถ่วงของโลก การแยกชั้นของน้ำผลไม้จึงเพิ่มขึ้น (Genovese and Lozano, 2000) ซึ่งขนาดอนุภาคในน้ำผลไม้ที่เหมาะสมที่ทำให้ความขุ่นของน้ำผลไม้มีเสถียรภาพแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของผลไม้และพันธุ์ของผลไม้ที่นำมาใช้ เช่น น้ำส้มพันธุ์ Valencia ขนาดอนุภาคที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1 – 2  $\mu\text{m}$  (Baker and Cameron, 1999) ขณะที่น้ำแอปเปิ้ลควรมีขนาดอนุภาคไม่เกิน 4  $\mu\text{m}$  (Binnig and Possman, 1993)

การรักษาเสถียรภาพความขุ่นในน้ำผลไม้ทำได้หลายวิธี ได้แก่ การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยเพคติน การใช้เอนไซม์ การเติมสารที่ทำให้เกิดความคงตัวของความขุ่น และการใช้วิธีทางกล

*การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยเพคติน* ทำได้โดยการใช้พลังงานความร้อนและพบว่า ความเป็นกรด-ด่างมีผลกระทบโดยตรงกับคุณสมบัติและเวลาที่ใช้ Doseberg (1965) กล่าวว่า น้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูงยับยั้งเอนไซม์ PME ได้โดยใช้คุณสมบัติและเวลาในการให้ความร้อนต่ำกว่าน้ำผลไม้ที่มีค่า pH สูง และเมื่อใช้เวลาในการให้ความร้อนนานขึ้นจะใช้คุณสมบัติต่ำลงได้ โดยพบว่าในน้ำส้มที่มีค่า pH 3.8 ภาวะที่ใช้สำหรับการรักษาความเสถียรของความขุ่นเป็น 89 °C 2 นาที หรือ 94 °C 15 วินาที ขณะที่ pH 3.3 ใช้สภาวะ 85 °C 2 นาที หรือ 90 °C 15 วินาที เป็นต้น Vesterg et al. (1980) รายงานว่า เมื่อให้ความร้อนน้ำส้มที่ 90 °C 23 วินาที ลด activity ของเอนไซม์ PME ลงเหลือเพียง 10 % ของ activity เริ่มต้น ขณะที่ถ้าเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนเป็น 1 นาที activity ของเอนไซม์เหลือน้อยกว่า 5 % ของ activity เริ่มต้น

Kim, Tadini และ Singh (1999) รายงานภาวะที่เหมาะสม ในการพาสเจอร์ไรส์น้ำส้มคือ 80 °C 33.27 วินาที หรือ 90 °C 17.85 วินาที ซึ่งลด activity ของเอนไซม์ในน้ำส้ม ได้แก่ PME, primarily PME, PE ได้ถึง 90 % Uelgen และ Oesilgen (1993) นำ response surface methodology (RSM) มาใช้หาภาวะที่เหมาะสมในการพาสเจอร์ไรส์น้ำส้ม (RSM เป็นการวางแผนการทดลอง และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับค่าตอบสนองที่สนใจ - Mason, Gunst and Hess, 1986) พบว่า ภาวะที่เหมาะสมคือ 75 °C 12 นาที ที่ pH 2.7 เมื่อพิจารณาจากปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ และ activity ของเอนไซม์ PME

นอกจากพลังงานความร้อนแล้วยังมีกรรมวิธีอื่นที่ยับยั้ง PME ได้ อาทิ การเก็บรักษาผลไม้ที่อุณหภูมิเยือกแข็งซึ่ง PME ถูกยับยั้งได้ที่ -20 °C (Vesterg et al., 1980) Castaldo et al. (1991) ศึกษาการใช้ proteic inhibitor (glycoprotein ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 28,000 daltons) ของเอนไซม์ PME จากผลึกกีว ในน้ำส้มที่เตรียมโดยการผสมน้ำส้มสด (12 °Brix) ที่มี PME 0.8 unit/ml ลงในน้ำส้มเข้มข้น (42°Brix) ในปริมาณ 6.6 - 38 % พบว่ารักษาเสถียรภาพความขุ่นได้ไม่แตกต่างกับการพาสเจอร์ไรส์ Yen, Lin และ Yang (1996) รายงานว่าการใช้ความดันสูงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ยับยั้งเอนไซม์ในน้ำผลไม้ได้ อีกทั้งยังช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ไม่ต้องการเนื่องจากการใช้ความร้อนด้วย Goodner, Braddock และ Parish (1998) รายงานว่าการใช้ความดัน 700 MPa เป็นเวลา 1 นาที ทำให้ความขุ่นในน้ำส้มเสถียรได้นานถึง 90 วัน

*การใช้เอนไซม์* เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการรักษาเสถียรภาพความขุ่นในน้ำผลไม้ ได้แก่ กลุ่มของเอนไซม์ pectinase 2 กลุ่ม คือ pectinlyase (PL) และ polygalacturonase (PG) เอนไซม์ PL เร่งการสลาย glycosidic linkage ในโมเลกุลของเพคติน และเอนไซม์ PG เร่งการสลาย glycosidic linkage ในโมเลกุลของกรด pectic ที่เกิดจากการสลายพันธะของเอนไซม์ PE ได้เป็นโมเลกุลของกรด pectic ที่มีขนาดเล็กกลง และ/หรือกรด oligogalacturonic (Kilara,1982) ซึ่งการทำงานของเอนไซม์ PL และ PG เป็นผลให้ได้เพคตินและกรด pectic ที่ละลายน้ำได้ ทำให้รักษาเสถียรภาพของลักษณะ cloud ไว้ได้

*การใช้ thickening agents* Glicksman (1982) กับ Crandall, Methews และ Becker (1983) กล่าวว่า กัมและสารเพคตินชนิดต่างๆ ทำให้ความขุ่นในน้ำผลไม้มีเสถียรภาพจากการทำหน้าที่ 2 ประการคือ การเพิ่มความหนืดและการเชื่อมอนุภาคที่กระจายตัวในผลิตภัณฑ์และน้ำเข้าด้วยกัน เช่น alginate และเพคตินที่มีกลุ่ม methoxy ต่ำ เกิดพันธะ ionic กับเกลือ divalent ในน้ำผลไม้เกิดเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายกล่องบรรจุไข่ สำหรับคาราจีแนนนอกจากเกิดพันธะ ionic แล้วยังเกิดพันธะไฮโดรเจนด้วย ทำให้โครงสร้างที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็น helix 2 ชั้น (double helix) ทำให้อนุภาคต่างๆ ลอยตัวอยู่ได้ในน้ำผลไม้ (Lineback and Inglett, 1982)

Xanthan gum ซึ่งได้จากการหมักสารละลายกลูโคสด้วยเชื้อ *Xanthomonas campestris* เป็น heteropolysaccharide ที่มีน้ำตาล glucose mannose และกรด gluconic ในอัตราส่วน 2.8 : 3 : 2 xanthan gum นิยมใช้มากในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดทั้งที่เป็นระบบแขวนลอย และอิมัลชัน ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด เพิ่มความคงตัว และทำให้อนุภาคแขวนลอยได้ดี สมบัติพิเศษที่สำคัญของ xanthan gum คือ กระจายตัวและละลายได้ดีทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงแม้จะมีความเข้มข้นต่ำและทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ มีความคงตัวสูงต่อพลังงานความร้อนและ pH ค่าความหนืดของสารละลาย xanthan gum จะคงที่แม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงในช่วง 0 – 100° C หรือ pH เปลี่ยนแปลงในช่วง 1 – 13 นอกจากนี้สารละลาย xanthan gum ยังมีสมบัติเป็น pseudo-plastic ซึ่งมีความสำคัญต่อกลิ่น ลักษณะปรากฏ และความรู้สึกในปาก จากการที่ไม่เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายยาง (gummy) เมื่ออยู่ในปากทำให้รับกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้เร็วและสมบูรณ์ (Kovacs, 1977; Pettitt, 1978; Challen, 1994) Schuppner (1968) กล่าวว่า การใช้ xanthan gum ในน้ำผลไม้ในปริมาณต่ำช่วยให้เนื้อผลไม้กระจายตัวได้เป็นเวลานาน Heilscher (1995) กล่าวว่า การใช้ xanthan gum เข้มข้น 0.05 – 0.1 % w/w ช่วยรักษาเสถียรภาพความขุ่นในน้ำผลไม้ได้เป็นเวลานานหลายเดือน

*การใช้วิธีทางกล* ทำได้โดยแยกอนุภาคขนาดใหญ่ออกโดยการกรอง ลดขนาดของอนุภาคโดยใช้ homogenizer หรือ ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Carle, Juess and Fuesser, 1998) Binnig และ Possman (1993) กล่าวว่า อนุภาคของน้ำแอปเปิลควรมีขนาดไม่เกิน 4  $\mu\text{m}$  และส่วนใหญ่ควรอยู่ในช่วง 0.6 – 0.8  $\mu\text{m}$  การลดขนาดของอนุภาคให้มีขนาดต่ำกว่า 3  $\mu\text{m}$  ทำได้โดย colloid mill หรือ homogenizer หรือ แยกอนุภาคขนาดใหญ่โดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง Roy, Joshi และ Nath (1997) พบว่า การ homogenize มีผลในการลดขนาดอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ทำให้ความคงตัวของน้ำมะม่วงเพิ่มขึ้น Thakur, Singh และ Handa (1995) อธิบายว่า การ homogenize นอกจากมีผลในการลดขนาดของอนุภาคแล้วยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอนุภาคด้วยโดยเพิ่มลักษณะเส้นตรง (linearity) ของอนุภาค ทำให้พื้นที่ผิวของอนุภาคเพิ่มขึ้น และมีผลต่อโครงสร้างของเพคตินที่เชื่อมติดกับชั้น cellulose ของเซลล์ ทำให้มีสมบัติในการจับน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การ homogenize ยังเพิ่มปริมาตรของอนุภาคจากการฉีกขาดของเยื่อหุ้มเซลล์เป็นผลให้เซลล์ไม่รวมตัวกันแน่นเหมือนกับเซลล์ที่ได้ในระหว่างการคั้นน้ำ (intact cell) ปริมาตรของอนุภาคที่เกิดขึ้นจึงมากกว่า นอกจากการใช้ homogenizer แล้วการใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงก็รักษาเสถียรภาพความขุ่นได้ด้วย Genovese, Elustondo และ Lozano (1997) กล่าวว่า การหมุนเหวี่ยงที่ 4,200 x g 15 นาที ลดขนาดอนุภาคของน้ำแอปเปิลจาก 3 mm เป็น 1 mm มีผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 625 nm มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และเสถียรภาพความขุ่นเพิ่มมากขึ้น

## การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น

การทำให้เข้มข้นเป็นกระบวนการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหารเหลว เป็นผลให้สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นหรืออยู่ในลักษณะกึ่งแข็ง และค่า  $a_w$  ต่ำลงซึ่งเป็นหลักการสำคัญในการถนอมอาหาร (Fellows, 2000) นอกจากนี้การทำให้เข้มข้นยังช่วยประหยัดบรรจุภัณฑ์ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการขนส่งและเก็บรักษาอีกด้วย (Woodroof and Luh, 1975) การทำน้ำผลไม้ให้เข้มข้นเป็นการนำน้ำผลไม้แท้ไประเหยน้ำออกบางส่วน จนมีความเข้มข้นอย่างน้อย 2 เท่า เมื่อต้มต้องมีการเจือจางด้วยน้ำก่อน (Crues, 1958) วิธีการทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นทางการค้ามีอยู่หลายวิธี ได้แก่ การทำให้เข้มข้นโดยการระเหยที่ภาวะสูญญากาศ การทำให้เข้มข้นโดยการแช่แข็ง และการทำให้เข้มข้นโดยวิธี osmosis และ reverse osmosis

การทำให้เข้มข้นโดยการระเหยที่ภาวะสูญญากาศ เป็นการกำจัดน้ำออกโดยเปลี่ยนสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอ วิธีนี้ทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นได้ถึง 4 เท่า แต่ภาวะสูญญากาศและอุณหภูมิที่ใช้ทำให้เกิดการสูญเสียสารระเหยที่ให้กลิ่นรส วิตามิน และอาจเกิดการเปลี่ยนสีของน้ำผลไม้ด้วย อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในการระเหยถ้าไม่เกิน 100 °C จะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพน้อย (Woodroof and Luh, 1975 ; Deshpanda, Bolin and Salunkhe, 1982) วิธีทำให้เข้มข้นดังกล่าวนี้มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องมือและการดำเนินงานต่ำ ดูแลรักษาง่ายและระเหยน้ำจนได้ความเข้มข้นสูงตามต้องการของผู้ผลิตได้ จึงนิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม (Thijssen, 1970) การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยดัดแปลงเครื่องมือระเหยมีการศึกษาอย่างกว้างขวาง Ramteke et al. (1993) ศึกษาการทำน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีลักษณะขุ่น โดยใช้เครื่อง centrifugal evaporator น้ำผลไม้ถูกป้อนตามท่อตรงแกนกลางของเครื่อง และทำให้เกิด film บางๆ บนผิวแลกเปลี่ยนความร้อนโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หรือใช้ agitated thin film evaporator ที่ป้อนน้ำผลไม้ทางด้านบนของเครื่อง และอาศัยการกวนของใบพัดซึ่งอยู่ตรงแกนกลางของเครื่อง ทำให้น้ำผลไม้ไหลเป็นแผ่นบางเคลือบบริเวณพื้นผิวที่ให้ความร้อน ผู้วิจัยพบว่าทั้ง 2 วิธี ทำให้การระเหยน้ำเกิดได้เร็วมากขึ้น น้ำผลไม้มีความหนืดลดลง จึงช่วยลดการถูกทำลายของสารอินทรีย์จากความร้อน

Klavons, Bennete และ Vannier (1991) กล่าวว่า กระบวนการระเหยน้ำทำให้เกิด cloud ในน้ำผลไม้เข้มข้นและทำให้มีปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้นในน้ำผลไม้ที่เตรียมจากน้ำผลไม้เข้มข้น ปริมาณตะกอนที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดได้จาก 2 สาเหตุสำคัญคือ การเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำและการเกิด interaction ระหว่างโมเลกุลของเพคติน การเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำเกิดได้จาก 2 สาเหตุคือ การแปลงสภาพของโปรตีนจากความร้อน (heat denature) และการจับก้อนของโปรตีน (protein coagulation) ที่ละลายน้ำกับสารประกอบ

เชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ ส่งผลให้อนุภาคที่แขวนลอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และเกิดการตกตะกอนแยกชั้นเมื่อมีการคั้นรูปน้ำผลไม้เข้มข้น (Klavons and Bennett, 1985; Shomer, 1991; Shomer, 1988) Shomer (1991) อธิบายเพิ่มเติมว่า ระดับของการจับก้อนของโปรตีนเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระดับของการทำให้เข้มข้นเพิ่มมากขึ้น Epstein และ Mizrahi (1975) กล่าวว่า กระบวนการทำให้เข้มข้นส่งผลให้เกิดการเชื่อมระหว่างโมเลกุลของเพคตินด้วยพันธะ hydrogen ส่งผลให้มีปริมาณตะกอนมากขึ้น

การทำให้เข้มข้นโดยการแช่แข็ง เป็นวิธีที่ใช้อุณหภูมิต่ำทำให้น้ำบางส่วนในน้ำผลไม้เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง แล้วแยกน้ำแข็งเหล่านี้ออกโดยการหมุนเหวี่ยง วิธีนี้รักษากลิ่นรสเกือบทั้งหมดของน้ำผลไม้สดไว้ได้จากการไม่ใช้พลังงานความร้อน นอกจากนั้นการเปลี่ยนสีและสูญเสียคุณค่าทางอาหารยังเกิดขึ้นน้อยด้วย (Cruess, 1958) แต่วิธีนี้ใช้พลังงานค่อนข้างสูง ต้นทุนสูง ทำให้เข้มข้นได้สูงสุดเพียง 50 - 55 ° Brix และของแข็งในน้ำผลไม้สูญเสียได้มากโดยการเกาะติดไปกับผลึกน้ำแข็ง (Deshpanda et al., 1982)

การทำให้เข้มข้นโดยวิธี *osmosis* และ *reverse osmosis* *osmosis* เป็นกระบวนการที่น้ำจากสารละลายที่เจือจางกว่าไหลผ่านเยื่อ *semipermeable* ไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจนสารละลายทั้งสองด้านมีความเข้มข้นเท่ากัน ส่วน *reverse osmosis* นั้นมีการให้ความดันในด้านของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าทำให้โมเลกุลของน้ำไหลผ่านเยื่อ *semipermeable* ได้ ในขณะที่โมเลกุลอื่น อาทิ โปรตีน น้ำตาล กรด และอื่นๆ ไม่ไหลผ่านออกไป (Woodroof and Luh, 1975) วิธีดังกล่าวนี้ทำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ เป็นวิธีที่ง่าย ใช้พลังงานน้อย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพด้านสี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการดี (Deshpanda et al., 1982) แต่มีข้อจำกัดค่อนข้างมากจากการที่อุปกรณ์และเครื่องมือมีราคาแพง และปัญหาการอุดตันของเยื่อกรอง (Madson, 1974) และหากเลือกเยื่อกรองไม่เหมาะสม สารให้กลิ่นรสต่างๆ ก็เคลื่อนที่ผ่านเยื่อกรองออกไปได้เช่นกัน (Karel, 1975)

Bolin และ Salunkhe (1971) รายงานว่า เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียกลิ่นรสของน้ำผลไม้เข้มข้น 3 ชนิด คือ น้ำแอปเปิล น้ำเชอร์รี่ และน้ำพีช ที่เตรียมด้วยวิธี *freeze concentration*, *membrane diffusion*, *osmosis* และ *reverse osmosis* พบว่าน้ำผลไม้เข้มข้นที่เตรียมด้วยวิธี *freeze concentration* เกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสน้อยที่สุด แต่เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของน้ำผลไม้ พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เพราะฉะนั้นสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาในการเลือกวิธีการทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นก็คือ ต้นทุนที่ใช้ในการผลิต



## การเกิดสีน้ำตาลในน้ำผลไม้

สี เป็นคุณลักษณะหนึ่งที่สำคัญของน้ำผลไม้ น้ำผลไม้ที่เก็บไว้นานอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสี และมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Clemente and Pastore, 1998) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในน้ำผลไม้มี 2 สาเหตุสำคัญคือ การเกิดสีน้ำตาลจากการทำงานของเอนไซม์ และ การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาทางเคมี

การเกิดสีน้ำตาลจากการทำงานของเอนไซม์ เกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) กับสารประกอบ phenols ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในน้ำผลไม้ ในภาวะปกติที่ไม่มี การฉีกขาดของเนื้อเยื่อจะไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น แต่เมื่อผนังเซลล์ถูกทำลายจากการหั่น หรือ การปอกเปลือกจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบ phenols ในเซลล์กับเอนไซม์ PPO และออกซิเจน ในอากาศ ได้ O-diphenol ซึ่ง oxidize ต่อได้เป็น  $\beta$ -quinone สารดังกล่าวจะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบ phenols อื่นๆ หรือกรดอะมิโนได้เป็นสารเชิงซ้อนสีน้ำตาล (Fennema, 1996 ; Sapers, 1993) นอกจากทำให้สีของน้ำผลไม้เข้มขึ้นแล้วยังมีผลให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ (off flavor) และมีผลทางลบต่อคุณค่าทางอาหารด้วย (Clemente and Pastore, 1998) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากสาเหตุนี้ ป้องกันได้โดยการคัดเลือกพันธุ์ของผลไม้ให้มีสารประกอบ phenols ต่ำ หรือยับยั้งเอนไซม์ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70 – 90 °C เนื่องจากเอนไซม์ PPO ถูกทำลายได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 85 °C ขึ้นไป หรือลด pH ให้ต่ำกว่า 3 โดยการเติมกรด citric, malic ซึ่งนอกจากช่วยลด pH แล้วยังจับโลหะซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้อีกด้วย หรือใช้สาร sulfite และ bisulfite ที่ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และเกิดปฏิกิริยากับสาร intermediates ที่เกิดขึ้น หรือใช้กรด ascorbic เพื่อเปลี่ยน O-quinone กลับไปเป็น O-diphenol ทันทีที่มีการสร้าง O-quinone ขึ้น (Mayer, Philippon and Nicolas, 1993; Sapers, 1993)

นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังสามารถใช้วิธีทางกายภาพเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ได้อีกด้วย Alizai (1997) กล่าวว่า การควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในน้ำฝรั่งสดและน้ำฝรั่งเข้มข้น ทำได้โดยการกรองด้วยสารช่วยกรอง (filter aids) และใช้สารช่วยตกตะกอน (fining agent) ที่เหมาะสม หรือโดยการหมุนเหวี่ยง โดยประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลขึ้นกับพันธุ์และความสุกของผลไม้ที่ใช้ด้วย Tanada, Jardine และ Matta (1999) ใช้เทคนิค ultrafiltration เพื่อแยกเอนไซม์ PPO ในน้ำกล้วย โดยใช้ polysulphone membrane ร่วมกับการใช้ความดัน 600 MPa น้ำกล้วยที่ได้มีสีเหลืองและกลิ่นรสแรง นอกจากนี้ อาจใช้เทคนิค electrodialysis ยับยั้ง PPO ได้ โดย Tronc, Lamarche และ Makhlof (1998) ลด pH ของน้ำแอปเปิ้ลขุ่น (pH 3.51) จนมี pH เป็น 2 ในเวลา 5 นาทีแล้วทำให้ pH มีค่าเท่าเดิมภายใน 1 นาที โดยใช้เทคนิค electrodialysis พบว่ายับยั้ง PPO ได้อย่างสมบูรณ์

การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาทางเคมี ปฏิกิริยาทางเคมีที่พบมากในอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูป ได้แก่ปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ carbonyl ในโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซ์กับหมู่เอมีนในโมเลกุลของกรดอะมิโน หรือโปรตีน เกิดเป็น N-substituted glycosylamine และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลขึ้น ปฏิกิริยานี้เกิดได้ที่อุณหภูมิสูงและอัตราเร็วแปรผันตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ (DeMan, 1990; Sapers, 1993) การเกิดสีน้ำตาลจากสาเหตุนี้ ป้องกันได้ด้วยการลดความชื้นในอาหาร ลด pH และกำจัดหมู่อะมิโนโดยใช้ปฏิกิริยา acetylation เปลี่ยน amino เป็น amide (Fennema, 1996) นอกจากนี้สีน้ำตาลในน้ำผลไม้ อาจเกิดจากปฏิกิริยา caramelization ซึ่งเกิดจากความร้อนโดยมีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ เกิดจากปฏิกิริยา oxidation ของกรด ascorbic ทำให้เกิด furaldehyde และ 5-hydroxymethyl-furaldehyde ซึ่งเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้เป็นสารสีน้ำตาลขึ้น Roig et al. (1999) กล่าวว่า ในน้ำผลไม้ตระกูลส้มที่บรรจุในกล่องกระดาษ TetraBrik และเก็บที่ 5 °C หรือที่อุณหภูมิห้อง การเกิดสีน้ำตาลเกิดจากปฏิกิริยา oxidation ของกรด ascorbic เป็นส่วนใหญ่ และปฏิกิริยา Maillard เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย สำหรับน้ำแอปเปิลและแพร์เข้มข้น สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเกิดเนื่องจากปฏิกิริยา Maillard มากกว่า เพราะมีกรด ascorbic ไม่สูงมากนัก (O'Beirne, 1986)

### เครื่องดื่มประเภทอาหารเสริมสุขภาพ

อาหารเสริมสุขภาพจัดอยู่ในหมวด functional foods ซึ่งในปี 1994 Institute of Medicine's Food and Nutrition Board ให้นิยามไว้ว่า 'functional foods หมายถึง อาหารใดๆ หรือองค์ประกอบของอาหารที่อาจให้ประโยชน์ต่อสุขภาพได้ในระดับสูงเกินกว่าที่ร่างกายจะได้รับจากสารอาหารทั่วไปที่เป็นส่วนประกอบตามปกติในอาหารชนิดนั้น' (Hasler, 1998) ในปัจจุบันแนวโน้มของผู้บริโภคมีความสนใจด้านอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะเครื่องดื่มเสริมสุขภาพซึ่งมีมากมายหลายประเภทตามวัตถุประสงค์ของผู้บริโภค เช่น nutrition supplement drink เป็นเครื่องดื่มที่มีการเติมสารอาหารลงไป เพื่อช่วยให้สุขภาพแข็งแรงมากขึ้น โดยดัดแปลงมาจากอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาล nutraceutical drink เป็นเครื่องดื่มที่มีการเพิ่มสารอาหารหรือกลุ่มของสารอาหาร ที่อาจช่วยแก้ไขข้อบกพร่องทางด้านสุขภาพบางอย่างให้ดีขึ้นได้ เป็นต้น (O'Carroll, 1997) น้ำผักผลไม้ก็เป็นเครื่องดื่มประเภทเสริมสุขภาพชนิดหนึ่งเช่นกัน เนื่องจากอุดมไปด้วยวิตามินและเกลือแร่ อีกทั้งยังมีเส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย แต่ในกระบวนการผลิตอาจมีผลให้เกิดการสูญเสียสารอาหารเหล่านี้ได้ จึงได้มีการเสริมวิตามิน เกลือแร่ และเส้นใย

อาหาร เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้มากขึ้น โดยสารอาหารที่เสริมลงไปต้องมีปริมาณมากกว่าที่มีอยู่ตามธรรมชาติเพื่อให้ร่างกายได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่ถูกต้อง (Giese, 1995)

### การเสริมแคลเซียมในเครื่องดื่มน้ำผลไม้

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ร่างกายต้องการ แคลเซียมเป็นไอออนบวกที่มีมากที่สุดในร่างกายคือมีประมาณ 1.5 - 2 % ของน้ำหนักตัวในผู้ใหญ่ โดย 99 % ของแคลเซียมในร่างกายเป็นองค์ประกอบในกระดูกและฟัน ทำให้กระดูกและฟันแข็งแรง นอกจากนี้แคลเซียมยังทำหน้าที่อีกหลายอย่างในร่างกาย ได้แก่ ช่วยการแข็งตัวของเลือด ช่วยรักษาและควบคุมให้ผนังเซลล์ทำหน้าที่ได้ดี กระตุ้นให้เอนไซม์หลายชนิดทำงานได้ปกติ ควบคุมการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อ รวมทั้งการเต้นของหัวใจ และเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นในการสร้าง acetyl choline ซึ่งใช้ในการส่งกระแสประสาท (DeWille et al., 1997) เมื่อร่างกายขาดแคลเซียมส่งผลให้เกิดลักษณะที่ผิดปกติในร่างกาย ได้แก่ โรคที่เกี่ยวข้องกับกระดูก เช่น โรคกระดูกอ่อนในเด็ก (rickets) โรคกระดูกอ่อนในผู้ใหญ่ (osteomalacia) และโรคกระดูกพรุนในผู้สูงอายุ แต่ถ้าร่างกายได้รับแคลเซียมในปริมาณที่มากเกินไปอาจเป็นพิษได้เช่นกัน โดยทำให้เกิดการอาเจียน กล้ามเนื้ออ่อนแอ เกิดนิ่วในไต มีผลต่อหัวใจและทำลายสมองจนถึงตายได้ (Ensminger et al., 1994a) ในแต่ละวัยของมนุษย์มีความต้องการแคลเซียมต่างกัน โดยในวัยเด็กต้องการมากกว่าผู้ใหญ่หรือผู้ใหญ่ที่มีภาวะต่างกัน เช่น หญิงตั้งครรภ์หรือให้นมบุตรต้องการแคลเซียมมากกว่า สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาได้จัดทำบัญชีสารอาหารที่แนะนำให้ควรบริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) ซึ่งเป็นค่ากลางสำหรับคนไทยขึ้น โดยกำหนดปริมาณแคลเซียมที่ควรได้รับต่อวันไว้ที่ 800 mg (คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารประจำวันที่ร่างกายควรได้รับของประชาชนไทย, 2532)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมแคลเซียมในอาหารมีด้วยกันหลายปัจจัย ได้แก่ ความต้องการของร่างกาย ฮอริโมน parathyroid ฮอริโมน calcitonin วิตามินดี อัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหาร องค์ประกอบในอาหาร (ปริมาณโปรตีน กรดไขมันอิ่มตัว น้ำตาล กรด phytic กรด oxalic dietary fiber) ยา และปัจจัยอื่น ได้แก่ ภาวะขาดการออกกำลังกายและความเป็นกรดต่างในกระเพาะอาหาร โดยวิตามินดีเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้ดี (Ensminger et al., 1994a)

ร่างกายของคนเราตามปกติรับวิตามินดีได้ 2 ทาง คือ จากอาหาร และจากการสังเคราะห์ของร่างกายจาก precursor เมื่อได้รับรังสี ultraviolet วิตามินดีจัดเป็นสารพวก sterol ซึ่งชนิดที่สำคัญในอาหาร ได้แก่ ergocalciferol หรือ วิตามินดีสอง ที่พบในพืช และ cholecalciferol หรือ

วิตามินดีสามที่พบในผลิตภัณฑ์จากสัตว์ วิตามินดีกระตุ้นการดูดซึมแคลเซียมโดยชักนำให้ร่างกายสร้าง calcium binding proteins ซึ่งเป็นสารที่มีผลให้การดูดซึมแคลเซียมที่ผนังลำไส้เล็กดำเนินไปได้ด้วยดี ทำให้ร่างกายนำแคลเซียมไปใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี การประเมินการรับวิตามินดีในแต่ละวันโดยเฉลี่ยของแต่ละคนทำได้ยาก เนื่องจากวัดไม่ได้ว่าร่างกายสร้างวิตามินดีในปริมาณเท่าไร อย่างไรก็ตามในแต่ละวัยของคนเรามีความต้องการวิตามินดีต่างกัน โดยในทารกควรได้รับวิตามินดี 10  $\mu\text{g}$  ต่อวัน ปริมาณดังกล่าวช่วยในการเจริญเติบโตของกระดูกและฟัน ขณะที่ผู้ใหญ่ที่มีอายุตั้งแต่ 25 ปีขึ้นไป ควรได้รับวิตามินดีในปริมาณ 5  $\mu\text{g}$  ต่อวัน เนื่องจากกระดูกหยุดการเจริญเติบโตแล้ว (Ensminger et al., 1994c) Thai RDI กำหนดปริมาณวิตามินดีที่ควรได้รับต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไปไว้ที่ 10  $\mu\text{g}$  (คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารประจำวัน ที่ร่างกายควรได้รับของประชาชนไทย, 2532) วิตามินดีในอาหารทั่วไปมีปริมาณจำกัด อาหารที่เป็นแหล่งของวิตามินดีที่ดีต้องมีวิตามินดีอยู่มากกว่า 2.5  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  นมวัวในธรรมชาติถึงแม้มีปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายนำไปใช้ได้สูงแต่มีวิตามินดีต่ำ Holick (1988) รายงานว่า ตั้งแต่ปี 1930 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการเสริมวิตามินดีลงในนมวัว 400 IU หรือ 10  $\mu\text{g}$  ต่อนม 1 quart เพื่อให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุด วิตามินดีที่นิยมเสริมในผลิตภัณฑ์มักอยู่ในรูปของวิตามินดีสามซึ่งในทางการค้ามีวิตามินดีสาม 2 รูปแบบได้แก่ วิตามินดีสามที่ละลายอยู่ในน้ำมัน และวิตามินดีสามที่กระจายได้ในน้ำซึ่งเป็นชนิดที่สะดวกสำหรับการเสริมในน้ำผลไม้ (Davis et al., 1994)

#### การเสริมแคลเซียมในน้ำผลไม้

สารประกอบแคลเซียมที่ FDA อนุญาตให้ใช้เสริมในอาหารมี 10 ชนิด ได้แก่ calcium carbonate, calcium citrate, calcium glycerophosphate, calcium oxide, calcium pantothenate, calcium phosphate, calcium pyrophosphate, calcium chloride, calcium lactate และ calcium sulfate (DeWille et al., 1997) ซึ่งเกลือแคลเซียมแต่ละชนิดมีสมบัติและมีผลต่อรสชาติของอาหารแตกต่างกันไป Kalala, DeLeon และ Maculan (1989) ศึกษาสมบัติของสารประกอบแคลเซียมต่างชนิดและผลการใช้ต่อรสชาติของน้ำส้ม พบว่า calcium carbonate ซึ่งเป็นชนิดที่มีการแนะนำให้ใช้บ่อยครั้ง ก่อให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ เพิ่ม pH ของน้ำส้ม และเกิดฟองมากระหว่างการผลิตกับน้ำส้ม เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะคล้ายน้ำโซดาเมื่อบริโภค calcium citrate ละลายน้ำได้ปานกลาง สารละลายที่ได้มีลักษณะขาวขุ่นคล้ายน้ำนม และเกิดรสฝาดในน้ำส้ม calcium chloride ละลายน้ำได้สูงและสารละลายที่ได้มีลักษณะใส แต่เกิดรสชาติเค็มในน้ำส้ม นอกจากนี้ Heckert (1990) ยังพบว่า การใช้ calcium chloride เข้มข้น

0.11 % ทำให้เกิดรสกร่อย และลดรสหวานในน้ำส้มลง Kalala et al. (1989) พบว่า สารผสมระหว่าง calcium phosphate (tribasic) และ calcium lactate ในอัตราส่วน 1.8 ต่อ 1 และ 3 ต่อ 1 ให้กลิ่นรสที่ดีในน้ำส้ม

Gerhard (2002) กล่าวว่า สารประกอบแคลเซียมที่กำลังได้รับความสนใจและมีการเสริมลงในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มอย่างมากในปัจจุบัน นอกจากนั้น FDA ยังอนุญาตให้ใช้ได้ ในอาหาร (<http://www.jungbunzlauer.com/products/product25.html#literature>) คือ calcium lactate gluconate ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่าง calcium lactate และ calcium gluconate เพราะละลายได้ดีในน้ำและไม่มีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์แม้ใช้ที่ความเข้มข้นสูง โดยอัตราการละลายของ calcium lactate gluconate มีค่าเท่ากับ 400 g/l ซึ่งมากกว่า calcium lactate (66 g/l) และ calcium gluconate (35 g/l) เนื่องจากไอออนของแคลเซียมเกิด meta - stable complex กับไอออนของ calcium lactate และ calcium gluconate ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวนอกจากเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำของเกลือชนิดนี้แล้วยังมีผลให้ไม่เกิดรสขมจากไอออนอิสระของแคลเซียมอีกด้วย พบว่าอาจเสริมเกลือชนิดนี้ในน้ำแอปเปิ้ลได้สูงถึง 150 mg/100 ml โดยผู้ทดสอบแยกความแตกต่างระหว่างน้ำแอปเปิ้ลที่เสริมและไม่เสริมแคลเซียมไม่ได้ นอกจากนี้ calcium lactate gluconate ยังเป็นสารที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้สูง

Heckert (1990) กล่าวว่า การเสริมสารประกอบแคลเซียมเช่น calcium carbonate หรือ calcium hydroxide ในน้ำส้มโดยตรงมีผลทำให้เกิดกลิ่นใหม่หรือกลิ่นไม่พึงประสงค์ และเป็นสาเหตุให้สารประกอบที่ให้กลิ่นรสในน้ำส้มลดลง นอกจากนั้นยังเกิดปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของแคลเซียมที่เติมลงไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากกรด citric และกรด malic ที่พบในน้ำส้มทำปฏิกิริยากับแคลเซียมเป็น calcium citrate ที่ไม่เสถียรและตกตะกอนอย่างรวดเร็ว ผู้วิจัยได้แนะนำวิธีการผลิตน้ำผลไม้เสริมแคลเซียมที่มีความเสถียรของแคลเซียมและไม่เกิดกลิ่นรสผิดปกติ โดยให้เตรียมสารละลายแคลเซียมในถังผสมก่อน (โดยอาจต้องเติมกรดลงไปในช่วงขั้นตอนการเตรียมสารละลายด้วย) เพื่อให้เกิดการละลายของเกลือแคลเซียมที่สมบูรณ์ จากนั้นจึงผสมกับน้ำผลไม้เข้มข้น (60 - 70 °Brix) ในถังที่มีการควบคุมอุณหภูมิประมาณ 4 °C โดยอาจมีการเติม pulp หรือ น้ำมันที่สกัดได้จากผลไม้ตามความต้องการ ซึ่งวิธีการดังกล่าวทำได้ทั้งการผลิตแบบรุ่น และ แบบต่อเนื่อง

Baker et al. (1991) ศึกษาผลการเสริมแคลเซียมต่อคุณภาพของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการผลิตแตกต่างกัน โดยเสริมด้วยสารละลาย calcium carbonate และของผสมระหว่าง calcium phosphate กับ calcium lactate ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 ในปริมาณที่คำนวณให้มีแคลเซียมเป็น 20 % ของปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายควรได้รับต่อวันตามที่ USRDA กำหนด และน้ำส้มที่ใช้ทดลองเข้มข้น 11.8 °Brix พบว่า การเสริมแคลเซียมไม่มีผลต่อปริมาณตะกอน ความขุ่น และกลิ่นรสของน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ PME ส่วนน้ำส้มที่ไม่ได้

ผ่านการพาสเจอร์ไรส์และเก็บที่อุณหภูมิ 16 °C เมื่อเสริมแคลเซียมทั้ง 2 ชนิดมีผลในการเพิ่มปริมาณตะกอน ลดความขุ่นของส่วนใส และลดคะแนนด้านกลิ่นรส ซึ่งเป็นผลจากการทำงานของเอนไซม์ PME

Kenawi, Shekib และ El-Shimi (1994) ศึกษาผลของการเก็บรักษาต่อคุณภาพของน้ำส้มเสริม calcium phosphate ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ พบว่า ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี pH ปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ สี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเดียวกันกับตัวอย่างที่ไม่เสริมแคลเซียมในทุกบรรจุภัณฑ์ และเวลาเก็บไม่มีผลต่อปริมาณเกลือแร่ทุกชนิดในตัวอย่าง

### อายุการเก็บของน้ำผลไม้

ในระหว่างการเก็บรักษา อาหารอาจสัมผัสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ออกซิเจน และแสง ซึ่งมีผลกระตุ้นปฏิกิริยาต่างๆ ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพด้านสี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ (Singh, 2000) Sadler, Parish และ Wicker (1992) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี จุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ในระหว่างการเก็บน้ำส้มที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่ 66 °C 10 วินาที (light pasteurization) และ 90 °C 60 วินาที (full pasteurization) พบว่าเมื่อเวลาเก็บที่ 4 °C นานขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น เสถียรภาพของความขุ่นและ กรด ascorbic ลดลง โดยใน 22 วันแรก น้ำส้ม light pasteurization มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ใกล้เคียงกับพวก full pasteurization และมีความคงตัวทางเคมี จุลินทรีย์และลักษณะปรากฏได้นานถึง 4 สัปดาห์ Marshall, Nagy และ Rouseff (1985) กล่าวว่า อุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บของน้ำผลไม้และการสร้างรงควัตถุสีน้ำตาล โดยปริมาณรงควัตถุสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและอายุการเก็บเพิ่มขึ้น Ramtake และ Eipeson (1990) รายงานว่า น้ำส้มเข้มข้นเก็บที่อุณหภูมิ -18 °C ไม่มีปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ขณะที่ตัวอย่างซึ่งเก็บที่ -8 °C เกิดสีน้ำตาลได้มากขึ้น ส่วนตัวอย่างซึ่งเก็บที่ 0 °C และ 25 - 28 °C (อุณหภูมิห้อง) เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลชัดเจนที่ 6 เดือนและ 3 เดือน ตามลำดับ

การทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิและเวลาในการเก็บที่แตกต่างกันได้โดยไม่ต้องเก็บตัวอย่างนั้นไว้จริงเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิต การศึกษาอายุของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะเร่ง (accelerated tests) เป็นวิธีเร่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ให้เร็วขึ้น เพื่อใช้คาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยไม่ต้องใช้เวลานานถึง 12 - 24 เดือน วิธีดังกล่าวนี้ใช้หลักการที่ว่า ปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ จะลดอัตราเร็วลงครึ่งหนึ่งเมื่ออุณหภูมิลดลงทุก 10 °C การทำนายอายุการเก็บทำได้โดย

ใช้ Arrhenius model หรือ  $Q_{10}$  model (Woodroof and Luh, 1975; Labuza and Schmidt, 1985; Gnanasekharan and Floors, 1993) Siegmund, Derler และ Pfannhauser (2001) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำสตรอเบอร์รี่ และรายงานว่าการเก็บน้ำสตรอเบอร์รี่ ที่  $37^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นเท่ากับเมื่อเก็บที่  $20^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 เดือน Chan (1993) รายงานว่า น้ำเสาวรสมเข้มข้น  $54.2^{\circ}\text{Brix}$  อาจเก็บที่  $-18^{\circ}\text{C}$  ได้ 6 เดือน เก็บที่  $4^{\circ}\text{C}$  ได้ 3 เดือน หรือ เก็บที่  $20^{\circ}\text{C}$  ได้ 1 เดือน โดยที่น้ำเสาวรสมเข้มข้นยังมีสี กลิ่นรสที่ดี และไม่มีจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย เช่น *Leuconostoc* *Lactobacillus* และยีสต์ เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

#### การทดลอง

#### วัตถุประสงค์

กระท้อนพันธุ์ปุยฝ้าย *Sandoricum indicum* Cav. ซึ่งได้จากสวน อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี น้ำหนักผล 400 – 600 g เส้นผ่านศูนย์กลาง 11 -13 cm เมื่อนำมาถึงห้องทดลอง ล้างผิวของผลกระท้อนให้สะอาด

Xanthan gum ( Keltrol <sup>®</sup>, Best Odour Co. Ltd) food grade ลักษณะเป็นผงสีขาว มีขนาดอนุภาคประมาณ 78  $\mu\text{m}$

Calcium lactate gluconate (Gluconal<sup>®</sup>CAL, Nutrition Co. Ltd) ลักษณะเป็นผงสีขาว มีปริมาณแคลเซียม 10 – 11 % ความสามารถในการละลายน้ำเป็น 400 g/l ที่ 20 °C

วิตามินดีสาม (Dry Vitamin D<sub>3</sub> Type 100 CWS/A, Roche Thailand) ลักษณะเป็นผงสีขาวนวล สารละลายวิตามินดีสาม 1 g/100 ml มีปริมาณวิตามินดีสามเท่ากับ 100,000 IU

#### สารเคมี

##### การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์

Guaiacol	(A.R.)
Hydrogen peroxide 30 %	
Copper sulfate	(A.R.)
Potassium sulfate	(A.R.)
Sulfuric acid	(A.R.)
Boric acid	(A.R.)
Sodium hydroxide	(A.R.)
Methylene blue	(A.R.)
Phenolphthalein indicator	(A.R.)
Potassium hydrogen phthalate	(A.R.)
Petroleum ether	(A.R.)
Ethyl alcohol 95%	(Commercial grade)



3,5 Dinitrosalicylic acid	(A.R.)
Pectin มีค่า degree of esterification เท่ากับ 63 – 66 %	(A.R.)
Methyl red indicator	(A.R.)
Sodium azide	(A.R.)

การวิเคราะห์แคลเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

Lanthanum oxide	(A.R.)
Nitric acid	(A.R.)
Calcium carbonate stock solution	(A.R.)

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

Plate count agar	
Potato dextrose agar	
Tartaric acid	(A.R.)
Sodium chloride	(A.R.)

**อุปกรณ์**

การผลิตและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

เครื่องคั้นน้ำแบบแยกกาก (Braun 4235)
Hydraulic press (ภาคผนวก ง.1)
Blancher (ภาคผนวก ง.2)
ผ้าขาวบางชนิดตาละเอียด
เทอร์โมมิเตอร์ (วัดได้ 0 – 100 °C)
ตู้เย็นอุณหภูมิตั้งที่ 4 – 10 °C (Gellenkamp)
ตู้แช่เยือกแข็ง อุณหภูมิตั้งที่ -18 °C (Sanyo, SF – C95)
นาฬิกาจับเวลา (Cannon)
เครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็ก (Thermix® stirring hot plate model 210T)
Rotary evaporator (Buchi, R-200)
เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, A200S)
เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius, 1907)

ขวดแก้วขนาด 300 ml และหลอดแก้วขนาด 10 ml พร้อมฝาพลาสติกที่มีขนาด  
เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm และ 2 cm ตามลำดับ

#### การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ชุดวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Soxhlet Apparatus, S-226)  
ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldathem and Vapodest I, Gerhardt, KT 85)  
เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, A200S)  
เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius, 1907)  
ตุ้มน้ำหนัก (WTB Binder, E-53)  
Automatic burette (BRAND, Bürette digital III)

#### การวิเคราะห์แคลเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

เตาให้ความร้อน (Corning, Pc-320)  
เตาเผา (Isotemp, FT01/138) อุณหภูมิ 500 – 600 °C  
เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Varian, SpectrAA-300)

#### การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

เครื่อง Laser Particle Size Analyzer (Mastersizer S long bed Ver 2.19)

#### การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

เครื่องวัดสี (Minolta Chromameter, CR 300)  
เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius, 1907)  
pH-meter (Hanna Instruments, 8417)  
Hand refractometer (Atago N1 Brix 0- 32 % และ 28 – 64 %)  
Spectrophotometer (Milton Roy, Spectronic 610)  
เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer, DV – II)

#### การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

Autoclave (Tomy, SS - 320)  
Incubator (Mettler, B 60)  
เครื่องเขย่า (Vortex ,Genie 2)

## ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ผลกระทอนที่สุกพอดี ซึ่งสามารถสังเกตเบื้องต้นจากลักษณะของผลมีสีเหลืองหรือสีน้ำตาลอ่อน ผิวเปลือกหยาบและมีรอยย่นตามแนวยาว คัดเลือกผลกระทอนจากสมบัติการจมในน้ำ โดยเลือกผลกระทอนที่จมน้ำ  $\frac{3}{4}$  ของทั้งผล แสดงว่าผลดังกล่าวมีอายุประมาณ 6 เดือนหลังจากต้นกระทอนออกดอก ซึ่งลักษณะผลที่ได้จะไม่นิ่มหรือแข็งจนเกินไป

#### 3.1.1 เตรียมเนื้อกระทอนสำหรับการสกัดน้ำ

ผลกระทอนเมื่อนำมาถึงห้องทดลอง ล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกและแบ่งผลกระทอนเป็นชิ้นที่มีขนาดความกว้าง 4 – 5 cm แยกเนื้อในและเมล็ดออก ชูดปุยสีขาวออกจากส่วนของเนื้อนอก ภายใต้น้ำเกลือความเข้มข้น 3 % w/v นำชิ้นกระทอนที่ได้ไปจัดเรียงเดี่ยวในตะแกรงของเครื่อง blancher ประมาณ 40 ชิ้นต่อครั้ง แล้วให้ความร้อนโดยใช้น้ำที่มีความดันเมื่อออกจาก boiler 5 - 7 kg.f/cm<sup>2</sup> และอุณหภูมิ 88 - 90 °C ที่เครื่อง blancher แปรเวลาในการให้ความร้อนเป็น 1 3 5 7 และ 9 นาที วิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ PPO (Miller, 1998) ทดลอง 5 ซ้ำ (วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก.1) เลือกเวลาในการให้ความร้อนที่น้อยที่สุดที่ทำให้น้ำกระทอนที่สกัดได้ตรวจไม่พบ activity ของเอนไซม์ PPO

#### 3.1.2 สกัดน้ำกระทอน

นำชิ้นกระทอนจาก 3.1.1 มาสกัดน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำแบบแยกกาก กากกระทอนที่เหลือจากการคั้นน้ำนำไปบีบอัดด้วยเครื่อง hydraulic press ที่ความดัน 100 psi แปรเวลาในการบีบอัดเป็น 9 12 และ 15 นาที

วิเคราะห์ผลผลิตน้ำกระทอนทั้งหมดที่สกัดได้ วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 4 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1985)

### 3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำกระท้อน

น้ำกระท้อนตัวอย่างที่คัดเลือกจาก 3.1.2 นำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ต่อไปนี้

- 3.2.1 ปริมาณโปรตีน (AOAC, 1995) (ภาคผนวก ก. 2)
- 3.2.2 ปริมาณไขมัน (AOAC, 1995) (ภาคผนวก ก.3)
- 3.2.3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยใช้สารละลาย 3,5 Dinitrosalicylic acid (DNSA) (Miller, 1959) (ภาคผนวก ก.4)
- 3.2.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ hand refractometer
- 3.2.5 ปริมาณกรดทั้งหมด (AOAC, 1995) (ภาคผนวก ก.5)
- 3.2.6 pH โดยใช้ pH meter
- 3.2.7 ปริมาณเพคติน (Kertesz, 1951) (ภาคผนวก ก.6)
- 3.2.8 สี วัดด้วยเครื่องวัดสี ในระบบ  $L^* a^* b^*$  โดยวัด 5 จุดต่อตัวอย่าง

### 3.3 การให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ PME

น้ำกระท้อนตัวอย่างที่คัดเลือกได้จาก 3.1.2 นำมาให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ PME โดยแปรอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเป็น 70 - 90 °C และ 60 - 120 วินาที ประเมินคุณภาพของน้ำกระท้อนที่ได้ โดยวิเคราะห์ค่าต่างๆ ต่อไปนี้

- 3.3.1 activity ของเอนไซม์ PME (Yen et al., 1996; Rouse, Atkins and Moore, 1962)(ภาคผนวก ก.7)
- 3.3.2 สี วัดด้วยเครื่องวัดสี ในระบบ  $L^* a^* b^*$  โดยวัด 5 จุดต่อตัวอย่าง

วางแผนการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลด้วย RSM แบบ Central Composite Design (CCD) จำนวน 13 การทดลอง (ตารางที่ 3.1) ทดลอง 2 ซ้ำ เลือกสมการที่ดีที่สุดในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างภาวะการให้ความร้อน กับ activity ของเอนไซม์ PME และค่าสี ( $L^*, a^*, b^*$ ) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statgraphics version 5.0 ของ Graphic Software System, Inc. USA.

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองสำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาโดย RSM

การทดลองที่	รหัสตัวแปร		ค่าตัวแปรในการทดลอง	
	x	y	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (วินาที)
1	-1	-1	70	60
2	-1	1	70	120
3	1	-1	90	60
4	1	1	90	120
5-9	0	0	80	90
10	1.414	0	65.86	90
11	-1.414	0	94.14	90
12	0	1.414	80	132.43
13	0	-1.414	80	47.57

สมการที่ได้นำมาสร้างกราฟ surface plot และ contour plot โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistica version 5.0 คัดเลือกภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสม ด้วยการซ้อนกราฟ contour plot ที่ได้ (Mason et al., 1986)

### 3.4 การผลิตน้ำกระท้อนเข้มข้น

น้ำกระท้อนจาก 3.3 นำมาระเหยน้ำโดยใช้เครื่อง rotary evaporator แปรอุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยน้ำเป็น 60 70 และ 80 ( $\pm 2$ ) °C ที่ความดัน  $50 \pm 5$  mbar โดยใช้ความเร็วรอบ 100 rpm จนมีปริมาณของแข็งสุดท้ายเป็น 4 เท่าของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดก่อนการระเหย ประเมินคุณภาพของน้ำกระท้อนเข้มข้น และน้ำกระท้อนที่เจือจางจากน้ำกระท้อนเข้มข้นในอัตราส่วนน้ำกระท้อนเข้มข้น : น้ำ เป็น 1 : 3 (ต่อไปจะเรียกว่า น้ำกระท้อน) และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 °C 15 นาที (Cruess, 1958) โดยวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสดังต่อไปนี้

3.4.1 สี วัดด้วยเครื่องวัดสี ในระบบ  $L^* a^* b^*$  โดยวัด 5 จุดต่อตัวอย่าง

3.4.2 ความคงตัวของความขุ่นของน้ำกระท้อนที่บรรจุขณะร้อนในขวดแก้วใส และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 - 8 °C ดัดแปลงจากวิธีของ Castaldo et al. (1991) โดยนำ

น้ำกระท้อนไปหมุนเหวี่ยงที่ 10,000 x g อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 10 นาที รินส่วนใสที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 726 nm (ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสสูงที่สุด) ด้วยเครื่อง spectrophotometer เขย่าตัวอย่างทุกครั้งก่อนวัด สุ่มตัวอย่างวัดทุกสัปดาห์เป็นเวลา 2 สัปดาห์

3.4.3 เก็บน้ำกระท้อนปริมาตร 100 ml ในกระบอกตวงที่ผ่านการต้มในน้ำเดือดแล้วขนาด 100 ml ปิดด้วยกระดาษอะลูมิเนียมและเก็บที่อุณหภูมิ 5 - 8 °C วัดปริมาณสารแขวนลอยจากส่วนขุ่นทุกวัน เป็นเวลา 15 วัน

3.4.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นกระท้อน กลิ่นแปลกปลอม และการยอมรับรวมของน้ำกระท้อนเข้มข้น ใช้แบบทดสอบชนิด quantitative descriptive analysis with scaling (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก ข.2) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกจำนวน 8 คน (ขั้นตอนการฝึกฝน และคัดเลือกแสดงในภาคผนวก ค)

และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นกระท้อน กลิ่นแปลกปลอม ความคงตัวของความขุ่น และการยอมรับรวมของน้ำกระท้อน ใช้แบบทดสอบชนิด quantitative descriptive analysis with scaling (แบบทดสอบแสดงใน ภาคผนวก ข.3) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนชุดเดียวกับผู้ทดสอบน้ำกระท้อนเข้มข้น

การประเมินคุณภาพทางกายภาพวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1985)

### 3.5 การรักษาสีและรสชาติของน้ำกระท้อนที่เตรียมจากน้ำกระท้อนเข้มข้น

น้ำกระท้อนที่คัดเลือกได้จาก 3.4 นำมารักษาสีและรสชาติความขุ่นด้วยการ homogenize ที่ความดัน 1000 psi เป็นเวลา 20 นาที หรือ การเติม xanthan gum เข้มข้น 0.1 % w/v โดยกวนตัวอย่างอย่างสม่ำเสมอ ที่อุณหภูมิ 25 °C หรือ การ homogenize ที่ความดัน 1000 psi เป็นเวลา 20 นาที และเติม xanthan gum เข้มข้น 0.1 % w/v ผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ตัวอย่างนำมาให้ความร้อนที่ 75 °C 15 นาที (Cruess, 1958) ประเมินคุณภาพของน้ำกระท้อนที่ได้ โดยวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสดังต่อไปนี้เปรียบเทียบกับน้ำกระท้อนควบคุมซึ่งไม่ได้

homogenize และเติมสารใด แต่ให้ความร้อนที่ 75 °C 15 นาที (Crues, 1958) เช่นเดียวกับ 3 ตัวอย่างแรก

3.5.1 การกระจายของขนาดอนุภาควัดด้วยเครื่อง Laser particle size analyzer ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.2 ความคงตัวของความขุ่น วัดโดยใช้วิธีเช่นเดียวกับ 3.4.2 สุ่มตัวอย่างวัดทุกสัปดาห์เป็นเวลา 1 เดือน

3.5.3 เก็บน้ำกระท้อนปริมาตร 100 ml ในกระบอกตวงขนาด 100 ml เช่นเดียวกับ 3.4.3 วัดปริมาณสารแขวนลอยจากส่วนขุ่นทุกวัน เป็นเวลา 30 วัน

3.5.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำกระท้อน ด้วยวิธีเดียวกันกับ 3.4.4

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเดียวกับข้อ 3.4

### 3.6 การเสริมแคลเซียมและวิตามินดี

น้ำกระท้อนตัวอย่างที่เลือกได้จาก 3.5 นำมาเสริมวิตามินดีสามในปริมาณ 1.14 µg /100 ml และแปรปริมาณแคลเซียมจาก calcium lactate gluconate เป็น 120 160 และ 200 mg/100 ml วิตามินดีสามและแคลเซียมที่ใช้อยู่ในรูปของสารละลาย ขั้นตอนในการเสริมทำโดยชั่งวิตามินดีสาม 1 g ละลายในน้ำ 100 ml กวนสารละลายอย่างสม่ำเสมอด้วยเครื่องกวนผสมแบบแม่เหล็ก ที่อุณหภูมิ 25 °C ด้วยความเร็ว 300 rpm เป็นเวลา 10 นาที สารละลายที่ได้มีวิตามินดีสาม 100,000 IU/100 ml หรือ 2500 µg /100 ml เตรียมสารละลาย calcium lactate gluconate ที่ให้ปริมาณแคลเซียม 120 160 และ 200 mg/100 ml โดยชั่ง calcium lactate gluconate 3.6 4.8 และ 6 g ตามลำดับ ละลายในน้ำอุณหภูมิ 25 °C 15 ml (ปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลาย calcium lactate gluconate 6 g ได้อย่างสมบูรณ์) เติมสารละลายทั้ง 2 ชนิดในน้ำกระท้อนปริมาตร 285 ml อุณหภูมิ 25 °C ขณะเติมกวนอย่างสม่ำเสมอ ตัวอย่างควบคุมเติมน้ำกลั่น 15 ml แล้วนำน้ำกระท้อนที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 °C 15 นาที (Crues, 1958) ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสดังต่อไปนี้

3.6.1 pH ด้วย pH meter

3.6.2 ความหนืด วัดด้วยเครื่องวัดความหนืด ที่อุณหภูมิ 25 °C ความเร็วรอบ 30 rpm

### 3.6.3 ปริมาณแคลเซียม วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption

Spectrophotometer วิธีเตรียมเพื่อวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก.8 การวัดปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ทำที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6.4 ปริมาณวิตามินดี (วิตามินดีสองและวิตามินดีสาม) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography โดย IQA – NORWEST LABS Co., Ltd. (2563 อาคารจิตต์อุทัย ชั้น 5 ถนนคำแหง หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ )

3.6.5 สี วัดด้วยเครื่องวัดสี ในระบบ  $L^* a^* b^*$  โดยวัด 5 จุดต่อตัวอย่าง

3.6.6 ความคงตัวของความชุ่ม วัดโดยใช้วิธีเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2 สุ่มตัวอย่างวัดทุกสัปดาห์เป็นเวลา 1 เดือน

3.6.7 เก็บน้ำกระท้อนปริมาตร 100 ml ในกระบอกตวงขนาด 100 ml เช่นเดียวกับ 3.4.3 วัดปริมาณสารแขวนลอยจากส่วนชุ่มทุกวัน เป็นเวลา 30 วัน

3.6.8 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำกระท้อน ด้วยวิธีเดียวกันกับที่ใช้ใน 3.4.4

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเดียวกับข้อ 3.4

## 3.7 อายุการเก็บของน้ำกระท้อนเข้มข้น และน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดี

### 3.7.1 อายุการเก็บของน้ำกระท้อนเข้มข้น

น้ำกระท้อนเข้มข้นจาก 3.4 นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C 10 นาที (Cruess, 1958 และข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น) บรรจุในหลอดแก้วขนาด 10 ml ซึ่งผ่านการล้างสะอาดและต้มในน้ำเดือดมาแล้วเป็นเวลา 15 นาที ปิดหลอดด้วยฝาที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือด 2 ครั้ง ๆ ละ 10 นาที หลังปิดฝาทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นอย่างรวดเร็วด้วยน้ำประปาที่ไหลตลอดเวลา แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 27, 35 และ 55 °C ระหว่างการเก็บสุ่มตัวอย่างทุก 3 วัน ประเมินคุณภาพของน้ำกระท้อนเข้มข้น โดยการวิเคราะห์ คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส และสุ่มตัวอย่างทุก 5 วันเพื่อประเมินคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ ดังต่อไปนี้

3.7.1.1 สี วัดด้วยเครื่องวัดสี ในระบบ  $L^* a^* b^*$  โดยวัด 5 จุดต่อตัวอย่าง



3.7.1.2 ปริมาณแบคทีเรีย ตามวิธีของ Harringen และ McCance (1976) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.9)

3.7.1.3 ปริมาณยีสต์และรา ตามวิธีของ Harringen และ McCance (1976) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.10)

3.7.1.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสการยอมรับรวมด้วยวิธีเดียวกันกับที่ใช้ใน 3.4.4

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเดียวกับข้อ 3.4

### 3.7.2 อายุการเก็บของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดี

น้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดีจาก 3.6 นำมาให้ความร้อนที่ 75 °C 15 นาที (Crues, 1958) บรรจุในขวดแก้วขนาด 300 ml ซึ่งผ่านการล้างสะอาดและต้มในน้ำเดือดมาแล้วเป็นเวลา 15 นาที ปิดขวดด้วยฝาที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือด 2 ครั้งๆ ละ 10 นาที หลังปิดฝาทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นอย่างรวดเร็วด้วยน้ำประปาที่ไหลตลอดเวลา แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 – 8 °C เป็นเวลา 1 เดือน ระหว่างการเก็บสุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์ ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสดังต่อไปนี้

3.7.2.1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยใช้สารละลาย 3,5 Dinitrosalicylic acid (DNSA) (Miller, 1959) (ภาคผนวก ก.4)

3.7.2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ hand refractometer

3.7.2.3 ปริมาณกรดทั้งหมด (AOAC, 1995) (ภาคผนวก ก.5)

3.7.2.4 pH โดยใช้ pH meter

3.7.2.5 ปริมาณเพคติน (Kertesz, 1951) (ภาคผนวก ก.6)

3.7.2.6 สี วัดด้วยเครื่องวัดสีในระบบ L\* a\* b\* โดยวัด 5 จุดต่อตัวอย่าง

3.7.2.7 ปริมาณแคลเซียม วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer เช่นเดียวกับข้อ 3.6.3

3.7.2.8 ปริมาณแบคทีเรีย ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.7.1.2

3.7.2.9 ปริมาณยีสต์ และรา ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.7.1.3

3.7.2.10 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสการยอมรับรวมด้วยวิธีเดียวกันกับที่ใช้ใน 3.4.4

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเดียวกับข้อ 3.4

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การเตรียมวัสดุดิบ

##### 4.1.1 เตรียมเนื้อกระท้อนสำหรับการสกัดน้ำ

ให้ความร้อนเนื้อกระท้อนด้วยไอน้ำร้อนอุณหภูมิ 88 - 90 °C ความดัน 5 - 7 kg.f/cm<sup>2</sup> เพื่อยับยั้ง activity ของเอนไซม์ PPO โดยแปรเวลาในการให้ความร้อนเป็น 1 3 5 7 และ 9 นาที วิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ PPO ดังแสดงในตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ผลการตรวจสอบ activity ของเอนไซม์ PPO ในน้ำกระท้อนที่สกัดจากเนื้อกระท้อนที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 1 3 5 7 และ 9 นาที

เวลา (นาที)	PPO activity*
1	+++++
3	+++++
5	-----
7	-----
9	-----

\* ผลจากการทดลอง 5 ซ้ำ

เมื่อให้ความร้อนเนื้อกระท้อนด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 5 นาที ตรวจไม่พบปฏิกิริยาของเอนไซม์ PPO ในน้ำกระท้อนที่สกัดได้ จึงเลือกภาวะการให้ความร้อนกับเนื้อกระท้อนด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำให้เย็น บรรจุถุงและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $-18 \pm 2$  °C สำหรับใช้ในงานทดลองขั้นต่อไป

#### 4.1.2 สกัดน้ำกระท้อน

สกัดน้ำกระท้อนจากชิ้นเนื้อด้วยเครื่องคั้นน้ำแบบแยกกาก กากกระท้อนที่ได้บีบอัดต่อด้วยเครื่อง hydraulic press ที่ความดัน 100 psi แปรเวลาในการบีบอัดเป็น 9 12 และ 15 นาที วิเคราะห์ผลผลิตของน้ำกระท้อนทั้งหมดที่สกัดได้จากเครื่องแยกกากและเครื่อง hydraulic press ผลวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** ผลผลิตของน้ำกระท้อนทั้งหมดที่สกัดได้จากเครื่องคั้นน้ำแบบแยกกากและเครื่อง hydraulic press ที่ความดัน 100 psi บีบอัดเป็นเวลา 9 12 และ 15 นาที

เวลาในการบีบอัด (นาที)	ปริมาณผลผลิต (%โดยน้ำหนัก)
9	63.26 <sup>b</sup> ± 0.09
12	64.21 <sup>a</sup> ± 0.03
15	64.26 <sup>a</sup> ± 0.03

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อใช้เวลาในการบีบอัดเพิ่มขึ้นผลผลิตของน้ำกระท้อนทั้งหมดที่สกัดได้เพิ่มขึ้น โดยการบีบอัด 12 และ 15 นาที ให้ผลผลิตของน้ำกระท้อนไม่แตกต่างกัน จึงเลือกภาวะในการสกัดน้ำกระท้อนโดยใช้เครื่องคั้นน้ำแบบแยกกากร่วมกับ hydraulic press ที่ความดัน 100 psi เป็นเวลา 12 นาที สำหรับใช้ในงานทดลองขั้นต่อไป

#### 4.2 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำกระท้อน

วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำกระท้อนได้แก่ โปรตีน และไขมัน และสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำกระท้อนได้แก่ pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด กรดทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ เพคติน และสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.3

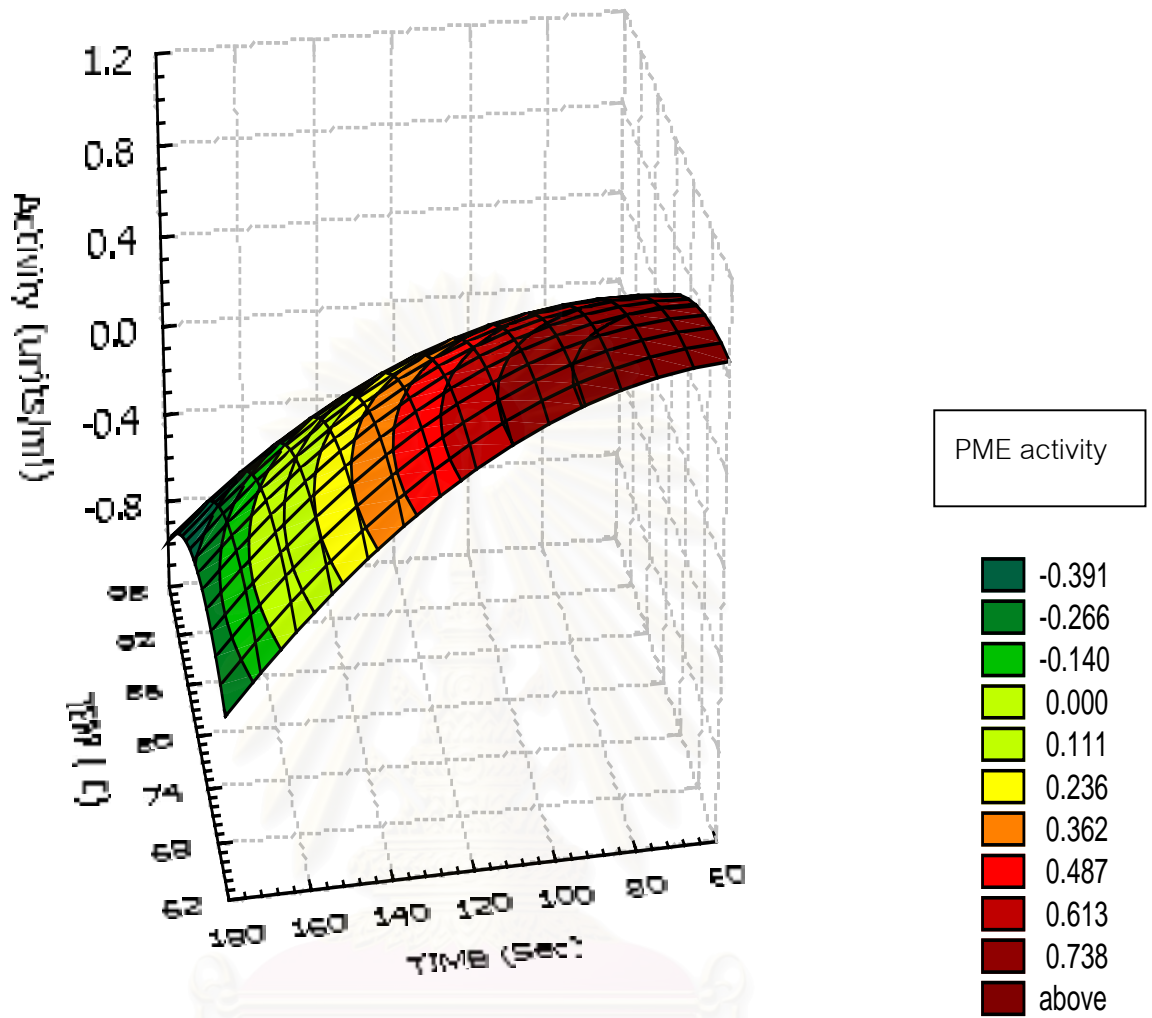
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบ สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำกระท้อน

	ค่าเฉลี่ย* $\pm$ เบี่ยงเบนมาตรฐาน
โปรตีน (%โดยน้ำหนัก)	0.58 $\pm$ 0.050
ไขมัน (%โดยน้ำหนัก)	0.10 $\pm$ 0.006
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ( $^{\circ}$ Brix)	8.85 $\pm$ 0.432
pH	3.13 $\pm$ 0.036
กรดทั้งหมด (% as citric acid)	0.57 $\pm$ 0.040
น้ำตาลรีดิวซ์ (g/l)	28.92 $\pm$ 0.50
เพคติน (mg/100 g)	722.2 $\pm$ 32.6
ค่าสี	
L*	56.031 $\pm$ 0.254
a*	+0.348 $\pm$ 0.032
b*	+2.195 $\pm$ 0.241

\*ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

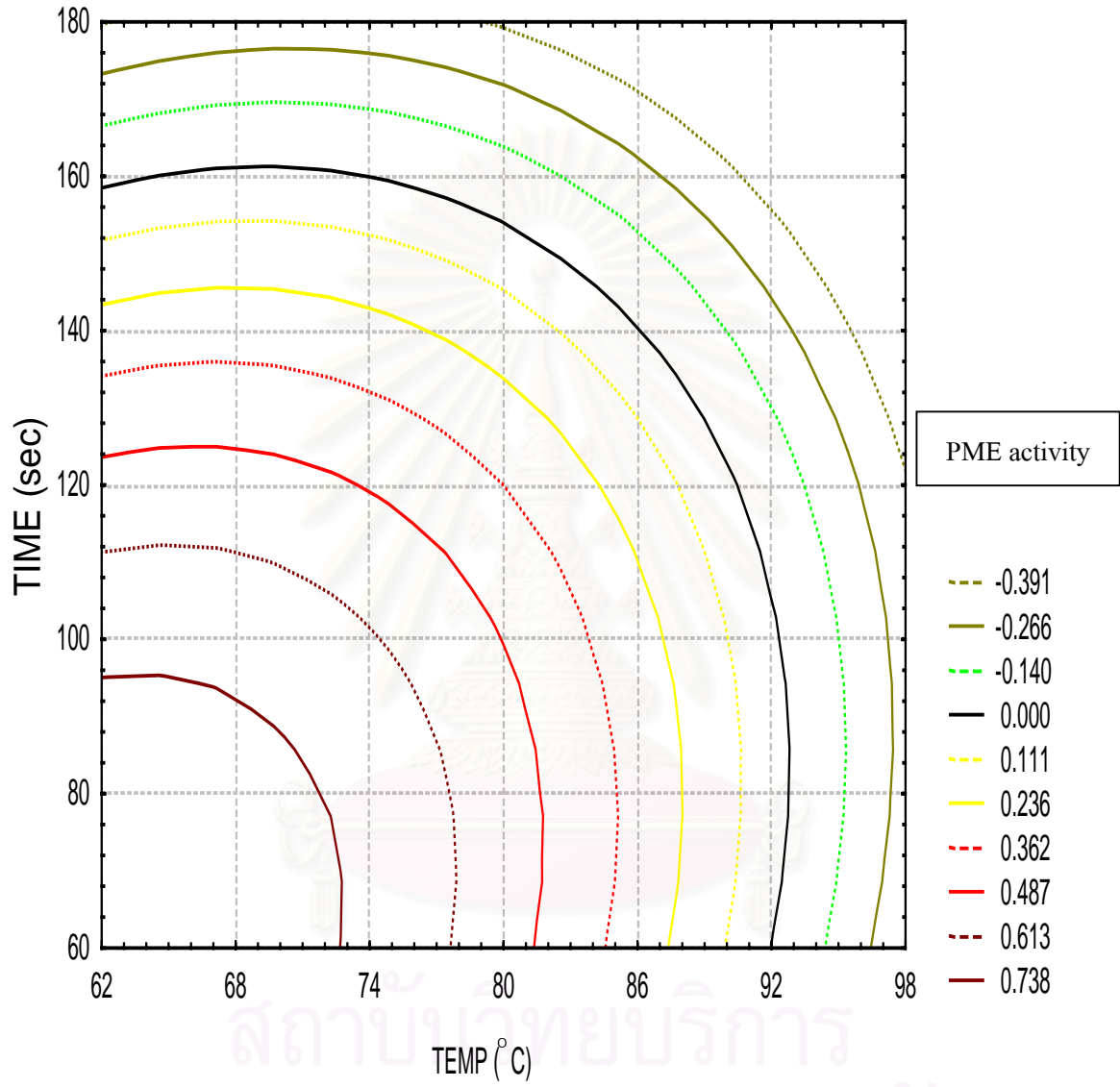
#### 4.3 การให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ PME

น้ำกระท้อนจาก 4.1.2 นำมาให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ PME โดยแปรอุณหภูมิและเวลาเป็น 70 – 90  $^{\circ}$ C และ 60 – 120 วินาที วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลด้วย RSM แบบ CCD น้ำกระท้อนที่ได้นำมาวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ PME และวัดสี (L\*,a\*,b\*) ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.7



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อ activity ของเอนไซม์ PME ในน้ำกระท้อน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 contour plot ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อ activity ของ เอนไซม์ PME ในน้ำกระท้อน

เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น activity ของเอนไซม์ PME ลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนกับ activity ของเอนไซม์ PME แสดงดังสมการที่ 4.3.1

$$z = -2.129623 + 0.0992600x - 0.000889x^2 - 0.000082y^2 + 0.000148xy \quad (R^2=0.94) \dots 4.3.1$$

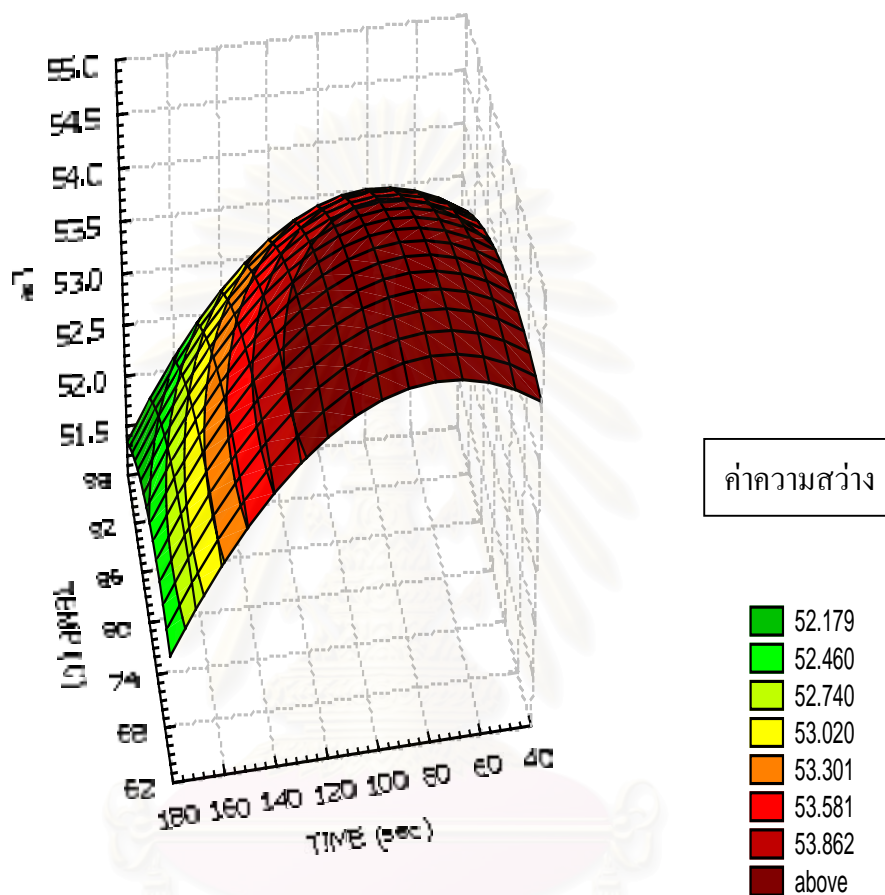
โดย  $z$  คือ activity ของเอนไซม์ PME (units/ml)

$x$  คือ อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และ

$y$  คือ เวลา (วินาที)

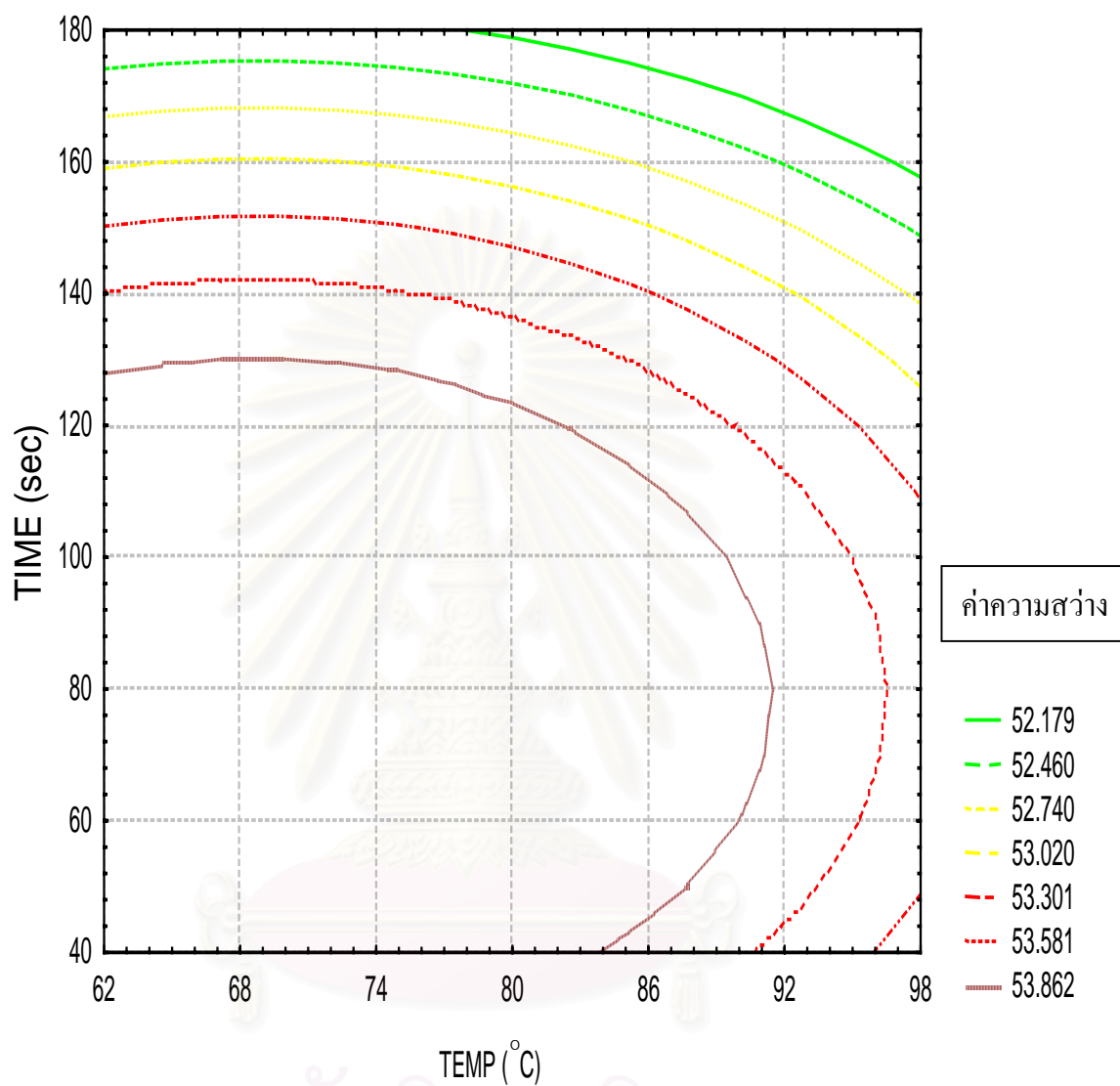
จากสมการคำนวณภาวะการให้ความร้อนในการยับยั้งเอนไซม์ จน  $Z$  มีค่าเท่ากับ 0 ได้ 4 ชุด ได้แก่  $65^{\circ}\text{C}$ , 160.37 วินาที หรือ  $75^{\circ}\text{C}$ , 159 วินาที หรือ  $80^{\circ}\text{C}$ , 154.02 หรือ  $92^{\circ}\text{C}$ , 60 วินาที โดยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการยับยั้งสูงขึ้น ระยะเวลาที่ใช้สั้นลง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

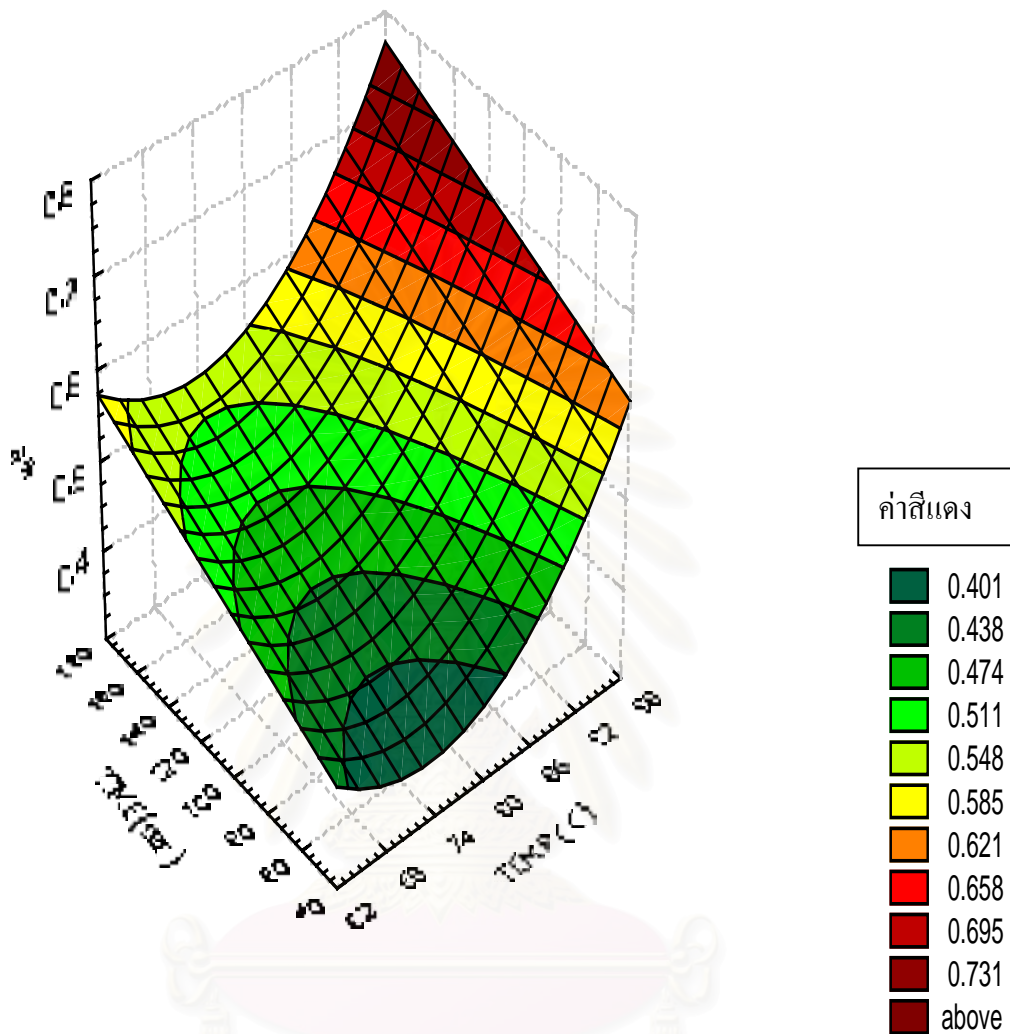


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อค่าความสว่าง(L\*)  
ของน้ำกระท้อน



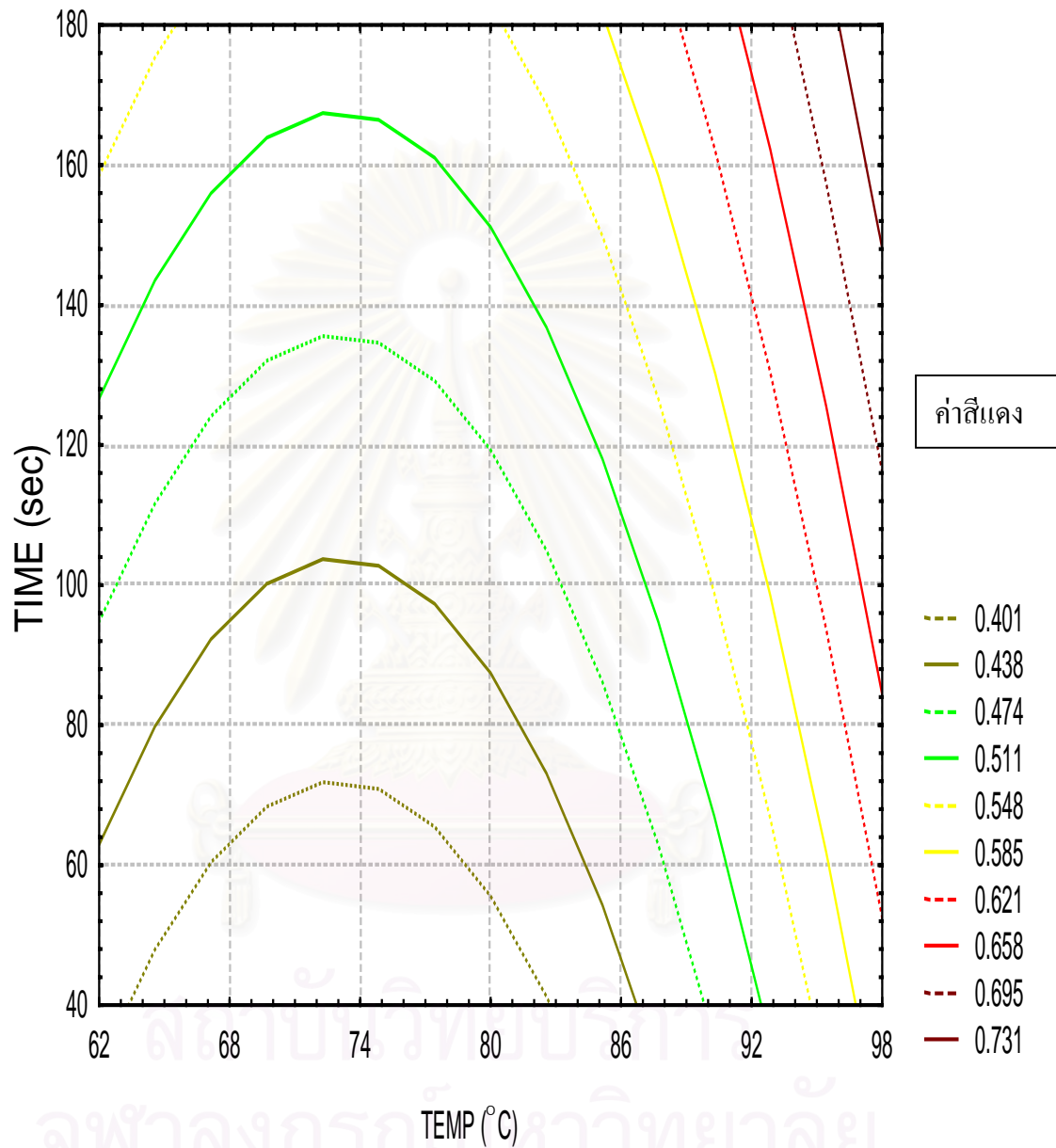


รูปที่ 4.4 contour plot ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ )ของน้ำกระท้อน



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อค่าสีแดง (a\*)  
ของน้ำกระท้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 contour plot ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อค่าสีแดง ( $a^*$ ) ของน้ำกระท้อน

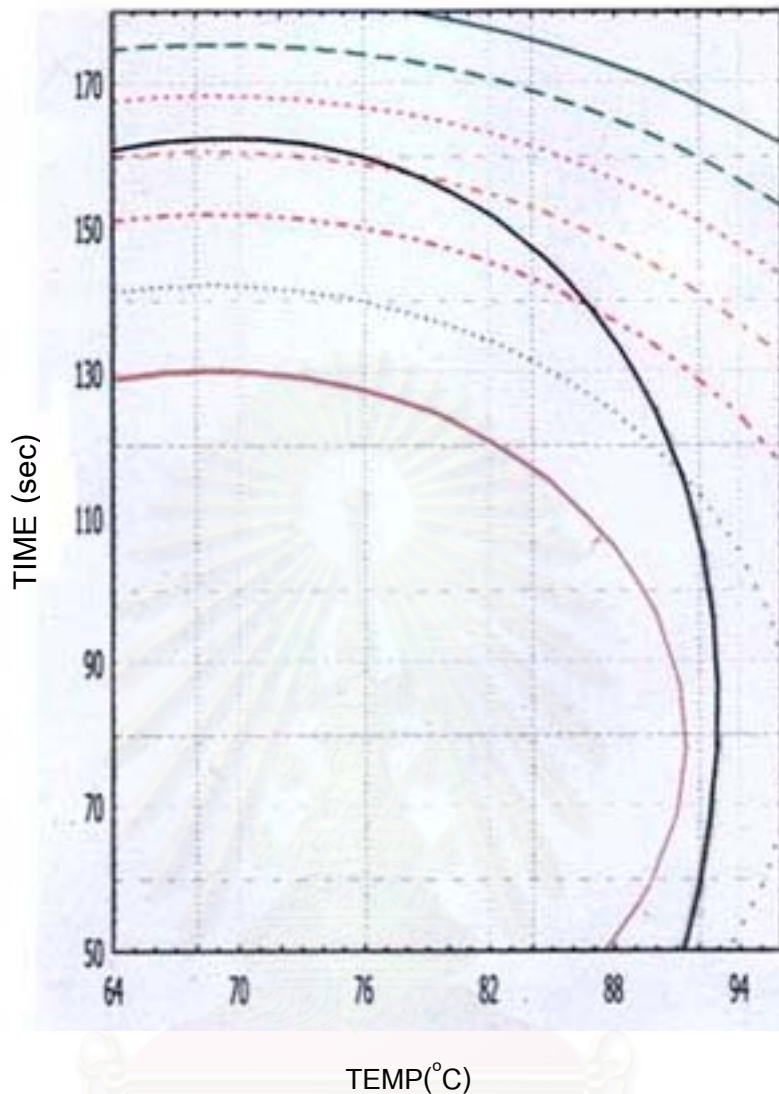
เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น มีผลให้น้ำกระท้อนมีค่าความสว่างลดลงและค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อค่าความสว่างและค่าสีแดงของน้ำกระท้อนแสดงดังสมการที่ 4.3.2 และ 4.3.3 ตามลำดับ

$$z_L = 47.970866 + 0.149854x + 0.033077y - 0.001090x^2 - 0.000210y^2 \quad (R^2 = 0.88) \dots 4.3.2$$

$$z_a = 2.391793 - 0.056807x + 0.001153y + 0.000389x^2 \quad (R^2 = 0.75) \dots 4.3.3$$

โดย  $z_L$  และ  $z_a$  คือ ค่าความสว่าง และค่าสีแดงของน้ำกระท้อน ตามลำดับ  $x$  คือ อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และ  $y$  คือ เวลา (วินาที)

การหาภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมทำได้โดยการซ้อนกราฟ contour plot ของผลตอบสนองที่ได้ เนื่องจากค่า  $R^2$  ของสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาต่อค่าสีแดงมีค่าต่ำ จึงซ้อนกราฟ contour plot ที่แสดงภาวะที่ activity ของเอนไซม์เป็น 0 กับ contour plot ของค่าความสว่างของน้ำกระท้อน ดังแสดงในรูปที่ 7



**รูปที่ 4.7** การซ้อน contour plot ที่แสดงภาวะที่ activity ของเอนไซม์ PME มีค่าเป็น 0 กับ contour plot ของค่าความสว่าง ของน้ำกระท้อน

ผลการซ้อนกราฟ พบว่าภาวะการยับยั้งเอนไซม์ PME ที่ใช้อุณหภูมิต่ำ - เวลานาน มีผลให้ค่าความสว่างของน้ำกระท้อนต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้ภาวะอุณหภูมิสูง - เวลาสั้น จึงเลือกภาวะในการให้ความร้อนเป็น 92 °C เวลา 60 วินาที ซึ่งเป็นภาวะที่น้ำกระท้อนมีค่าความสว่างสูงสุด สำหรับการทดลองขั้นต่อไป

#### 4.4 การผลิตน้ำกระท้อนเข้มข้น

น้ำกระท้อนจาก 4.3 นำมาระเหยด้วยเครื่อง rotary evaporator แปรอุณหภูมิในการระเหยน้ำเป็น 60 70 และ 80 °C ความดัน  $50 \pm 5$  mbar จนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 4 เท่าของปริมาณก่อนระเหย ตัวอย่างน้ำกระท้อนเข้มข้นที่ได้นำมาวัดสี ( $L^*, a^*, b^*$ ) ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นกระท้อน กลิ่นแปลกปลอม และการยอมรับรวม จากนั้นเจือจางน้ำกระท้อนเข้มข้นด้วยน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 วัดสี ( $L^*, a^*, b^*$ ) ค่าความคงตัวของความขุ่นจากค่าการดูดกลืนแสงที่ 726 nm ของตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ 5 –8 °C ทุกสัปดาห์เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นกระท้อน กลิ่นแปลกปลอม ความคงตัวของความขุ่น และการยอมรับรวม และวัดอัตราการตกตะกอนที่ 5 –8 °C เป็นเวลา 15 วัน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 – 4.6 และรูปที่ 4.8 – 4.10

**ตารางที่ 4.4** ค่าสีของน้ำกระท้อนเข้มข้นที่ได้จากการระเหยน้ำที่ความดัน  $50 \pm 5$  mbar อุณหภูมิ 60 70 และ 80 °C

อุณหภูมิที่ใช้ในการ ระเหยน้ำ (°C)	ค่าสี		
	$L^*$	$a^*$	$b^{*ns}$
60	$49.61^a \pm 0.223$	$5.89^b \pm 0.13$	$12.35 \pm 0.10$
70	$49.49^{ab} \pm 0.249$	$6.06^b \pm 0.13$	$12.54 \pm 0.22$
80	$49.11^b \pm 0.342$	$6.38^a \pm 0.19$	$12.62 \pm 0.24$

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

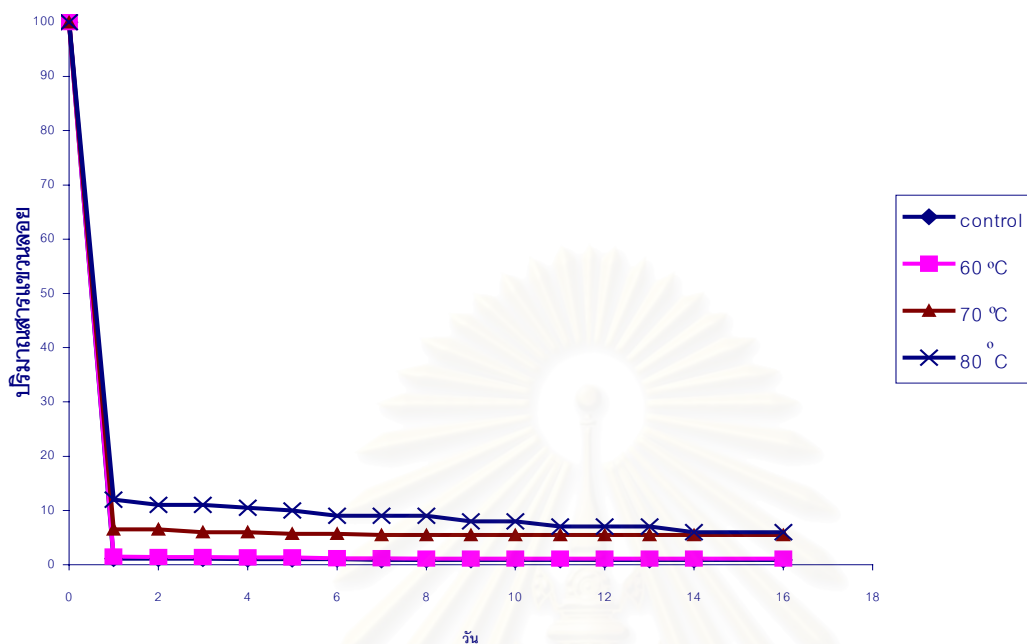
ตารางที่ 4.5 ค่าสีของน้ำกระท้อนก่อนระเหย และ น้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน  $50 \pm 5$  mbar อุณหภูมิ 60 70 และ  $80^{\circ}\text{C}$

ตัวอย่างน้ำกระท้อน	ค่าสี		
	$L^{* \text{ ns}}$	$a^{*}$	$b^{* \text{ ns}}$
น้ำกระท้อนก่อนระเหย	$53.80 \pm 0.41$	$0.54^{\text{ b}} \pm 0.05$	$6.08 \pm 0.30$
น้ำกระท้อนจากตัวอย่างที่ ทำให้เข้มข้นที่ $60^{\circ}\text{C}$	$53.28 \pm 0.37$	$0.57^{\text{ b}} \pm 0.08$	$6.25 \pm 0.13$
น้ำกระท้อนจากตัวอย่างที่ ทำให้เข้มข้นที่ $70^{\circ}\text{C}$	$53.21 \pm 0.38$	$0.73^{\text{ b}} \pm 0.25$	$6.49 \pm 0.40$
น้ำกระท้อนจากตัวอย่าง ที่ทำให้เข้มข้นที่ $80^{\circ}\text{C}$	$53.25 \pm 0.54$	$0.95^{\text{ a}} \pm 0.09$	$6.60 \pm 0.53$

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

อุณหภูมิในการระเหยน้ำที่เพิ่มขึ้น มีผลให้น้ำกระท้อนเข้มข้นมีค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น และมีผลให้ค่าสีแดงของน้ำกระท้อนจากน้ำกระท้อนเข้มข้นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.8 ปริมาณสารแขวนลอยของน้ำกระท้อนก่อนระเหย(control) และน้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน  $50 \pm 5$  mbar อุณหภูมิ 60 70 และ 80 °C เมื่อเก็บที่ 5 - 8 °C เป็นเวลา 15 วัน

การทำให้เข้มข้นมีผลให้ปริมาตรของส่วนซุนที่แยกออกเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิในการระเหยเพิ่มขึ้นปริมาตรส่วนซุนมีมากขึ้น โดยเห็นผลชัดเจนภายใน 1 วัน และหลังจากนั้นค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บ 15 วัน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



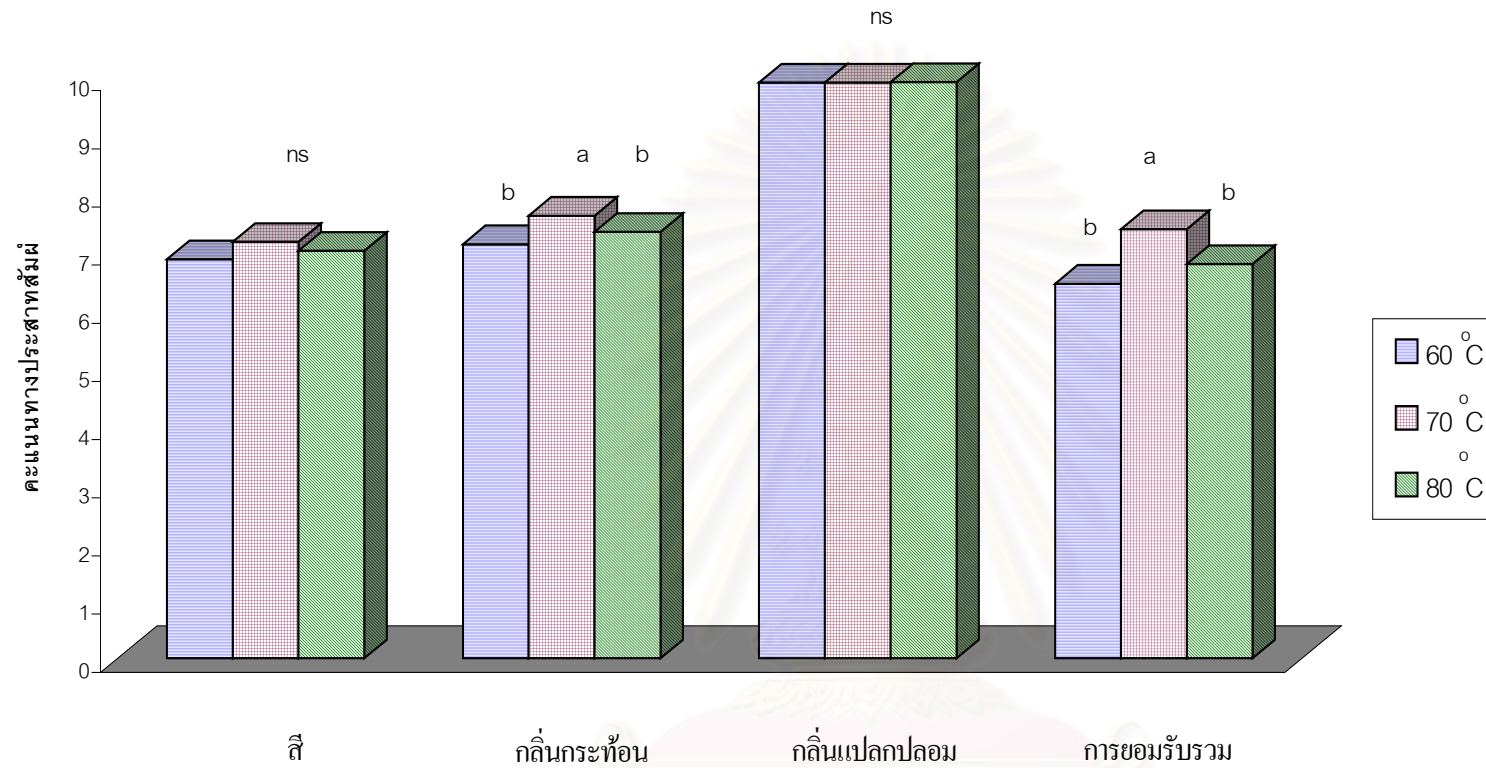
**ตารางที่ 4.6** ค่าความคงตัวของความชื้นของน้ำกระท้อนก่อนระเหย และ น้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน  $50 \pm 5$  mbar อุณหภูมิ 60 70 และ  $80^{\circ}\text{C}$  เมื่อเก็บที่  $5 - 8^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งแสดงโดยค่าการดูดกลืนแสง

ตัวอย่างน้ำกระท้อน	ค่าการดูดกลืนแสง		
	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2
น้ำกระท้อนก่อนระเหย	$0.1549^a \pm 0.009$	$0.1377^b \pm 0.006$	$0.1252^b \pm 0.012$
น้ำกระท้อนจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ $60^{\circ}\text{C}$	$0.1583^a \pm 0.016$	$0.1350^b \pm 0.006$	$0.1246^b \pm 0.011$
น้ำกระท้อนจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ $70^{\circ}\text{C}$	$0.1797^a \pm 0.011$	$0.1519^b \pm 0.011$	$0.1319^b \pm 0.023$
น้ำกระท้อนจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ $80^{\circ}\text{C}$	$0.1758^a \pm 0.01$	$0.1548^b \pm 0.009$	$0.1243^c \pm 0.009$

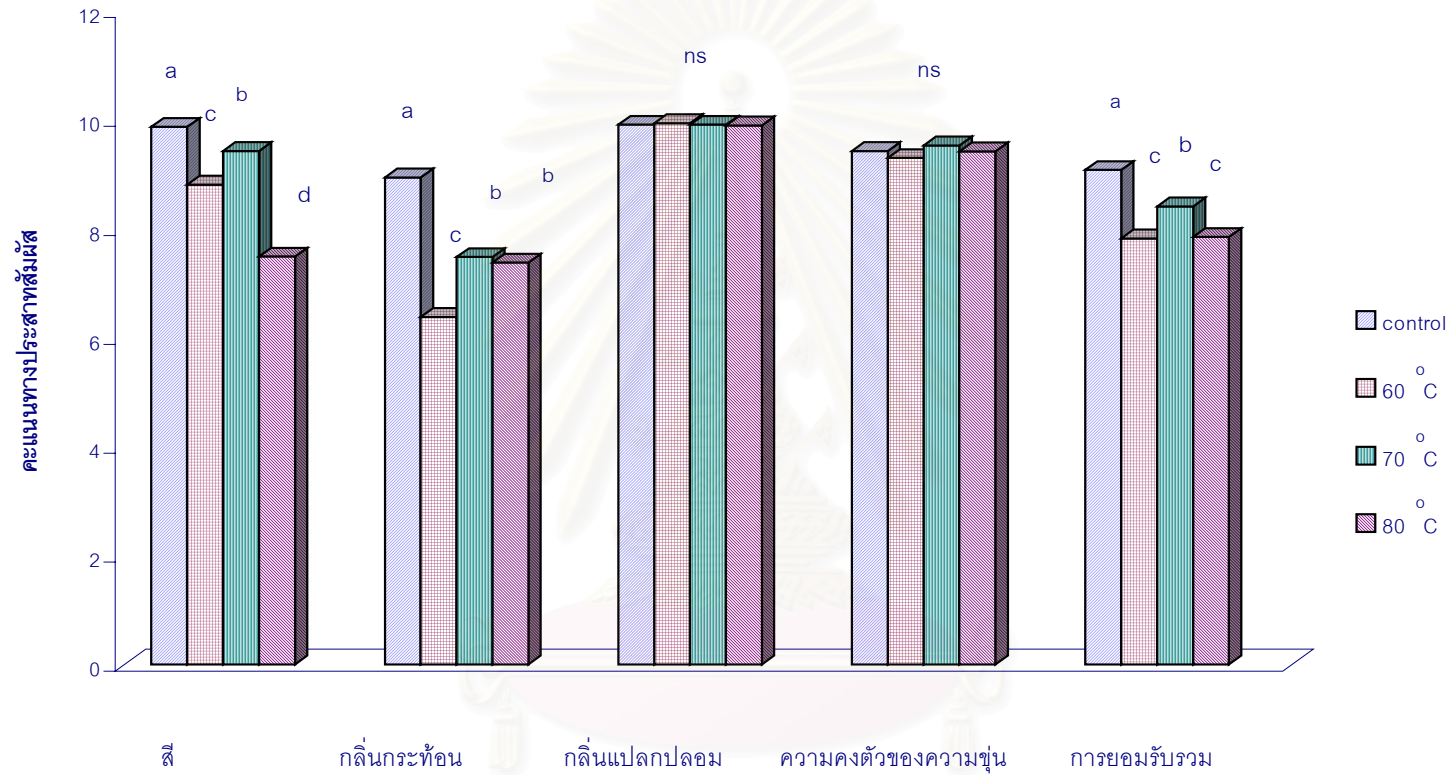
a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวบนเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสลดลงเมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น โดยลดลงอย่างเห็นได้ชัดในสัปดาห์แรก และอุณหภูมิระเหยที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 คະแนนทางประสาทสัมผัสของน้ำกระທ້ອນเข้มซ้ันที่ได้จากการระเหยน้ำที่ความดัน  $50 \pm 5$  mbar อุณหภูมิ 60 70 และ 80 °C (เฉพาะคະแนนกลິ้นแปลกปลอม 10 หมายถึงไม่มีกลິ้นแปลกปลอม)



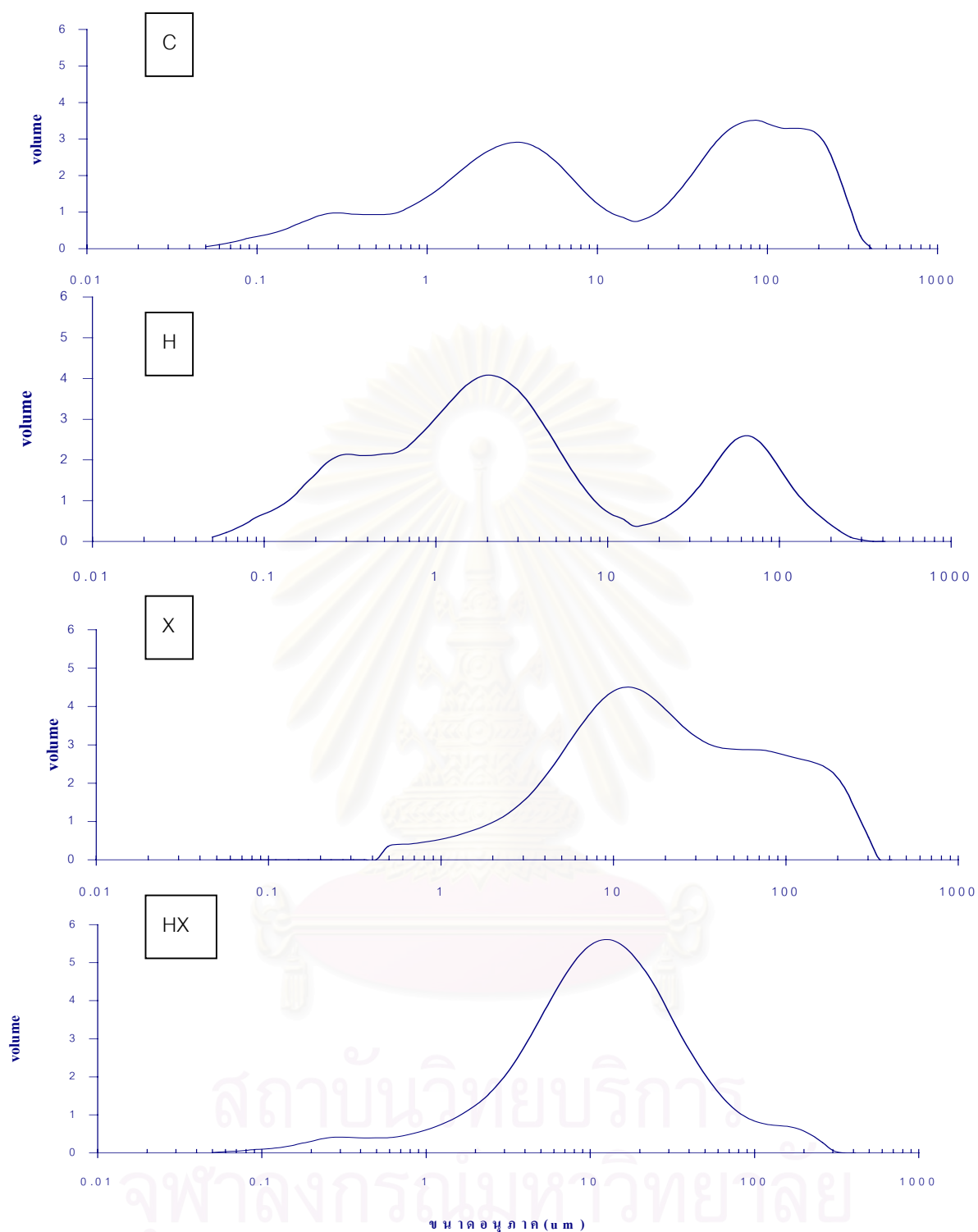
รูปที่ 4.10 คณนทางประสาตสัมพัตของน้ำกระทอนก่อนระเหย และน้ำกระทอนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน  $50 \pm 5$  mbar อุณหภูมิ 60 70 และ 80 °C (เฉพาะคณนกลินแปลกลอม 10 หมายถึงไม่มีกลินแปลกลอม)

เมื่ออุณหภูมิในการระเหยน้ำเพิ่มขึ้น คะแนนกลิ่นกระท้อนและการยอมรับรวมของ น้ำกระท้อนเข้มข้นเพิ่มขึ้น และน้ำกระท้อนที่เตรียมจากน้ำกระท้อนเข้มข้นที่ระเหยน้ำที่ 70 °C มี คะแนนสี กลิ่นกระท้อน และการยอมรับรวมสูงสุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างจากน้ำกระท้อนเข้มข้นอื่น อีก 2 ตัวอย่าง

ผลจากการทดลองแสดงว่า ตัวอย่างที่เตรียมโดยระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 70 °C ความดัน 50 mbar มีค่าสีไม่แตกต่างจากน้ำกระท้อนก่อนระเหย และมีคะแนนการยอมรับรวมในเกณฑ์สูง จึงเลือกภาวะนี้สำหรับการทดลองขั้นต่อไป แต่น้ำกระท้อนที่เตรียมจากน้ำกระท้อนเข้มข้นแยกชั้น เร็วเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 5 - 8 °C จึงศึกษาวิธีการรักษาเสถียรภาพความชุ่มชื้นต่อไป

#### 4.5 การรักษาเสถียรภาพความชุ่มชื้นของน้ำกระท้อนที่เตรียมจากน้ำกระท้อนเข้มข้น

น้ำกระท้อนตัวอย่างที่คัดเลือกได้จาก 4.4 นำมาผ่านกระบวนการรักษาเสถียรภาพความ ชุ่มชื้นด้วยการ homogenize ที่ความดัน 1000 psi หรือเติม xanthan gum เข้มข้น 0.1 % w/v หรือ homogenize ที่ความดัน 1000 psi และเติม xanthan gum เข้มข้น 0.1 % w/v วัดการกระจาย ของขนาดอนุภาค ปริมาณสารแขวนลอย(เมื่อเก็บตัวอย่างไว้ที่ 5 -8 °C และตรวจสอบทุกวันเป็นเวลา 1 เดือน) ค่าความคงตัวของความชุ่มชื้น(ตรวจสอบทุกสัปดาห์) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.11 - 4.14



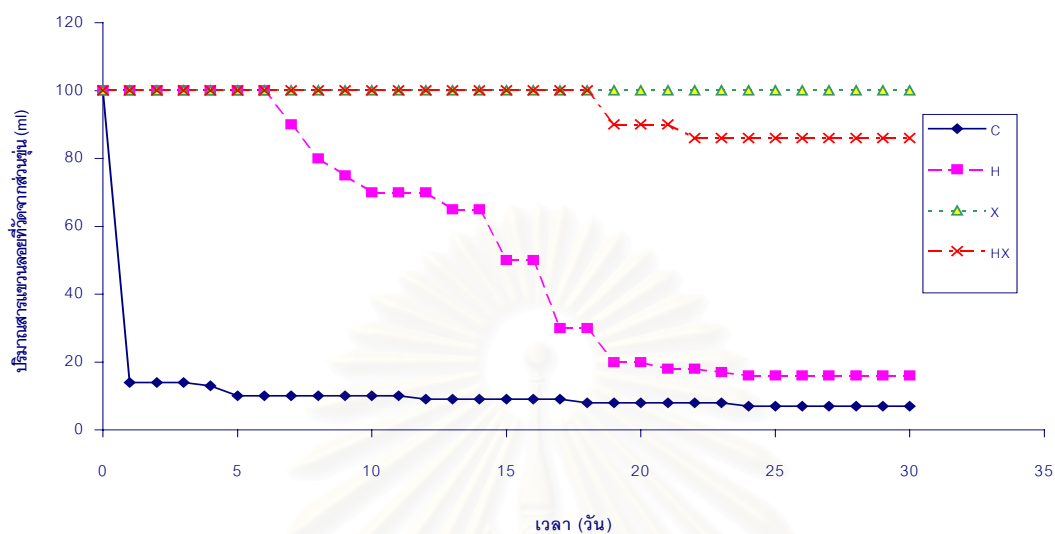
รูปที่ 4.11 การกระจายของขนาดอนุภาคในน้ำกระชอนตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระชอน homogenization (H) น้ำกระชอนเติม xanthan gum (X) และน้ำกระชอน homogenization -xanthan gum (HX)

**ตารางที่ 4.7** ปริมาตรของขนาดอนุภาคในน้ำกระท้อนตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระท้อน homogenization (H) น้ำกระท้อนเติม xanthan gum (X) และน้ำกระท้อน homogenization -xanthan gum (HX)

ตัวอย่าง น้ำกระท้อน	ปริมาตร (%)			
	ขนาด ( $\mu\text{m}$ ) < 1.06	1.06 – 10.48	10.49 – 103.58	> 103.58
C	13.65 <sup>b</sup> $\pm$ 0.14	34.27 <sup>c</sup> $\pm$ 0.61	29.18 <sup>b</sup> $\pm$ 0.44	22.90 <sup>a</sup> $\pm$ 0.41
H	29.92 <sup>a</sup> $\pm$ 0.46	44.29 <sup>a</sup> $\pm$ 0.91	20.28 <sup>c</sup> $\pm$ 0.50	5.52 <sup>c</sup> $\pm$ 0.87
X	2.11 <sup>d</sup> $\pm$ 0.08	29.53 <sup>d</sup> $\pm$ 1.24	52.16 <sup>a</sup> $\pm$ 0.58	16.22 <sup>b</sup> $\pm$ 0.78
HX	5.48 <sup>c</sup> $\pm$ 0.12	37.43 <sup>b</sup> $\pm$ 0.81	52.70 <sup>a</sup> $\pm$ 1.11	4.39 <sup>c</sup> $\pm$ 0.18

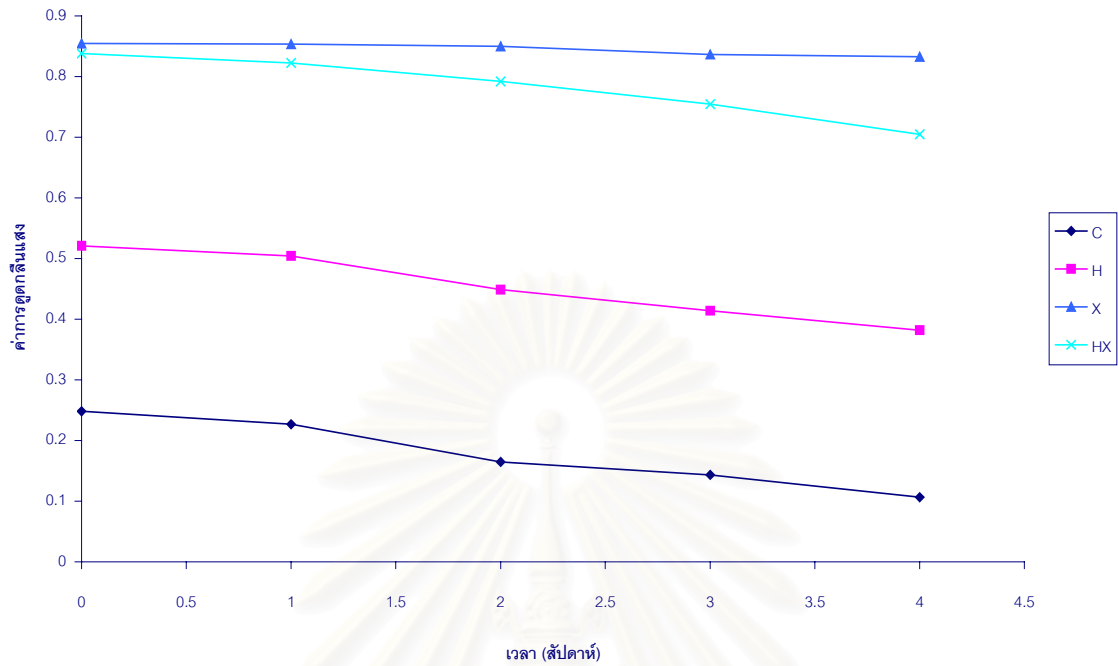
a,b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

homogenization มีผลเพิ่มปริมาตรของอนุภาคขนาดเล็ก (< 1.06 และ 1.06 – 10.48 ) และลดปริมาตรอนุภาคขนาดกลาง (10.49 – 103.58) และขนาดใหญ่ (> 103.58) การเติม xanthan gum เป็นผลให้มีอนุภาคขนาดเล็กและขนาดใหญ่ลดลง และอนุภาคขนาดกลางเพิ่มขึ้น การ homogenization และเติม xanthan gum มีผลให้อนุภาคขนาดใหญ่และอนุภาคขนาดเล็ก (< 1.06  $\mu\text{m}$ ) ลดลง เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม



**รูปที่ 4.12** ปริมาณสารแขวนลอยของตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระทัอน homogenization (H) น้ำกระทัอนเติม xanthan gum (X) และ น้ำกระทัอน homogenization - xanthan gum (HX) เมื่อเก็บที่ 5- 8°C เป็นเวลา 30 วัน

xanthan gum ช่วยให้น้ำกระทัอนมีความคงตัวของอนุภาคที่แขวนลอยดีที่สุด และไม่เกิดการแยกชั้นตลอดระยะเวลา 30 วัน ขณะที่น้ำกระทัอน homogenization และน้ำกระทัอน homogenization - xanthan gum คงตัวอยู่ได้นาน 6 และ 18 วัน ตามลำดับ โดยชั้นของส่วนชั้นลดลง 10 – 84 % ใน 6 – 19 วัน และ 10 – 14 % ใน 19 – 22 วัน ตามลำดับ ก่อนคงที่

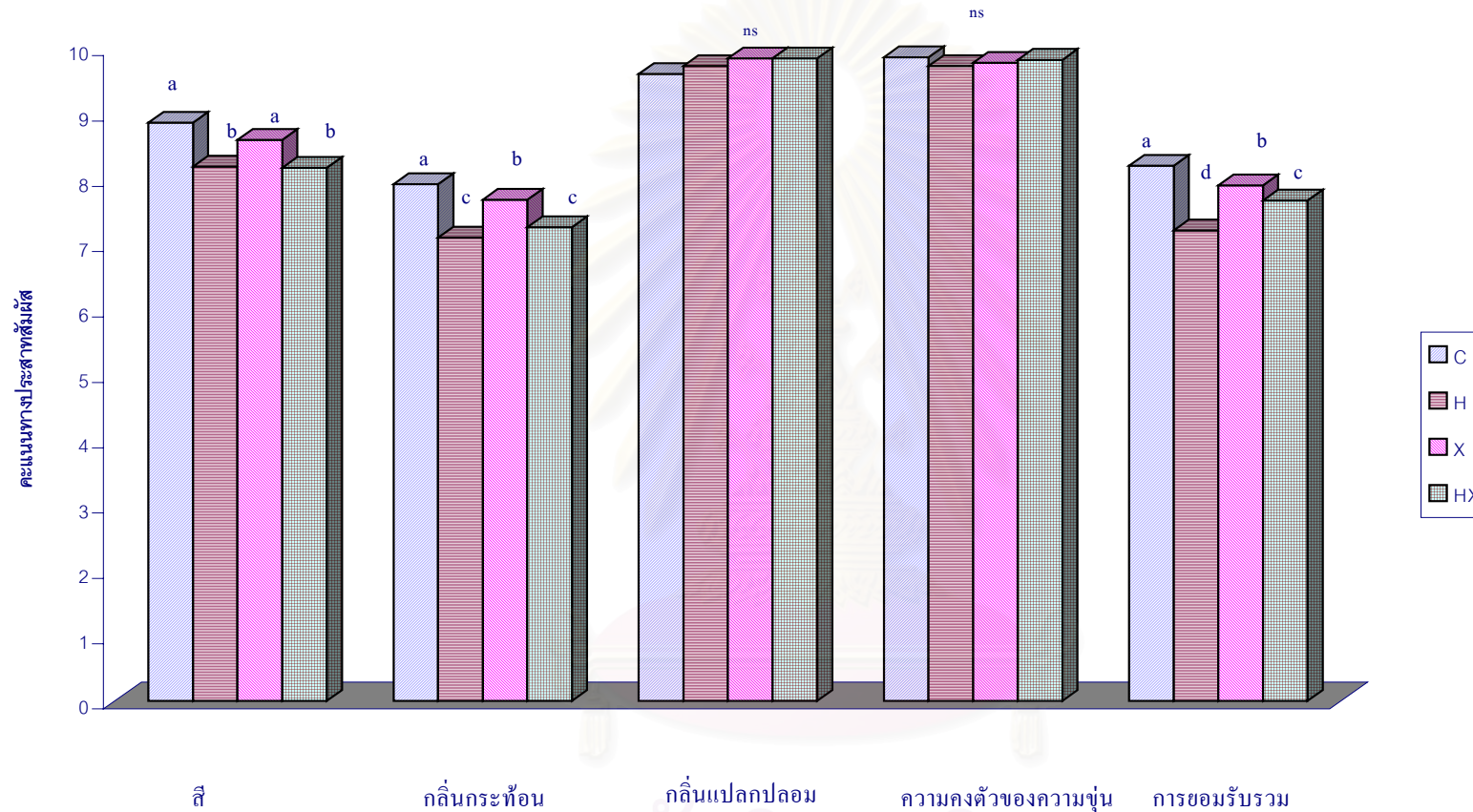


**รูปที่ 4.13** ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระทัอน homogenization (H) น้ำกระทัอนเติม xanthan gum (X) และ น้ำกระทัอน homogenization – xanthan gum (HX) เมื่อเก็บตัวอย่างที่ 5 - 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์

เมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น ความคงตัวของความขุ่นลดลง โดยน้ำกระทัอนที่เติม xanthan gum มีการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงน้อยที่สุด หรือ มีความคงตัวของความขุ่นสูงสุด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.14 คะแนนทางประสาธสัมพันธ์ของตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระทัอน homogenization (H) น้ำกระทัอนที่เติม xanthan gum (X) และน้ำกระทัอน homogenization - xanthan gum (HX) (เฉพาะคะแนนการกวนแปลกปลอม 10 หมายถึงไม่มีการกวนแปลกปลอม)

น้ำกระท้อน homogenization มีคะแนนด้านสี กลิ่นกระท้อน และการยอมรับรวมต่ำกว่า ตัวอย่างควบคุมและน้ำกระท้อนเติม xanthan gum ( $p \leq 0.05$ ) xanthan gum มีผลทำให้คะแนนด้านกลิ่นกระท้อน และการยอมรับรวมลดลง ( $p \leq 0.05$ ) แต่เมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นอีก 2 ตัวอย่างน้ำกระท้อนเติม xanthan gum ยังมีคะแนนทุกด้านสูงกว่า ( $p \leq 0.05$ )

จากผลการทดลองจึงเลือกวิธีรักษาเสถียรภาพความชุ่มชื้นในน้ำกระท้อนโดยการเติม xanthan gum 0.1 % เนื่องจากคะแนนการยอมรับรวมอยู่ในเกณฑ์ดี และความชุ่มชื้นมีเสถียรภาพอย่างน้อย 30 วัน

#### 4.6 การเสริมแคลเซียมและวิตามินดี

น้ำกระท้อนตัวอย่างที่เลือกได้จาก 4.5 นำมาเสริมวิตามินดีสาม 1.14  $\mu\text{g}$  /100 ml หรือ 45.45 IU/100 ml ซึ่งคิดเป็น 25 % ของปริมาณที่กำหนดไว้โดย Thai RDI แปรปริมาณแคลเซียมจาก calcium lactate gluconate เป็น 120 160 และ 200 mg/100 ml ซึ่งคิดเป็น 30 40 และ 50 % ของปริมาณที่กำหนดไว้โดย Thai RDI ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและวิตามินดี วัดค่า pH ความหนืด ค่าความคงตัวของความชุ่มชื้น ปริมาณสารแขวนลอย และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับข้อ 4.4 ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.8 – 4.10 และรูปที่ 4.15 – 4.17

ตารางที่ 4.8 ปริมาณแคลเซียมและวิตามินดีที่ตรวจพบในน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu$ g/100 ml

ปริมาณที่เติม	ปริมาณที่ตรวจพบ
แคลเซียม(mg/100ml)	
0	4.25 $\pm$ 0.07
120	123.42 $\pm$ 0.05
160	163.24 $\pm$ 0.12
200	203.79 $\pm$ 0.16
วิตามินดี( $\mu$ g/100ml)	
0	0.05 (วิตามินดีสอง)
1.14	1.10 (วิตามินดีสาม)

ตารางที่ 4.9 ค่า pH และความหนืดของน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu$ g/100 ml

ปริมาณแคลเซียม ที่เสริม (mg/100 ml)	pH	ความหนืด (centipoise)
0	3.67 <sup>d</sup> $\pm$ 0.02	10.58 <sup>d</sup> $\pm$ 0.15
120	3.91 <sup>c</sup> $\pm$ 0.03	11.57 <sup>c</sup> $\pm$ 0.35
160	3.96 <sup>b</sup> $\pm$ 0.02	12.30 <sup>b</sup> $\pm$ 0.36
200	4.00 <sup>a</sup> $\pm$ 0.02	14.07 <sup>a</sup> $\pm$ 0.21

a,b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

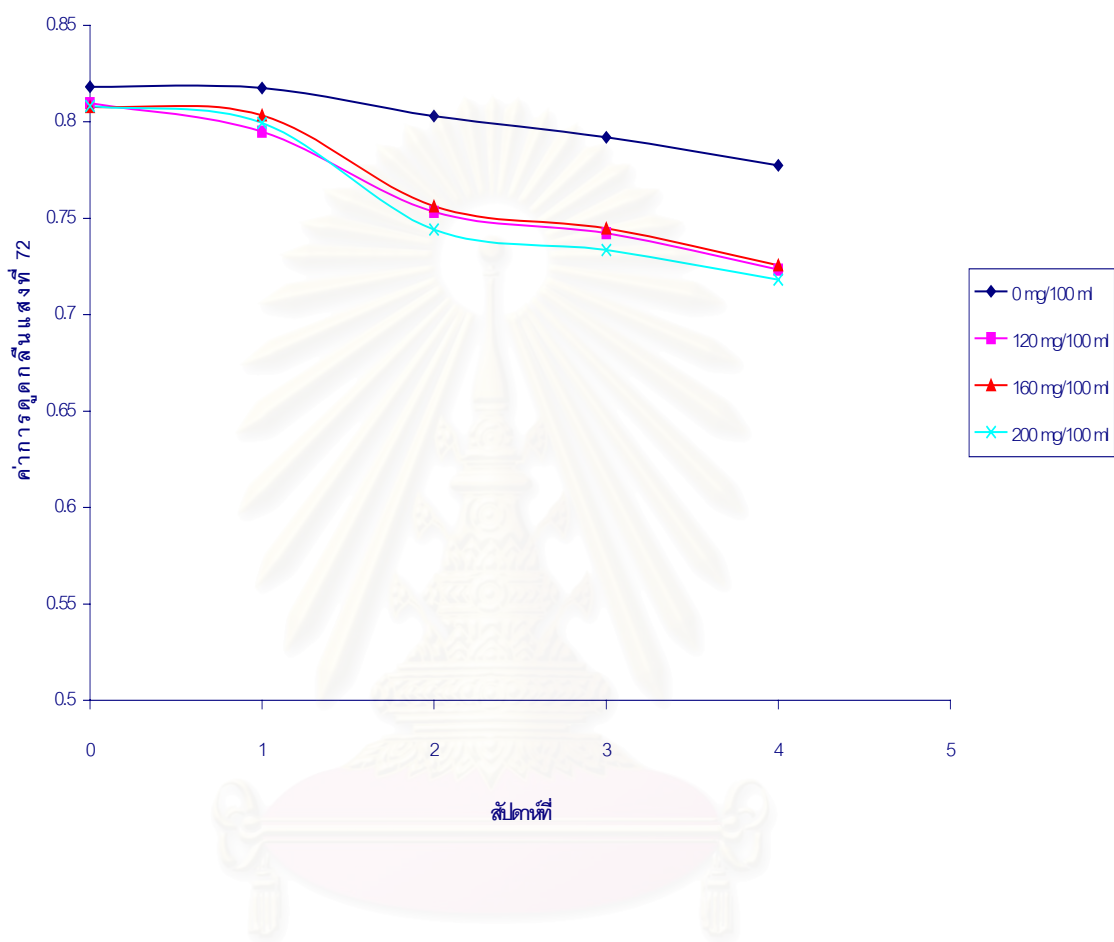
ตารางที่ 4.10 ค่าสีของน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และ วิตามินดีสาม 1.14  $\mu$ g/100 ml

ปริมาณแคลเซียม ที่เสริม (mg/100 ml)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
0	56.04 <sup>c</sup> $\pm$ 0.35	0.27 <sup>c</sup> $\pm$ 0.03	6.10 <sup>b</sup> $\pm$ 0.13
120	57.87 <sup>b</sup> $\pm$ 0.25	0.30 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.02	6.26 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.10
160	58.07 <sup>b</sup> $\pm$ 0.26	0.33 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.02	6.42 <sup>a</sup> $\pm$ 0.09
200	58.55 <sup>a</sup> $\pm$ 0.20	0.37 <sup>a</sup> $\pm$ 0.03	6.43 <sup>a</sup> $\pm$ 0.03

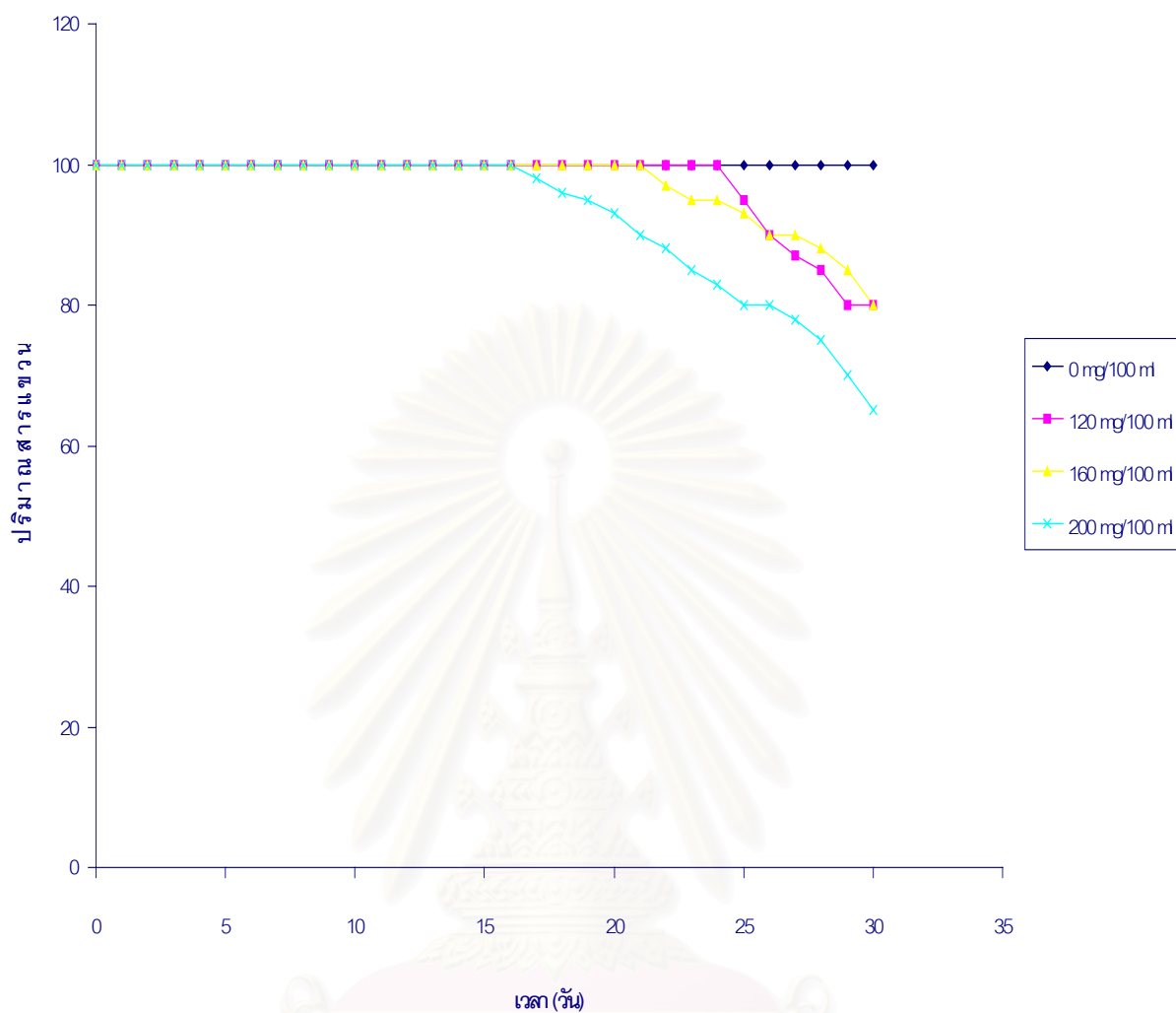
a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อปริมาณแคลเซียมที่เสริมลงในผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น มีผลให้ค่า pH ความหนืด ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

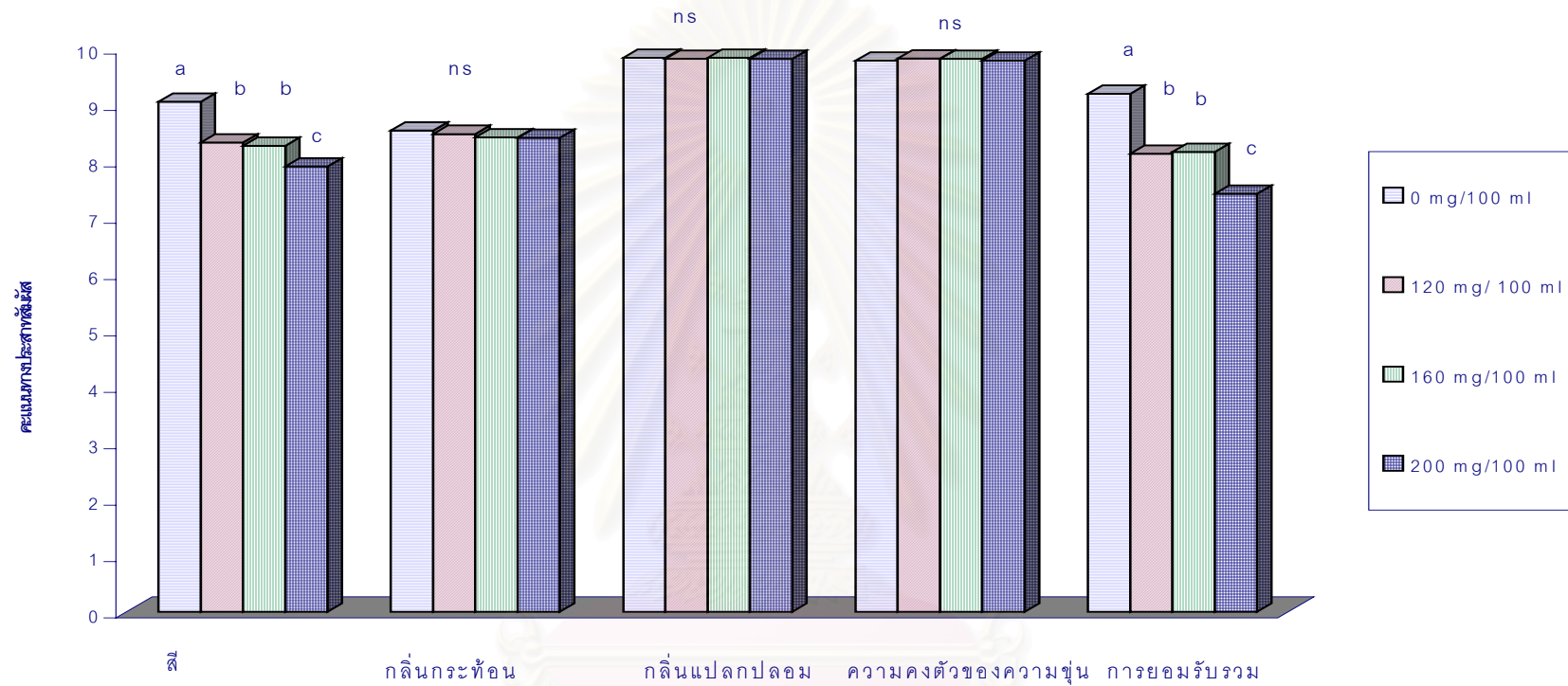


**รูปที่ 4.15** ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำกระทอนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  เมื่อเก็บที่ 5 - 8  $^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 4.16 ปริมาณสารแขวนลอยของน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  เก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 30 วัน

เมื่อปริมาณแคลเซียมที่เสริมและเวลาเก็บเพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลิ่นแสงลดลง และการเปลี่ยนแปลงเห็นได้ชัดในสัปดาห์ที่ 2 ขณะที่การแยกชั้นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการดูดกลิ่นแสง โดยน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 120 160 และ 200 mg/100 ml เกิดการแยกชั้นชัดเจนใน 16 21 และ 25 วันตามลำดับ



รูปที่ 4.17 คะแนนทางประสาทย้อมสีของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  (เฉพาะคะแนนกลิ่นแปลกลดอม 10 หมายถึงไม่มีกลิ่นแปลกลดอม)

การเสริมแคลเซียมมีผลทำให้คะแนนดีและการยอมรับรวมลดลง ผลิตภัณฑ์ที่มีแคลเซียมในปริมาณ 160 mg/100 ml มีคะแนนทางประสาทสัมผัสทั้ง 2 ด้านอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่า pH และความหนืด เพิ่มขึ้นไม่มากนัก จึงเลือกปริมาณแคลเซียมที่เสริมได้ในน้ำกระท้อนคือ 160 mg/100 ml

#### 4.7 อายุการเก็บของน้ำกระท้อนเข้มข้น และน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดี

##### 4.7.1 อายุการเก็บของน้ำกระท้อนเข้มข้น

น้ำกระท้อนเข้มข้นตัวอย่างที่เลือกได้จาก 4.4 นำมาให้ความร้อนที่ 80 °C 15 นาที บรรจุในขวดแก้วที่ล้างสะอาดและต้มในน้ำเดือดแล้วเป็นเวลา 15 นาที ปิดผนึกฝาซึ่งผ่านการลวกด้วยน้ำเดือดแล้ว 2 ครั้งๆ ละ 10 นาที แล้วทำให้เย็นอย่างรวดเร็วด้วยน้ำประปาที่ไหลตลอดเวลา และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10, 27, 35 และ 55°C ระหว่างการเก็บสุ่มตัวอย่างทุก 3 วัน วัดสี (L\*, a\*, b\*) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี และสุ่มตัวอย่างทุก 5 วัน ตรวจนับปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และรา เพื่อหาอายุการเก็บของน้ำกระท้อนเข้มข้น ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.18 – 4.22 และตารางที่ 4.11

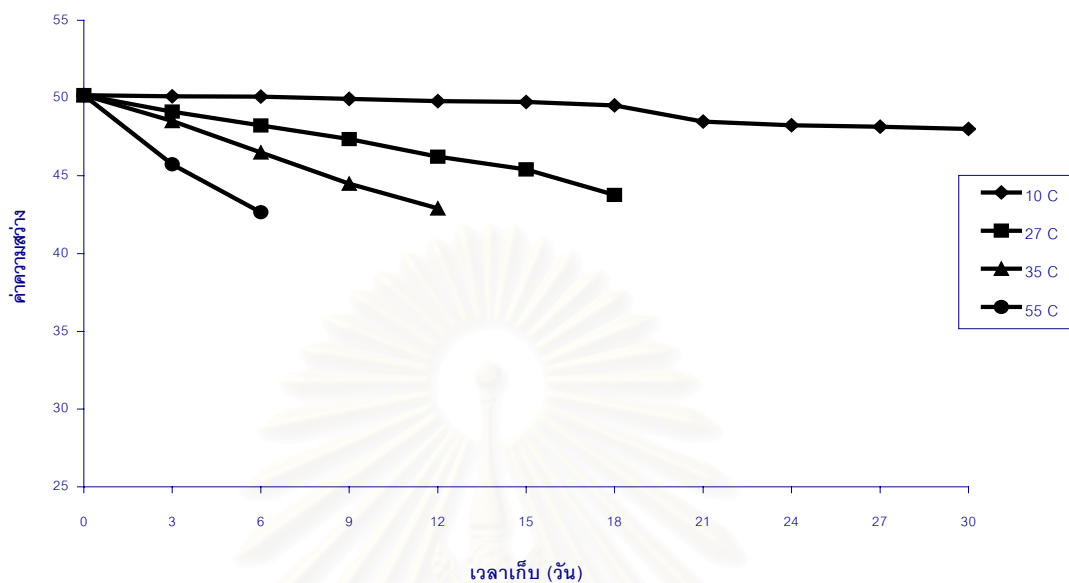
**ตารางที่ 4.11** ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และราของน้ำกระท้อนเข้มข้นเก็บที่ 10 27 35 และ 55 °C

เวลาเก็บ (วัน)	อุณหภูมิเก็บ	แบคทีเรียทั้งหมด (CFU/ml)	ยีสต์และรา (CFU/ml)
0	10 - 55	-	-
5	10 - 55	-	-
10	10 - 55	-	-
15	10 - 55	-	-
20	10 - 55	-	-
25	10 - 55	-	-
30	10 - 55	-	-

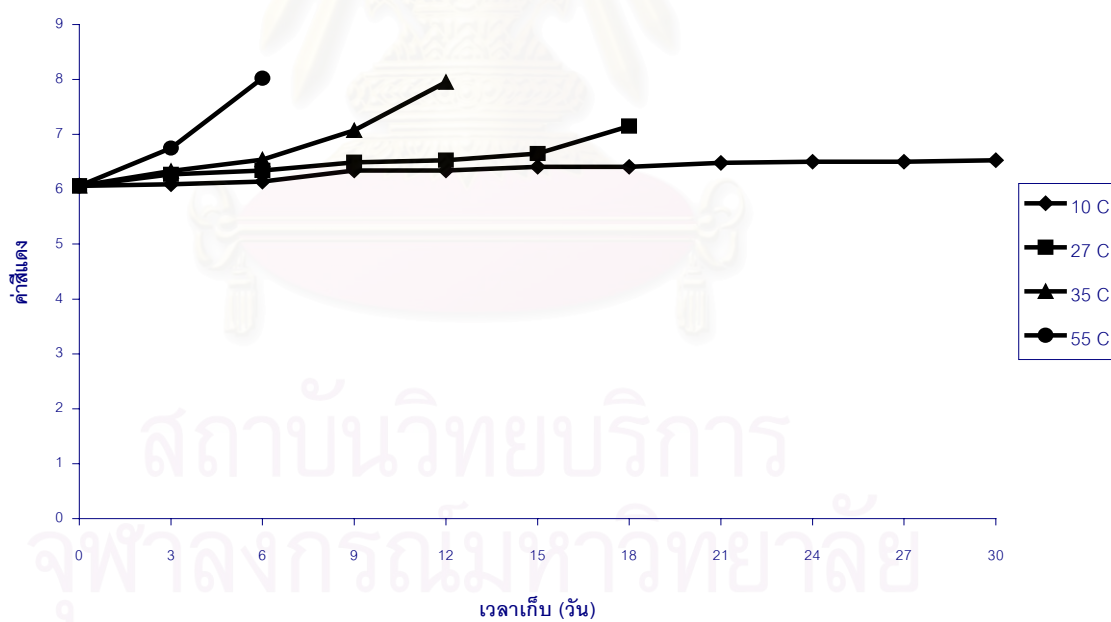
- หมายถึง ตรวจไม่พบ



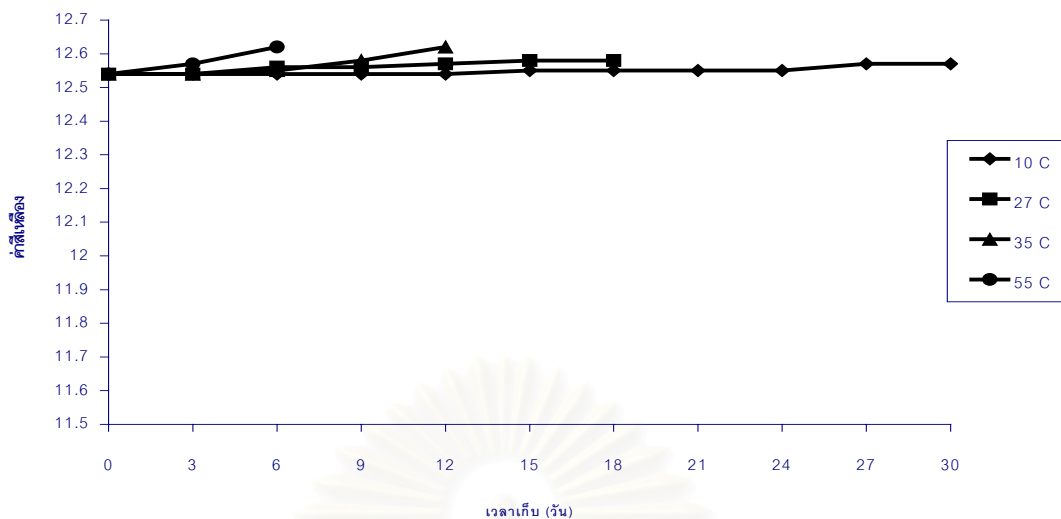
น้ำกระທ້อนຂໍ້ມູນທຸກອຸณหภูมิตຽວຈໍາພໍບໍ່ພົບການເຈຽບເຕີບໂຕຂອງແບคທີ່ເຮືຍທັງທຸມด ຢືດດໍ່ລະ  
ຣາຕລອດຣະຍະເວລາເກັບ



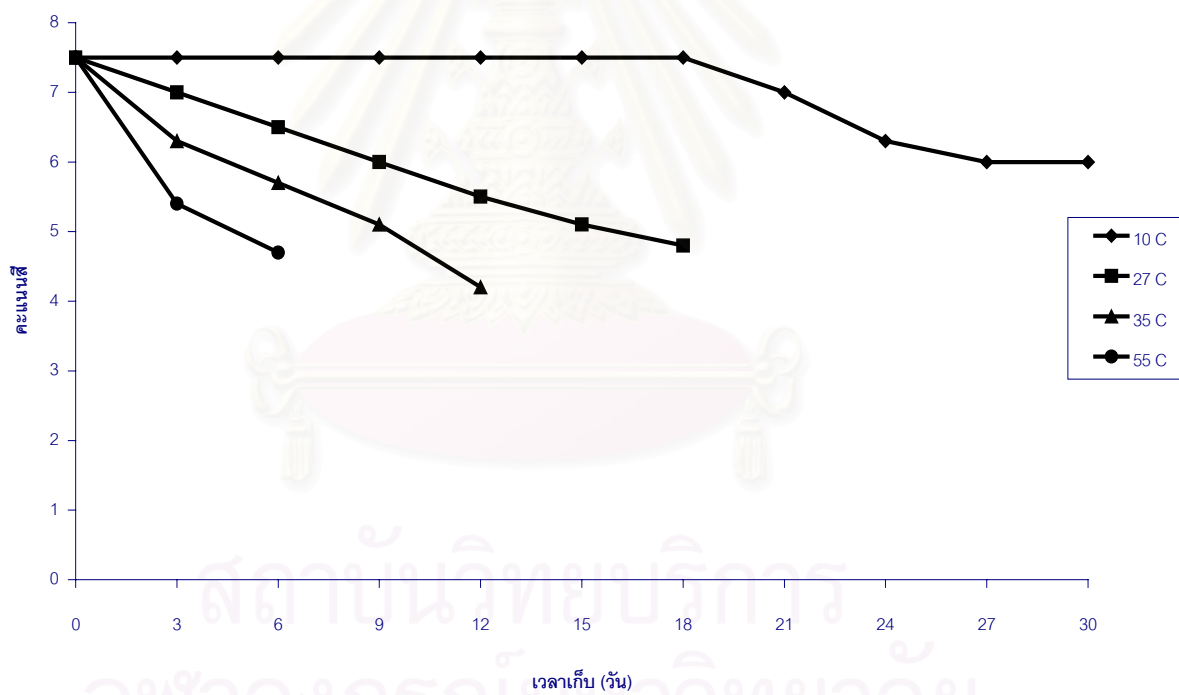
รูปที่ 4.18 ค่าความสว่างของน้ำกระທ້อนຂໍ້ມູນທຸມື່ອເກັບທີ່ 10 27 35 ແລະ 55 °C ເປັນເວລາ 30 ວັນ



รูปที่ 4.19 ค่าสีแดงของน้ำกระທ້อนຂໍ້ມູນທຸມື່ອເກັບທີ່ 10 27 35 ແລະ 55 °C ເປັນເວລາ 30 ວັນ



รูปที่ 4.20 ค่าสีเหลืองของน้ำกระท้อนเข้มข้นเมื่อเก็บที่ 10 27 35 และ 55 °C เป็นเวลา 30 วัน



รูปที่ 4.21 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีของน้ำกระท้อนเข้มข้นเมื่อเก็บที่ 10 27 35 และ 55 °C เป็นเวลา 30 วัน (คะแนน 5 ถือเป็นคะแนนไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์)

เวลาเก็บที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในตัวอย่างซึ่งเก็บที่ 10 °C แต่ค่าความสว่างของตัวอย่างซึ่งเก็บที่ 27 35 และ 55 °C ลดลง และค่าสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเก็บเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามตัวอย่างทั้ง 3 นี้ ไม่ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าสีตลอดระยะเวลาเก็บเนื่องจากพิจารณาจากคะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ แล้วพบว่าเมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนสีลดลง และผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่ 27 35 และ 55 °C มีคะแนนสีน้อยกว่า 5 คะแนน หลังจาก 18 12 และ 6 วันตามลำดับ ซึ่งคะแนน 5 ถือเป็นคะแนนไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

สรุปว่า น้ำกระท้อนเข้มข้นมีอายุการเก็บอย่างน้อย 30 วันที่อุณหภูมิ 10 °C และมีอายุการเก็บ 18 12 และ 6 วัน เมื่อเก็บที่ 27 35 และ 55 °C ตามลำดับ

#### 4.7.2 อายุการเก็บของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดี

น้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดีจาก 4.6 นำมาให้ความร้อนที่ 75 °C 15 นาที บรรจุในขวดแก้วที่ล้างสะอาดและต้มในน้ำเดือดแล้วเป็นเวลา 15 นาที ปิดฝาซึ่งผ่านการลวกด้วยน้ำเดือดแล้ว 2 ครั้ง ๆ ละ 10 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำให้เย็นอย่างรวดเร็วด้วยน้ำประปาที่ไหลตลอดเวลา และเก็บที่อุณหภูมิ 5 – 8 °C เป็นเวลา 1 เดือน ระหว่างการเก็บสุ่มตัวอย่างทุก 1 สัปดาห์ เพื่อประเมินคุณภาพของน้ำกระท้อน ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และรา และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับข้อ 4.4 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.12 – 4.15 และรูปที่ 4.22

**ตารางที่ 4.12** ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และราของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml เมื่อเก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์

เวลาเก็บ(สัปดาห์)	แบคทีเรียทั้งหมด (CFU/ml)	ยีสต์และรา(CFU/ml)
0	-	-
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-

- หมายถึง ตรวจไม่พบ

**ตารางที่ 4.13** ค่า pH กรดทั้งหมด ของแข็งที่ละลายได้ และเพคตินในน้ำกระท้อนเสริม แคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  เมื่อเก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	pH <sup>ns</sup>	กรดทั้งหมด <sup>ns</sup> (%)	ของแข็งที่ละลายได้ <sup>ns</sup> (°Brix)	เพคติน <sup>ns</sup> (mg/100g)
0	3.91 ± 0.02	0.54 ± 0.01	9.60 ± 0.2	729.47 ± 4.32
1	3.92 ± 0.02	0.53 ± 0.01	9.53 ± 0.11	730.03 ± 2.85
2	3.91 ± 0.01	0.54 ± 0.01	9.47 ± 0.11	731.33 ± 9.50
3	3.93 ± 0.02	0.53 ± 0.02	9.33 ± 0.11	729.93 ± 4.20
4	3.91 ± 0.01	0.54 ± 0.01	9.27 ± 0.23	730.73 ± 10.60

ns ไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

**ตารางที่ 4.14** ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และแคลเซียมที่ตรวจพบในน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  เมื่อเก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	น้ำตาลรีดิวซ์ (g/l)	แคลเซียมที่ตรวจพบ (mg/100ml) <sup>ns</sup>
0	27.84 <sup>a</sup> ± 0.35	163.40 ± 0.53
1	27.48 <sup>a</sup> ± 0.18	162.67 ± 0.35
2	26.51 <sup>b</sup> ± 0.09	162.74 ± 0.04
3	26.00 <sup>b</sup> ± 0.18	163.68 ± 0.12
4	25.28 <sup>c</sup> ± 0.58	162.77 ± 0.28

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

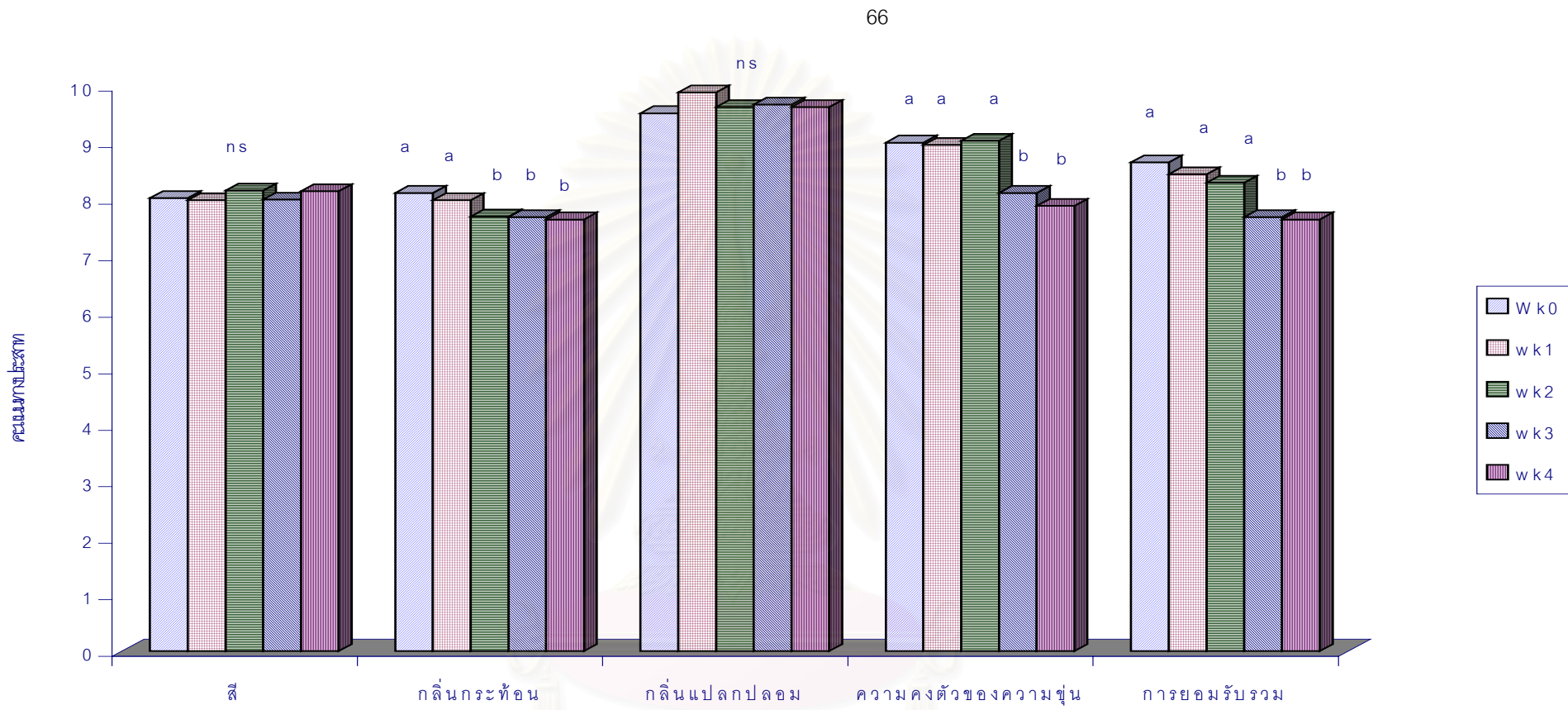
ns ไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.15 ค่าสีของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  เมื่อเก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
0	58.25 <sup>e</sup> ± 0.07	0.37 <sup>d</sup> ± 0.03	6.39 <sup>e</sup> ± 0.03
1	59.00 <sup>d</sup> ± 0.10	0.43 <sup>c</sup> ± 0.03	6.56 <sup>d</sup> ± 0.05
2	59.51 <sup>c</sup> ± 0.33	0.48 <sup>b</sup> ± 0.25	6.84 <sup>c</sup> ± 0.06
3	60.36 <sup>b</sup> ± 0.16	0.50 <sup>a</sup> ± 0.02	7.26 <sup>b</sup> ± 0.08
4	61.34 <sup>a</sup> ± 0.10	0.54 <sup>a</sup> ± 0.02	7.47 <sup>a</sup> ± 0.06

a,b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

จากการตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และรา พบว่า ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อดังกล่าวในน้ำกระท้อนตลอดระยะเวลาการเก็บ และเมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น มีผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง ขณะที่ค่าความสว่าง สีแดงและสีเหลืองของน้ำกระท้อนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.22 คะแนนทางประสาทสัมผัสของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml เมื่อเก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (คะแนน 5 ถือเป็นคะแนนไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์)

เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนกลิ่นกระท้อน ความคงตัวของความชุ่ม และการยอมรับรวมของน้ำกระท้อนลดลง แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ดี

สรุปว่า น้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดี มีอายุการเก็บอย่างน้อย 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 – 8 °C โดยยังมีคุณภาพด้านเคมี จุลินทรีย์ และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### วิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 การเตรียมวัตถุดิบ

##### 5.1.1 เตรียมเนื้อกระท้อนสำหรับการสกัดน้ำ

กระท้อนเป็นผลไม้ที่ออกสู่ตลาดเพียงปีละครั้ง คือตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน (กองบรรณาธิการเฉพาะกิจ สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, 2541) และเกิดสีน้ำตาลขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อปอกเปลือกเนื่องจากปฏิกิริยาของสารประกอบ phenols ที่อยู่ในเซลล์พืชกับเอนไซม์ PPO และออกซิเจนในอากาศ (Sapers, 1993) ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ การยับยั้งเอนไซม์นี้ทำได้หลายวิธี โดยการใช้พลังงานความร้อน การใช้สารเคมีเช่น กรด citric การเติมสาร reducing เช่น กรด ascorbic การใช้พลังงานความร้อนเป็นวิธีที่ง่ายและนิยมใช้ในอุตสาหกรรมงานทดลองขั้นนี้จึงได้ศึกษาภาวะการให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อนอุณหภูมิ 88 - 90 °C ความดัน 5 - 7 kg.f/cm<sup>2</sup> กับเนื้อกระท้อนที่ผ่านการปอกเปลือกและตัดแต่งแล้ว เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO

จากตารางที่ 4.1 พบว่า การให้ความร้อนด้วยวิธีและภาวะที่กล่าวเป็นเวลา 5 นาที ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้ โดยทั่วไปเอนไซม์ PPO เข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบ phenols ในสภาวะที่มีออกซิเจนได้ O-diphenol ซึ่ง oxidize ต่อได้เป็น  $\beta$ -quinone สารดังกล่าวจะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบ phenols อื่นๆ หรือกรดอะมิโนได้เป็นสารเชิงซ้อนสีน้ำตาล ซึ่ง pH ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 5 - 7 และอุณหภูมิ 20 - 30 °C (Sapers, 1993; Fennema, 1996) และ Mayer et al. (1993) กล่าวว่า เอนไซม์นี้ถูกทำลายได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 85 °C ขึ้นไป ซึ่งสอดคล้องกับภาวะที่ใช้ในงานทดลองนี้

##### 5.1.2 สกัดน้ำกระท้อน

การสกัดน้ำผลไม้ประกอบด้วยกระบวนการต่อเนื่อง 2 กระบวนการ ได้แก่ การตีปั่นและการคั้น การตีปั่นเป็นการทำให้ขนาดของผลไม้เล็กลง เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการสกัด หลังจากนั้นจึงสกัดส่วนที่เป็นน้ำแยกออกจากส่วนเนื้อโดยใช้แรงกดทับ หรือบีบอัดเนื้อผลไม้ตีปั่น (Crues, 1958) ผลไม้แต่ละชนิดใช้วิธีการสกัดแตกต่างกัน ผลไม้ที่มีเนื้อมาก เช่น สับปะรด



นิยมใช้เครื่องสับขนาดเล็ก หรือขนาดใหญ่ที่เรียก hammer mill (Cruess, 1958) ผลไม้ตระกูลส้ม นิยมใช้เครื่องคั้นที่ออกแบบโดยเฉพาะ ได้แก่ FMC cup extractor และ Brown reamers (Kimball, 1999) การทดลองในขั้นนี้จึงศึกษาการสกัดน้ำกระท้อนด้วยเครื่องคั้นน้ำแยกกากซึ่งหลักการในการทำงานคล้าย hammer mill ร่วมกับการบีบอัดกากที่ได้ด้วยเครื่อง hydraulic press ที่ความดัน 100 psi ซึ่งเป็นความดันสูงสุดที่เครื่องสามารถทำได้ แปรเวลาในการบีบอัดเป็น 9 12 และ 15 นาที แล้ววัดปริมาณผลผลิตของน้ำกระท้อนทั้งหมดที่สกัดได้

จากตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการบีบอัดเพิ่มขึ้น ผลผลิตของน้ำกระท้อนทั้งหมดที่สกัดได้เพิ่มขึ้น โดยปริมาณจากการบีบอัดด้วยเครื่อง hydraulic press 12 นาที และ 15 นาที ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) โดยการบีบอัดกากให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 50% โดยปริมาตรของปริมาณผลผลิตที่ได้จากเครื่องคั้นน้ำแบบแยกกาก Fellows (2000) อธิบายว่า น้ำผลไม้หรือ juice โดยทั่วไปอยู่ภายในเซลล์ของพืชและจำเป็นต้องทำลายเซลล์เพื่อสกัดออกมา ซึ่งเมื่อเพิ่มเวลาในการบีบอัดน้ำในโครงสร้างก็ถูกขับออกมาได้มากขึ้น แต่แรงที่ให้จะมีระดับสูงสุดเพราะจะมีจุดหนึ่งที่มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ capillary structure ของกากผลไม้ ทำให้ทางผ่านที่น้ำผลไม้จะถูกขับออกมาแคบลง (Binnig and Possmann, 1993) ผลผลิตโดยรวมจึงไม่เพิ่มมากนัก

งานทดลองนี้จึงเลือกภาวะในการสกัดน้ำกระท้อนโดยใช้เครื่องคั้นน้ำแบบแยกกากร่วมกับการบีบอัดกากด้วยเครื่อง hydraulic press เป็นเวลา 12 นาที ซึ่งเป็นภาวะที่ให้ผลผลิตโดยรวมสูงสุดและสีของน้ำกระท้อนไม่เปลี่ยนแปลง

## 5.2 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำกระท้อน

องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการผลิตจึงจำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำกระท้อนที่ใช้ในการทดลองก่อน จากตารางที่ 4.3 พบว่าในน้ำกระท้อนมีโปรตีนและไขมัน 0.58 และ 0.1 % ตามลำดับ โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำผลไม้มีผลต่อความขุ่นของผลิตภัณฑ์ โดย pH ของน้ำผลไม้ที่ต่ำกว่า isoelectric point (pI) ของโปรตีนส่งผลให้โปรตีนในน้ำผลไม้มีประจุบวกและถูกล้อมรอบด้วยเพคตินที่มีประจุลบ ซึ่งมีผลช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบ colloid ในน้ำผลไม้ ทำให้เกิดลักษณะ cloud ขึ้นในน้ำผลไม้ (Baker and Bruemmer, 1973; Binnig and Possmann, 1993; Klavons et al., 1994) และงานวิจัยนี้จะผลิตน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดี โดยวิตามินดีเป็นวิตามินที่ละลายในน้ำมัน จึงจำเป็นต้องทราบปริมาณไขมันในน้ำกระท้อน พบว่าโปรตีนและไขมันในน้ำกระท้อนมีอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อ

เทียบกับน้ำผลไม้อื่นทั่วไป เช่น โปรตีนในน้ำแอปเปิ้ลมีอยู่ 0.03-0.2 % ในน้ำสับปะรดมี 0.4 – 0.5 % น้ำองุ่นมี 0.1 – 0.2 % ส่วนปริมาณไขมันมีรายงานว่าเป็นน้ำสับปะรด น้ำองุ่น และน้ำส้มมี 0.1 , 0.08 – 0.1 และ 0.08 – 0.09 % ตามลำดับ (Chen, 1993) นอกจากนั้นกระท้อนยังเป็นผลไม้ที่มีปริมาณเพคตินสูงคือ 722.2 mg/100 g เช่นเดียวกับฝรั่งซึ่งเป็นผลไม้อีกชนิดที่มีเพคตินสูงถึง 705 – 804 mg/100 g (Yen and Song, 1998) ในขณะที่น้ำสับปะรด น้ำเสาวรสมีเพคตินเพียง 70 และ 170 mg/100 g ตามลำดับ (วัลลีย์ ชาญสุขสุรโชติ, 2538) โดยทั่วไปผลไม้ที่มีเพคตินสูงนำมาแปรรูปเป็นน้ำผลไม้แบบใสได้ยาก เพราะเพคตินทำปฏิกิริยากับโปรตีนได้ตะกอนซึ่งมีลักษณะเป็นเจล และกรองออกจากระบบได้ยาก กระท้อนจึงเป็นผลไม้ที่เหมาะสมแก่การแปรรูปเป็นน้ำผลไม้แบบขุ่น

สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำกระท้อน (ตารางที่ 4.3) พบว่ามีค่า pH ในช่วงที่เป็นกรดคือ 3.13 มีปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคำนวณเป็นกรด citric เท่ากับ 0.57 % โดยน้ำหนักของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 8.85 °Brix และมีน้ำตาลรีดิวซ์ 28.92 g/l ทำให้น้ำกระท้อนมีรสชาติหวานอมเปรี้ยว เนื่องจากมีกรดต่ำและน้ำตาลรีดิวซ์ค่อนข้างสูง และพบว่าสีของน้ำกระท้อนที่สกัดได้มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) 56.031 ค่าสีแดง ( $a^*$ ) 0.348 และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) 2.195 ซึ่งมีลักษณะปรากฏเมื่อมองด้วยตาเปล่าเป็นสีเนื้ออมส้ม

### 5.3 การให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ PME

เอนไซม์ PME หรือ PE พบในผลไม้ทุกชนิด เอนไซม์นี้ hydrolyze หมู่ methyl ออกจากโมเลกุลของเพคตินได้ ทำให้เกิดกรด pectic ที่ทำปฏิกิริยากับ divalent cation เช่น แคลเซียม ไอออน เกิดสารประกอบ calcium pectate ที่ไม่ละลายน้ำและตกตะกอนลงมา (Pilnik and Rombouts, 1979; Kimball, 1999) ถ้าเอนไซม์ 2 ชนิดนี้ไม่ถูกทำลายหลังกระบวนการสกัดน้ำผลไม้ จะมีผลต่อการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น โดย calcium pectate ที่เกิดขึ้นจะเป็นเจลในระหว่างการทำให้เข้มข้น ส่งผลให้การคืนรูปของน้ำผลไม้เข้มข้นเกิดได้ไม่ดี (Perera and Baldwin, 2001) การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทำได้หลายวิธี การใช้ความร้อนเป็นวิธีดั้งเดิมและนิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากที่สุด เพราะปฏิบัติได้ง่าย และความร้อนยังทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้ด้วย เนื่องจากเอนไซม์ PME ทนความร้อนที่อุณหภูมิที่สูงกว่าเชื้อจุลินทรีย์ทั่วไปที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในน้ำผลไม้ (Balestrieri et al., 1991) นอกจากนั้นภาวะในการให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ยังทำได้ในช่วงกว้าง งานทดลองในขั้นตอนนี้จึงได้ศึกษาภาวะในการให้ความร้อนโดยแปรอุณหภูมิอยู่ในช่วง 70 – 90 °C และแปรเวลาเป็น 60 – 120 วินาที วางแผนการทดลองโดยใช้ RSM แบบ CCD เพื่อหาภาวะในการยับยั้ง activity ของเอนไซม์ PME

ผลการวิเคราะห์การทำงานของเอนไซม์ PME ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และกราฟอนุกรมของเส้นตรงหรือเส้นโค้งที่แสดง activity ของเอนไซม์ (รูปที่ 4.2) พบว่า activity ของเอนไซม์ลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาและความคงตัวของเอนไซม์ โดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิในการให้ความร้อนที่สูงเกินอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์ (optimum temperature) มีผลทำให้เอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนเสียสภาพตามธรรมชาติ และสูญเสียความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา และภาวะการสูญเสียความสามารถในการทำงานเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น (DeMan, 1990; Fennema, 1996) นอกจากนั้นเวลาในการให้ความร้อนยังมีผลต่อ activity ของเอนไซม์ โดยเมื่อเพิ่มเวลาให้ความร้อน activity ของเอนไซม์ลดลง Vesterg et al. (1980) พบว่า น้ำส้มเมื่อใช้อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 23 วินาที ลด activity ของเอนไซม์ PME เหลือเพียง 10 % ของ activity เริ่มต้น ในขณะที่ถ้าเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนเป็น 1 นาที activity ของเอนไซม์เหลือน้อยกว่า 5 % ของ activity เริ่มต้น ซึ่งผลที่กล่าวมาสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลองนี้ ซึ่งจากรูปที่ 4.2 คำนวณความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อ activity ของเอนไซม์ PME ในน้ำกระท้อน ได้ดังนี้ คือ

$$z = -2.129623 + 0.0992600x - 0.000889x^2 - 0.000082y^2 + 0.000148xy \quad (R^2=0.94)$$

z คือ activity ของเอนไซม์ PME (units/mL) x คือ อุณหภูมิ (°C) และ y คือ เวลา (วินาที)

จากสมการดังกล่าวเมื่อคำนวณอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการยับยั้ง activity ของเอนไซม์ จะได้หลายภาวะ เช่น 65 °C , 160.37 วินาที หรือ 75 °C, 159 วินาที หรือ 80 °C, 154.02 หรือ 92 °C, 60 วินาที เป็นต้น ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ลดลง

ผลของการให้ความร้อนต่อค่าความสว่าง (L\*) และค่าสีแดง (a\*) ของน้ำกระท้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 – 4.6 จากรูปที่ 4.3 และ contour plot ของค่าความสว่าง (รูปที่ 4.4) แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างของน้ำกระท้อนลดลง เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปฏิกิริยา Maillard ที่เกิดจากสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิล เช่น น้ำตาลรีดิวิตซ์ ทำปฏิกิริยากับหมู่เอมิโนของโปรตีนในน้ำผลไม้ และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลเกิดขึ้นในระหว่างการให้ความร้อน โดยปฏิกิริยานี้เกิดได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและยังผันแปรไปตามระยะเวลาที่ใช้ด้วย (DeMan, 1990; Sapers, 1993) อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ปริมาณสารสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของน้ำกระท้อนลดลง นอกจากนั้นเวลาในการให้ความร้อนยังมีผลต่อความสว่างอีกด้วย โดยถ้าพิจารณาที่อุณหภูมิ

เดียวกันเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นค่าความสว่างของน้ำกระท้อนลดลง เนื่องจากเวลาในการสัมผัสพลังงานความร้อนนานขึ้น สารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิดมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาได้ยาวนานขึ้นเช่นกัน

สำหรับอิทธิพลของพลังงานความร้อนต่อค่าสีแดงของน้ำกระท้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงของน้ำกระท้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับการลดลงของค่าความสว่าง อย่างไรก็ตามค่า  $R^2$  ของสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาต่อค่าสีแดง (สมการ 4.3.3) ต่ำ ดังนั้นการหาภาวะเหมาะสมในการให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ PME จึงขึ้นกราฟ contour ที่แสดงภาวะที่ทำให้ activity ของเอนไซม์ เป็น 0 และ contour ของค่าความสว่างของน้ำกระท้อนเท่านั้น (รูปที่ 4.7) พบว่า การให้ความร้อนที่ใช้อุณหภูมิต่ำ - เวลานาน มีผลให้ค่าความสว่างของน้ำกระท้อนต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้ภาวะอุณหภูมิสูง - เวลาสั้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Maillard ดังได้อธิบายไว้ข้างต้น ดังนั้นในงานทดลองนี้จึงเลือกใช้ภาวะในการให้ความร้อนเพื่อยับยั้ง activity ของเอนไซม์ PME เป็น  $92^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 นาที

#### 5.4 การผลิตน้ำกระท้อนเข้มข้น

กระบวนการทำให้เข้มข้นเป็นกระบวนการดึงน้ำบางส่วนออกจากอาหารเหลว ทำให้สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น เป็นผลให้ค่า  $a_w$  ลดลง (Fellows, 1990) ช่วยประหยัดภาชนะบรรจุ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษา (Woodroof and Luh, 1975) การทำให้เข้มข้นโดยการระเหยน้ำที่ภาวะสูญญากาศเป็นวิธีที่ทำให้ความเข้มข้นเพิ่มได้ถึง 4 เท่าของปริมาณของแข็งเริ่มต้น แต่พลังงานความร้อนและภาวะความดันต่ำที่ใช้ อาจทำให้เกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรส สารอาหารสำคัญ และอาจเกิดการเปลี่ยนสีของน้ำผลไม้ด้วย อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยไม่เกิน  $100^{\circ}\text{C}$  การเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่กล่าวมาเกิดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Woodroof and Luh, 1975 ; Deshpanda et al., 1982) นอกจากนั้นวิธีนี้ยังนิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องมือและการดำเนินงานต่ำ ดูแลรักษาง่ายและสามารถระเหยจนได้ความเข้มข้นสูงตามความต้องการของผู้ผลิต (Thijssen, 1970) งานทดลองนี้จึงเลือกใช้เครื่อง rotary evaporator ในการผลิตน้ำกระท้อนเข้มข้น โดยแปรอุณหภูมิในการระเหยน้ำเป็น 60, 70 และ  $80^{\circ}\text{C}$  จนได้น้ำกระท้อนเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เป็น 4 เท่าของน้ำกระท้อนเริ่มต้น ( $36^{\circ}\text{Brix}$ ) โดยระหว่างการระเหยควบคุมความดันภายในไม่เกิน 50 mbar และใช้ความเร็วรอบในการหมุนเป็น 100 rpm ตัวอย่างที่ได้วัดสี ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และเตรียมตัวอย่างน้ำกระท้อนโดยเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 1 : 3 น้ำกระท้อนที่เตรียมได้วัดสี

ปริมาณสารแขวนลอย ค่าความคงตัวของความขุ่น และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผลที่ได้มีดังแสดงในตารางที่ 4.4 – 4.6 และรูปที่ 4.9 และ 4.10

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.4) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการระเหยเพิ่มขึ้น น้ำกระท้อนเข้มข้นมีค่าความสว่างลดลงและค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อนำน้ำกระท้อนเข้มข้นที่ได้จากการระเหยน้ำทั้ง 3 อุณหภูมิ มาเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 และเปรียบเทียบกับน้ำกระท้อนก่อนระเหย (ตารางที่ 4.5) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการระเหยเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงของน้ำกระท้อนเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้อธิบายได้ว่าเกิดขึ้นเนื่องจากพลังงานความร้อนระหว่างการระเหยน้ำส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา Maillard ขึ้นเช่นเดียวกับผลการทดลองใน 5.3 ขณะที่น้ำกระท้อนที่ได้จากการเจือจางน้ำกระท้อนเข้มข้นทุกอุณหภูมิมีค่าความสว่างที่ไม่แตกต่างจากน้ำกระท้อนก่อนระเหย ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางและภาวะการกระจายตัวของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าในน้ำกระท้อนที่ผ่านการระเหย มีผลต่อการสะท้อนแสงได้ดีกว่าอนุภาคขนาดเล็ก ค่าความสว่างของน้ำกระท้อนเจือจางจึงไม่แตกต่างจากน้ำกระท้อนก่อนระเหย

เมื่อพิจารณาปริมาณสารแขวนลอยจากการวัดปริมาตรส่วนขุ่น โดยเก็บน้ำกระท้อนจากน้ำกระท้อนเข้มข้นในกระบอกตวง 100 ml ที่อุณหภูมิ 5 – 8 °C เป็นเวลา 15 วัน เปรียบเทียบกับน้ำกระท้อนก่อนระเหย (รูปที่ 4.8) พบว่า การระเหยน้ำและอุณหภูมิในการระเหยมีอิทธิพลต่อปริมาตรส่วนขุ่นของน้ำกระท้อน โดยน้ำกระท้อนมีปริมาตรของชั้นส่วนขุ่นที่แยกออกมา มากกว่าน้ำกระท้อนก่อนระเหย และเมื่ออุณหภูมิระเหยเพิ่มขึ้นปริมาตรส่วนขุ่นมากขึ้น ซึ่งเห็นผลได้ชัดเจนเมื่อเก็บเป็นเวลา 1 วัน เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกระบวนการระเหยน้ำมีผลทำให้เกิด cloud ขึ้น (Klavons et al., 1991) จาก 2 สาเหตุสำคัญคือ การเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ และการเกิด interaction ระหว่างโมเลกุลของเพคติน ( Epstein and Mizrahi, 1975; Shomer, 1988) Shomer (1991) กล่าวว่า การจับก้อนของโปรตีนเกิดเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและระดับของการทำให้เข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งการจับก้อนของโปรตีนและการเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลเพคตินที่เกิดขึ้นนั้น มีผลให้อนุภาคที่แขวนลอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ความหนาแน่นมากขึ้น จึงตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงของโลก และอัดตัวกันมากขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้น (Genovese and Lozano, 2000)

ในงานทดลองนี้ได้วิเคราะห์ค่าความคงตัวของความขุ่นของน้ำกระท้อนอีกวิธีหนึ่งคือวัดจากค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 726 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของส่วนใสของน้ำกระท้อนที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงที่ 10,000 x g พบว่า การดูดกลืนแสงของ

น้ำกระท้อนที่เตรียมขึ้นทุกตัวอย่างและน้ำกระท้อนก่อนระเหยมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น แสดงว่าความคงตัวของน้ำกระท้อนลดลงเมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอยซึ่งเคลื่อนที่ตลอดเวลาอย่างอิสระและไร้ทิศทางที่ เรียกว่า Brownian movement มีผลทำให้อนุภาคมีโอกาสเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน และรวมตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้น ยิ่งถ้ามีแรงดึงดูดอื่นช่วยเสริม เช่น แรง Van der Waals ซึ่งเป็นแรงที่เกิดขึ้นได้ระหว่างอนุภาค และมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคใหญ่ขึ้น (Fennema, 1996) ทำให้อนุภาคแขวนลอยในน้ำผลไม้มีโอกาสที่จะตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วงมากขึ้น การรวมตัวกันของอนุภาคขนาดเล็กยังทำให้ขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคเพิ่มขึ้นด้วย (Genovese and Lozano, 2000) เป็นผลให้เมื่อนำตัวอย่างมาหมุนเหวี่ยง ปริมาณการตกตะกอนนอนกันมากขึ้น และส่วนใสที่ได้มีค่าการดูดกลืนแสงลดลง

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำกระท้อนเข้มข้น (รูปที่ 4.9) โดยพิจารณาลักษณะด้านสี กลิ่นกระท้อน กลิ่นแปลกปลอม และการยอมรับรวม พบอิทธิพลของอุณหภูมิในการระเหยต่อคะแนนด้านกลิ่นกระท้อนและการยอมรับรวมของน้ำกระท้อนเข้มข้น ( $p \leq 0.05$ ) โดยตัวอย่างมีคะแนนกลิ่นกระท้อนมากที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิในการระเหยน้ำ 70 °C ในขณะที่อุณหภูมิระเหยน้ำที่ 60 และ 80 °C ให้ตัวอย่างที่มีคะแนนด้านกลิ่นกระท้อนไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้อุณหภูมิ 60 °C ในการระเหยต้องใช้เวลานานกว่า 25 นาทีต่อตัวอย่าง 300 ml จึงได้ความเข้มข้นที่ต้องการ ทำให้ตัวอย่างน้ำกระท้อนสัมผัสกับพลังงานความร้อนและภาวะใกล้สุญญากาศเป็นเวลานาน สารให้กลิ่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงมีโอกาสระเหยออกไปพร้อมกับโมเลกุลของไอน้ำได้มากขึ้น จึงเกิดการสูญเสียกลิ่นกระท้อนมากกว่า (การระเหยที่อุณหภูมิ 70 และ 80 °C ใช้เวลา 20 และ 15 นาทีต่อตัวอย่าง 300 ml ตามลำดับ) ขณะที่อุณหภูมิ 80 °C อาจเร่งทั้งการสลายและการสูญเสียกลิ่นกระท้อนไปพร้อมๆ กัน แนวโน้มของคะแนนการยอมรับรวมเป็นเช่นเดียวกับคะแนนกลิ่นกระท้อน

เมื่อเปรียบเทียบน้ำกระท้อนที่เจือจางจากน้ำกระท้อนเข้มข้นกับตัวอย่างน้ำกระท้อนก่อนระเหย (รูปที่ 4.10) พบอิทธิพลของอุณหภูมิในการระเหยต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นกระท้อน และการยอมรับรวม ( $p \leq 0.05$ ) โดยน้ำกระท้อนจากน้ำกระท้อนเข้มข้นทุกอุณหภูมิมีคะแนนสี กลิ่นกระท้อนและการยอมรับรวมต่ำกว่าน้ำกระท้อนก่อนการระเหย เนื่องจากน้ำกระท้อนก่อนระเหยไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนทำให้มีคะแนนประสาทสัมผัสที่ดีกว่า พบว่าตัวอย่างจากการระเหยที่ 70 °C มีคะแนนด้านสีสูงสุด เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Maillard ที่อุณหภูมิ 80 °C เกิดได้เร็วกว่าที่ 70 °C ขณะที่เวลาในการสัมผัสพลังงานความร้อนที่ 60 °C นานขึ้นสารตั้งต้นมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาได้ยาวนานขึ้น สารสีน้ำตาลจึงเพิ่มขึ้น คะแนนด้านกลิ่นกระท้อน

และการยอมรับรวมมีแนวโน้มเช่นกับคะแนนสี ซึ่งอธิบายได้โดยใช้เหตุผลเดียวกันกับน้ำกระท้อนเข้มข้น

จากผลการทดลองทั้งหมดจึงเลือกภาวะการระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 70 °C โดยควบคุมความดันภายในที่ 50 mbar ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าสีไม่แตกต่างจากน้ำกระท้อนก่อนระเหย ( $p > 0.05$ ) และมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นกระท้อน และการยอมรับรวมมากที่สุด แต่เมื่อตั้งน้ำกระท้อนทิ้งไว้ที่ 5 – 8 °C เกิดการแยกชั้นขึ้น ดังนั้นจึงต้องรักษาเสถียรภาพความชุ่มต่อไป

### 5.5 การรักษาเสถียรภาพความชุ่มของน้ำกระท้อนที่เตรียมจากน้ำกระท้อนเข้มข้น

การตกตะกอนของเนื้อผลไม้หรือการแยกชั้นในน้ำผลไม้ นอกจากให้ลักษณะที่ไม่ชวนบริโภคแล้ว ตะกอนที่แยกชั้นยังดูดซับสารให้กลิ่นและรสชาติ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับอีกด้วย (Baker and Bruemmer, 1973) สาเหตุของการแยกชั้นนอกจากเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ PME แล้วยังเกิดจากสมบัติทางกายภาพของ cloud ได้แก่ ขนาดของอนุภาค และความหนืดของส่วนที่เป็นของเหลวอีกด้วย Kraft et al. (1997) กล่าวว่า การแยกชั้นของน้ำผลไม้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้น แต่ไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง ขนาดอนุภาคที่ไม่เหมาะสมและแรงโน้มถ่วงของโลก ตลอดจนโครงสร้างของเพคตินที่เปลี่ยนแปลงไป มีผลต่อการแยกชั้นของน้ำผลไม้ทั้งสิ้น

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิธีการรักษาเสถียรภาพความชุ่มของน้ำกระท้อนที่เตรียมจากน้ำกระท้อนเข้มข้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับ โดยการ homogenize เพื่อลดขนาดอนุภาค หรือ เติมนานแทน gum ซึ่งเป็นสารให้ความคงตัวที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ pH และความเข้มข้นของเกลือ (Kovacs, 1977) และการ homogenize ร่วมกับการเติมนานแทน gum โดยใช้การกระจายของขนาดอนุภาค ปริมาณสารแขวนลอยที่วัดจากส่วนชุ่มของตัวอย่างที่เก็บที่ 5 – 8 °C ทุกวันเป็นเวลา 1 เดือน ความคงตัวของความชุ่มซึ่งตรวจสอบทุกสัปดาห์เป็นเวลา 1 เดือน และคุณภาพทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับข้อ 4.4 เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกกระบวนการที่ให้ผลลัพธ์คุณภาพดีที่สุด

ผลจากการกระจายของขนาดอนุภาคที่แขวนลอย (รูปที่ 4.11) และปริมาตรของอนุภาค (ตารางที่ 4.7) พบว่าตัวอย่างน้ำกระท้อนควบคุมมีอนุภาคขนาดใหญ่และขนาดกลาง ( $> 103.58$

และ 10.49 – 103.58) ในปริมาณมาก แต่เมื่อนำน้ำกระท้อนดังกล่าวไป homogenize มีผลให้ ปริมาตรของอนุภาคขนาดใหญ่เหล่านี้ลดลง ส่วนตัวอย่างที่เติม xanthan gum พบว่า อนุภาค ขนาดเล็ก (< 1.06 และ 1.06 – 10.48 ) มีปริมาตรลดลง ขณะที่อนุภาคขนาดกลางเพิ่มขึ้น และ ตัวอย่างที่ homogenize ร่วมกับการเติม xanthan gum มีอนุภาคขนาดใหญ่ น้อยกว่าตัวอย่าง ควบคุม โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 10  $\mu\text{m}$  ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดแรงเฉือนระหว่าง ผลิตภัณฑ์กับผิวหน้าลื่นของเครื่อง homogenizer ขณะไหลผ่านช่องแคบเล็กๆ ด้วยความเร็วและ ความดันสูง ของแข็งที่เคลื่อนที่ผ่านผิวหน้าลื่นจะเกิดแรงต้านการไหลที่เรียกว่า แรงเสียดทาน ทำให้เคลื่อนที่ช้ากว่าของแข็งที่ไหลผ่านตรงกลางของลื่น การไหลที่ความเร็วแตกต่างกันนี้ ทำให้ อนุภาคของแข็งแตกตัวจนมีขนาดเล็กลงจากผลของแรงเฉือนที่เกิดขึ้น (Fellows, 2000) อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ในน้ำกระท้อนจึงลดลง ส่วน xanthan gum ซึ่งเป็นสารให้ความคงตัวหรือสารให้เจล จะสร้างพันธะต่างๆ กับองค์ประกอบอื่นในตัวอย่าง ได้แก่ น้ำตาล กลีเซอรอล เกิดเป็น โครงสร้างของ เจลขึ้น (Glicksman, 1982) ซึ่งลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อขนาดของอนุภาค

เพื่อศึกษาความคงตัวของอนุภาคที่แขวนลอยจึงเก็บตัวอย่าง 100 ml ในระบบอกตวง ที่อุณหภูมิ 5 – 8 °C เป็นเวลา 30 วัน พบว่า ตัวอย่างที่เติม xanthan gum 0.1 % w/v มีเสถียรภาพ ที่ดีที่สุด โดยตลอดระยะเวลา 30 วันในการศึกษาไม่เกิดการแยกชั้นขึ้นในตัวอย่าง ขณะที่ น้ำกระท้อน homogenization อนุภาคแขวนลอยอยู่ได้เพียง 7 วัน จากนั้นจึงแยกชั้นและส่วนขุ่น ของตัวอย่างลดลงถึง 80% ใน 19 วัน ต่อจากนั้นจึงคงที่ ส่วนน้ำกระท้อน homogenization – xanthan gum รักษาความคงตัวของอนุภาคแขวนลอยอยู่ได้นาน 18 วัน จึงแยกชั้น

xanthan gum เป็นสาร hydrocolloid ชนิดหนึ่งที่ยิมนำมาใช้เป็นสารให้ความคงตัว กลไกการทำงานของ xanthan gum ที่มีผลต่อการรักษาเสถียรภาพความขุ่นเกิดจากสมบัติ 2 ประการ คือ เพิ่มความหนืดกับวัฏภาคต่อเนื้อ และทำหน้าที่เป็นสาร protective colloid ที่เชื่อม อนุภาคแขวนลอยและน้ำเข้าด้วยกัน โดยอนุภาคแขวนลอยที่เคลือบด้วยสาร hydrocolloid จะมี คุณสมบัติเหมือน colloid ซึ่งสามารถกระจายตัวและยึดโมเลกุลของน้ำไว้ได้ดีด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงไม่ตกตะกอน (Glicksman, 1982) ขณะที่ homogenization มีผลเพียงช่วยลดขนาดอนุภาค ที่แขวนลอยในน้ำกระท้อนจึงลดค่าความถ่วงจำเพาะของระบบและลดอัตราการแยกชั้นได้ (Roy et al., 1997) นอกจากนี้ Thakur et al. (1995) อธิบายว่า homogenization นอกจากมีผลลด ขนาดของอนุภาคแล้ว ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยเพิ่มลักษณะเป็นเส้นตรงของอนุภาค ทำให้การจับน้ำของโมเลกุลเพคตินเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม homogenization เป็นผลให้เกิด ความร้อนขึ้นในตัวอย่าง ทำให้โครงสร้างของเพคตินเสียไป น้ำกระท้อน homogenization จึงมี เสถียรภาพในระยะเวลานึงเท่านั้น น้ำกระท้อน homogenization - xanthan gum มีเสถียรภาพ



ความขุ่นนานกว่าน้ำกระท้อน homogenization จากคุณสมบัติของ xanthan gum ดังได้อธิบายไว้ข้างต้นแล้ว และผลจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใส (รูปที่ 4.13) มีแนวโน้มซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของส่วนขุ่นเช่นกัน

ผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (รูปที่ 4.14) แสดงว่า homogenization มีผลทำให้คะแนนด้านสี กลิ่นกระท้อน และการยอมรับรวมลดลง ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนในระหว่าง homogenize ทำให้เกิดปฏิกิริยา Maillard สีของน้ำกระท้อนจึงเข้มขึ้นด้วยเหตุผลดังได้อธิบายไว้ใน 5.2 และยังส่งผลต่อการสูญเสียกลิ่นกระท้อนจึงมีผลให้คะแนนสี กลิ่นกระท้อนและการยอมรับรวมต่ำลง ขณะที่การเติม xanthan gum มีผลให้คะแนนกลิ่นกระท้อนลดลง ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากการเกิดลักษณะคล้ายเจลของ xanthan gum ทำให้สารให้กลิ่นรสบางส่วนที่ละลายน้ำถูกกักเก็บไว้ในโครงสร้างเจล ขณะทดสอบทางประสาทสัมผัสผู้ประเมินจึงรับกลิ่นได้น้อยลง มีผลทำให้คะแนนการยอมรับรวมน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม

จากผลการทดลองทั้งหมดอาจสรุปได้ว่า การเติม xanthan gum ช่วยรักษาความคงตัวของความขุ่น และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนการยอมรับรวมสูง จึงพิจารณาเลือก xanthan gum 0.1 % w/v สำหรับรักษาเสถียรภาพของความขุ่นในน้ำกระท้อนที่เตรียมจากน้ำกระท้อนเข้มข้นเพื่อใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

## 5.6 การเสริมแคลเซียมและวิตามินดี

แคลเซียมในร่างกายเป็นองค์ประกอบที่ทำให้กระดูกและฟันแข็งแรง นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อีกหลายอย่างในร่างกาย เช่น ช่วยการแข็งตัวของเลือด รักษาและควบคุมให้นั่งเซลล์ทำหน้าที่ได้ดี กระตุ้นให้เอนไซม์หลายชนิดทำงานได้ปกติ และควบคุมการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ เป็นต้น (DeWille et al., 1997) งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาแนวทางในการเสริมแคลเซียมและวิตามินดีในน้ำกระท้อนที่ผลิตขึ้น เพื่อให้ผู้บริโภคกลุ่มที่ไม่สามารถดื่มนมเนื่องจากขาดเอนไซม์ lactase หรือแพ้โปรตีนจากนมวัวมีโอกาสได้รับแคลเซียมซึ่งดูดกลืนในร่างกายได้ดีจากน้ำผลไม้ โดยในงานวิจัยนี้เลือก calcium lactate gluconate เป็นแหล่งแคลเซียม และแปรปริมาณแคลเซียมเป็น 120 160 และ 200 mg/100 ml เติมวิตามินดีสามในปริมาณ 1.14  $\mu\text{g}$  / 100 ml เพื่อช่วยในการดูดกลืนแคลเซียม คุณภาพของน้ำกระท้อนที่ได้ ประเมินโดยวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม ปริมาณวิตามินดี, วัดค่า pH , ความหนืด, สี ( $L^*, a^*, b^*$ ) , ค่าความคงตัวของความขุ่น และปริมาณสารแขวนลอย ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.8 – 4.10 และรูปที่ 4.15 – 4.17

น้ำกระท้อนธรรมชาติมีปริมาณแคลเซียม 4.25 mg/100 ml ขณะที่น้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 120 160 และ 200 mg/100ml ตรวจพบแคลเซียม 123.42 163.24 และ 203.79 mg/100 ml ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) น้ำกระท้อนธรรมชาติมีวิตามินดีสอง 0.05 µg/100 ml และไม่พบวิตามินดีสาม Ensminger et al. (1994c) กล่าวว่าวิตามินดีชนิดสำคัญที่พบในอาหารได้แก่ ergocalciferol หรือ วิตามินดีสอง ที่พบในพืช และ cholecalciferol หรือ วิตามินดีสามที่พบในผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ดังนั้นน้ำกระท้อนจึงพบเฉพาะวิตามินดีสอง แต่การเลือกเสริมวิตามินดีสามเพราะกระจายตัวได้ดีในน้ำ จึงตรวจพบวิตามินดีสาม ในปริมาณ 1.10 µg/100 ml และดีสองที่พบอยู่ตามธรรมชาติแล้ว 0.05 µg/100 ml

ผลจากการทดลอง พบอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมต่อ pH และค่าความหนืด (ตารางที่ 4.9 ) โดยตัวอย่างที่เติมแคลเซียมมีค่า pH เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายแคลเซียมมีค่า pH 6.68 ซึ่งสูงกว่าน้ำกระท้อน (pH 3.67) ดังนั้นเมื่อปริมาณแคลเซียมที่เติมเพิ่มขึ้น ค่า pH ของน้ำกระท้อนจึงเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ยังมีความหนืดเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนัก (จาก 10.58 cPs เป็น 11.57 cPs) เมื่อเติมแคลเซียมเนื่องจากแคลเซียมไอออนทำปฏิกิริยาได้กับกรด pectic ที่เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ PME (ก่อนการให้ความร้อนผลิตภัณฑ์) ได้สารประกอบ calcium pectate ซึ่งมีผลทำให้ความหนืดของน้ำกระท้อนเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Baker et al. (1991) ที่รายงานไว้ว่า เมื่อเติมแคลเซียมในตัวอย่างน้ำส้มมีผลทำให้ pH และความหนืดของน้ำส้มเพิ่มมากขึ้น

แคลเซียมที่เติมมีผลต่อค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าเหลืองของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.10) โดยผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียมมีค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น และเมื่อปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น ค่าทั้ง 3 สูงขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลึกของแคลเซียมซึ่งมีสีขาวทำให้สีของผลิตภัณฑ์จางลง(Baker et al., 1991) และจากค่าสีแดงและค่าสีเหลืองที่สูงขึ้น เป็นผลให้สีน้ำกระท้อนโดยรวมเปลี่ยนจากสีเนื้อเป็นสีอมส้มมากขึ้น

ในส่วนของคุณภาพของรสชาติจะเห็นว่า ตัวอย่างที่เสริมแคลเซียมมีค่าความคงตัวของความขุ่นลดลง ซึ่งแสดงด้วยค่าการดูดกลืนแสง (รูปที่ 4.15) โดยค่าการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดในสัปดาห์ที่ 2 นอกจากนั้นยังพบอิทธิพลของแคลเซียมต่อเวลาในการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ โดยตัวอย่างที่เสริมแคลเซียมในปริมาณมากขึ้นการแยกชั้นจะเกิดได้เร็วขึ้น ขณะที่ตัวอย่างควบคุมไม่เกิดการแยกชั้น ทั้งนี้เนื่องจากผลของปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมกับกรด pectic โดยเมื่อปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นโอกาสที่แคลเซียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับกรด pectic มีมากขึ้น

ทั้งนี้เพราะอนุภาคของสารแขวนลอยในน้ำผลไม้เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา เมื่อความเข้มข้นของระบบสูงขึ้น โอกาสที่อนุภาคจะเคลื่อนที่เข้าใกล้กันจนเกิดปฏิกิริยาได้ มีมากขึ้น (Fennema, 1996) การแยกชั้นจึงเกิดได้เร็วขึ้น

ผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (รูปที่ 4.17) พบอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมต่อคะแนนสีและการยอมรับรวม โดยการเสริมแคลเซียมมีผลทำให้คะแนนสีของผลิตภัณฑ์ลดลง ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นคะแนนสีลดลงมากขึ้น ผลดังกล่าวนี้อธิบายได้โดยใช้เหตุผลเดียวกับการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างจากการวัดด้วยเครื่องเมื่อเติมแคลเซียมข้างต้น เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับรวมพบว่า ตัวอย่างที่เสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml มีคะแนนการยอมรับรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่เสริมแคลเซียม 120 mg/100 ml และมีคะแนนมากกว่าตัวอย่างที่เสริมแคลเซียม 200 mg/100 ml ผลดังกล่าวนี้แสดงว่า สีของผลิตภัณฑ์มีอิทธิพลโดยตรงต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์โดยรวม

ดังนั้น จึงเสริมแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ได้ในปริมาณ 160 mg/100 ml โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคะแนนการยอมรับรวมอยู่ในเกณฑ์ดี

## 5.7 อายุการเก็บของน้ำกระท้อนเข้มข้น และน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดี

ในระหว่างการเก็บรักษา อาหารอาจสัมผัสภาวะแวดล้อมต่างๆ อาทิ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ออกซิเจน และแสง ซึ่งมีผลกระตุ้นปฏิกิริยาต่างๆ ที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมคุณภาพ ด้านสี กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ (Singh, 2000) จึงต้องศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา เพื่อให้ทราบแนวทางในการยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาภาวะการเก็บที่อุณหภูมิเร่งต่ออายุการเก็บน้ำกระท้อนเข้มข้น และผลของเวลาเก็บต่อคุณภาพของน้ำกระท้อนจากน้ำกระท้อนเข้มข้น

### 5.7.1 อายุการเก็บของน้ำกระท้อนเข้มข้น

สำหรับน้ำผลไม้เข้มข้นการศึกษาอายุการเก็บในภาวะการเก็บจริงต้องใช้เวลาานาน ขณะที่การศึกษาอายุของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะเร่ง (accelerated test) ใช้คาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้โดยไม่ต้องรอนานถึง 12 - 24 เดือน และการทำนายอายุการเก็บอาจทำได้โดยใช้ Arrhenius model หรือ  $Q_{10}$  model (Woodroff and Luh, 1975; Labuza and Schmidt, 1985;

Gnanasekharan and Floors, 1993) การทดลองขั้นนี้จึงศึกษาอายุการเก็บของน้ำกระท้อนเข้มข้นในสภาวะเร่ง โดยเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 10, 27, 35 และ 55°C ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยวัดสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีทุก 3 วัน และตรวจนับปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์และราทุก 5 วัน ผลดังแสดงในรูปที่ 4.18 – 4.21 และตารางที่ 4.11

ผลจากการทดลองตรวจพบอิทธิพลของเวลาการเก็บต่อค่าความสว่าง และค่าสีแดงของน้ำกระท้อนเข้มข้น ( $p \leq 0.05$ ) โดยเมื่อเวลาเก็บมากขึ้นค่าความสว่างลดลงและค่าสีแดงเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.18 – 4.20) เนื่องจากผลของปฏิกิริยา Maillard ระหว่างเก็บรักษาทำให้เกิดสารสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นมีผลให้น้ำกระท้อนเข้มข้นมีค่าความสว่างลดลงและค่าสีแดงเพิ่มขึ้นมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ อธิบายได้โดยใช้เหตุผลที่ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา Maillard จะเพิ่มขึ้น 2–3 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °C (Fennema, 1996)

จากการตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ยีสต์ และรา ไม่พบว่ามีเชื้อเจริญเติบโตเนื่องจากการให้ความร้อนที่ 80 °C 10 นาที ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้น้ำกระท้อนเข้มข้นเน่าเสียได้แก่ ยีสต์ *Lactobacillus leuconostoc* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ทนต่อความเข้มข้นของน้ำตาลและกรดได้ดี (Kimball, 1999)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี พบว่า เมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้นคะแนนสีของน้ำกระท้อนลดลง (รูปที่ 4.21) และการเก็บที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้คะแนนสีลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ( $p \leq 0.05$ ) โดยน้ำกระท้อนเก็บที่ 27, 35 และ 55°C มีคะแนนสีน้อยกว่า 5 (ซึ่งถือว่าเป็นคะแนนไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์) เมื่อเก็บนาน 18 12 และ 6 วัน ตามลำดับ ผลดังกล่าวนี้เกิดจากปฏิกิริยา Maillard ดังอธิบายข้างต้น จึงสรุปได้ว่าน้ำกระท้อนเข้มข้นมีอายุการเก็บ 18 12 และ 6 วัน เมื่อเก็บที่ 27, 35 และ 55°C ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 10 °C ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บอย่างน้อย 1 เดือน จากผลดังกล่าวอาจทำนายอายุการเก็บที่ 0 °C โดยใช้  $Q_{10}$  model (Labuza and Schmidt, 1985) ดังสมการ 5.7.1

$$Q_{10}^{(T_2 - T_1) / 10} = \frac{\text{อายุการเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ } T_1}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_2} \dots\dots\dots 5.7.1$$

จากสมการข้างต้นคำนวณค่า  $Q_{10(27,35)}$  และ  $Q_{10(35,55)}$  ได้ 1.66 และ 1.414 ตามลำดับ และได้ค่า  $Q_{10}$  เฉลี่ยเป็น 1.54 ซึ่งทำนายอายุการเก็บของน้ำกระท้อนแช่แข็งที่  $0^{\circ}\text{C}$  ได้เป็น 58 วัน

### 5.7.2 อายุการเก็บของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดี

การทดลองขั้นตอนนี้ทำเพื่อศึกษาอายุการเก็บของน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดีสามที่พาสเจอร์ไรส์ที่  $75^{\circ}\text{C}$  15 นาที บรรจุขณะร้อนในขวดแก้วใส ปิดฝาที่ความดันบรรยากาศ และเก็บรักษาที่  $5 - 8^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 เดือน ติดตามการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ สมบัติทางเคมี และกายภาพของน้ำกระท้อน ปริมาณแคลเซียม แคลที่เรียทั้งหมด ยีสต์และรา และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกสัปดาห์ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.12 – 4.15 และรูปที่ 4.22

ปริมาณแคลที่เรียทั้งหมด ยีสต์และรา (ตารางที่ 4.12) ตรวจไม่พบตลอดระยะเวลาเก็บ 4 สัปดาห์ เนื่องจากน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียมและวิตามินดีจัดเป็นอาหารประเภทที่มีความเป็นกรดสูง ซึ่งเป็นภาวะที่จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้ ประกอบกับการพาสเจอร์ไรส์ที่  $75^{\circ}\text{C}$  15 นาที เพียงพอในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ Cruess (1958) กล่าวว่า สำหรับน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูง การใช้อุณหภูมิ  $72 - 75^{\circ}\text{C}$  ก็เพียงพอสำหรับการทำลายเซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์และราได้

ในส่วน of สมบัติทางเคมีและกายภาพ พบว่าเวลาเก็บไม่มีผลต่อค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด ของแข็งที่ละลายได้ และเพคติน (ตารางที่ 4.13) ทั้งนี้อธิบายได้ว่าการเก็บรักษาทั้ง 4 สัปดาห์ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ จึงไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ปริมาณเพคติน และกรดทั้งหมด ขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนระหว่างการเก็บ เพราะน้ำตาลส่วนใหญ่ในน้ำผลไม้เป็นน้ำตาลซูโครส ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลกับโปรตีน

เมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง (ตารางที่ 4.14) ทั้งนี้อธิบายได้ว่าปฏิกิริยา Maillard ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับหมู่อะมิโนของโปรตีนมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง ขณะที่เวลาเก็บไม่มีผลต่อปริมาณแคลเซียมที่ตรวจพบในน้ำกระท้อน

นอกจากนั้นยังพบอิทธิพลของเวลาเก็บต่อค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.15) โดยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อธิบายได้ว่ามีปฏิกิริยา Maillard เกิดขึ้น ดังได้อธิบายไว้ข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ค่าสีแดงและสีเหลืองจึงเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจเกิดจากการรวมตัวกันของผลิตภัณฑ์เคลือบซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเวลาเก็บมากขึ้น

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบอิทธิพลของเวลาเก็บต่อคะแนนกลิ่นกระท้อน ความคงตัวของความชุ่ม และคะแนนการยอมรับรวม (รูปที่ 4.22) โดยเมื่อเวลาเก็บเพิ่มมากขึ้นคะแนนทางประสาทสัมผัสทั้ง 3 ด้านลดลง เนื่องจาก calcium pectate ที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการตกตะกอนลงมาดังได้อธิบายไว้ใน 5.6 ตะกอนของอนุภาคอาจดูดซับสารให้กลิ่นและรส ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนกลิ่นกระท้อน ความคงตัวของความชุ่ม และคะแนนการยอมรับรวมลดลง แต่อย่างไรก็ตามคะแนนโดยรวมของผลิตภัณฑ์ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ดี

จากผลการทดลองทั้งหมด อาจสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์น้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  บรรจุในขวดแก้วเก็บที่อุณหภูมิ 5 – 8 °C เก็บได้อย่างน้อย 4 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับ

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. การเตรียมเนื้อกระท้อนสำหรับสกัดน้ำทำโดยให้ความร้อนขึ้นเนื้อด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 88- 90 °C ความดัน 5-7 kg.f/cm<sup>2</sup> เป็นเวลา 5 นาที และการสกัดน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำแบบแยกกากและบีบอัดกากที่ได้ด้วยเครื่อง hydraulic press โดยใช้เวลาในการบีบอัด 12 นาที ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุดคือ 64.21 % โดยน้ำหนักเนื้อกระท้อนที่เตรียมได้ก่อนการบีบอัด และตรวจไม่พบปฏิกิริยาของเอนไซม์ PPO ในน้ำกระท้อนที่สกัดได้
2. ภาวะในการให้ความร้อนที่เพียงพอสำหรับการยับยั้งเอนไซม์ PME ในน้ำกระท้อนทำได้โดยใช้อุณหภูมิ 92 °C 60 วินาที
3. อุณหภูมิในการระเหยน้ำที่เหมาะสมในการผลิตน้ำกระท้อนเข้มข้นคือ 70 °C ความดัน 50 ± 5 mbar โดยใช้เครื่อง rotary evaporator ซึ่งหมุนด้วยความเร็ว 100 rpm น้ำกระท้อนเข้มข้นที่ได้มีคะแนนกลิ่นกระท้อนปานกลางและการยอมรับรวมอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนน้ำกระท้อนเข้มข้นที่ได้มีค่าสีไม่แตกต่างจากน้ำกระท้อนก่อนระเหย และมีคะแนนสีสูงแสดงว่ามีสีที่ดีและมีลักษณะเฉพาะของน้ำกระท้อน มีคะแนนกลิ่นกระท้อนปานกลาง ไม่มีกลิ่นแปลกปลอมและมีคะแนนการยอมรับรวมอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง
4. วิธีการรักษาเสถียรภาพความขุ่นที่ดีที่สุดสำหรับน้ำกระท้อนจากน้ำกระท้อนเข้มข้น ทำได้โดยใช้ xanthan gum 0.1% w/v ซึ่งวิธีดังกล่าวให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนสีค่อนข้างสูงแสดงว่าน้ำกระท้อนมีสีใกล้เคียงกับลักษณะเฉพาะของน้ำกระท้อน มีคะแนนกลิ่นกระท้อนปานกลาง และการยอมรับรวมอยู่ในเกณฑ์ดี และเก็บที่ 5 - 8 °C ได้อย่างน้อย 30 วัน โดยไม่เกิดการแยกชั้น
5. ปริมาณแคลเซียมที่เสริมได้ในน้ำกระท้อนจากน้ำกระท้อนเข้มข้นที่รักษาเสถียรภาพความขุ่นด้วย xanthan gum 0.1% w/v คือ 160 mg/100 ml และเสริมวิตามินดี 1.14 µg/100 ml ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคะแนนสีปานกลางแสดงว่าน้ำกระท้อนมีสีอ่อนกว่าสีที่เป็นลักษณะเฉพาะของน้ำกระท้อนเล็กน้อย มีกลิ่นกระท้อนปานกลาง ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม และคะแนนการยอมรับรวมค่อนข้างสูง

6. น้ำกระท้อนเข้มข้นที่ผ่านการให้ความร้อนอุณหภูมิ 80 °C 10 นาที และบรรจุขณะร้อนในหลอดแก้วขนาด 10 ml มีอายุการเก็บ 18 12 และ 6 วัน ที่อุณหภูมิ 27, 35 และ 55 °C ตามลำดับ และมีอายุการเก็บอย่างน้อย 30 วัน ที่อุณหภูมิ 10 °C ซึ่งสามารถทำนายอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 0 °C ได้เป็น 58 วัน

7. ผลิตภัณฑ์น้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml ที่พาสเจอร์ไรซ์ที่ 75 °C 15 นาที และบรรจุขณะร้อนในขวดแก้วใส มีอายุการเก็บอย่างน้อย 4 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 – 8 °C โดยมีคุณภาพด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ โดยมีคะแนนสีค่อนข้างสูง มีคะแนนกลิ่นกระท้อนปานกลาง ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม เกิดการแยกชั้นน้อย และมีคะแนนการยอมรับอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการใช้ผลไม้ชนิดอื่นผสมกับน้ำกระท้อนที่ผลิตได้ เพื่อให้ได้เครื่องดื่มที่มีลักษณะดี และแปลกใหม่ เช่น น้ำสับปะรด น้ำบัว
2. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของแคลเซียมต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้
3. ควรมีการศึกษาชนิดของสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา Maillard ในน้ำกระท้อนเข้มข้น เพื่อให้สามารถเก็บรักษาในระยะเวลาที่นานขึ้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กองบรรณาธิการเฉพาะกิจ สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม. 2541. กระท้อน. พิมพ์ครั้งที่ 5 .

กรุงเทพมหานคร: ฐานเกษตรกรรม. 78 หน้า.

คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารประจำวันที่ร่างกายควรได้รับของประชาชนไทย. 2532.

ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันและแนวทางการบริโภคอาหารสำหรับคนไทย.

กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก. 53 – 54, 85 – 87.

ธวัชชัย รัตน์ชเลศ และ ศิวาพร ธรรมดี. 2542. พันธุ์ไม้ผลทางการค้าในประเทศไทย.

กรุงเทพมหานคร: ลินคอร์นโปรโมชัน. 37 - 42.

ยงยุทธ สาระสมบัติ. 2542. การทำไวน์กระท้อน/สะท้อน และการทำไวน์ผลไม้โดยการใช้อินไซม์

ย่อย/สกัด. สิทธิบัตร 047982.

วัลลีย์ ชาญสุขสุรโชติ. 2538. เครื่องดื่มจากน้ำผัก-ผลไม้ผสมนมผึ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญา

มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

134 หน้า.

### ภาษาอังกฤษ

Alizai, M. N. 1997. Comparative investigation to control the enzymatic and non-enzymatic browning of guava juice/concentrate. [CD - ROM] Abstract form: ESTA (1990 - 2000): Abstract No. 1998 – 09 - H1628.

AOAC. 1995. Official methods of analysis. 16<sup>th</sup> ed. Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemists.

Baker, R. A., and Bruemmer, J. H. 1973. Protease and pectase additive to citrus juice. United States Patent. 3,754,932.

Baker, R. A. and Cameron, R. G. 1999. Clouds of citrus juices and juice drink. Food Technol. 53(1): 64 – 69.

- Baker, R. A., Crandall, P. E., Davis, K. C., and Wivker, L. 1991. Calcium supplementation and processing variable effects on orange juices quality. J. Food Sci. 56(5): 1369 - 1371.
- Balestrieri, C., Servillo, L., Quagliuolo, L. and Giovane, A. 1991. Proteic inhibitor of pectinesterase and use thereof in the preparation of fruit and vegetable juice. United States Patent. 5,053,232.
- Binnig, R. and Possman, P. 1993. Apple juice. In S. Nagy, C. Chin Shu and S. E. Philip (eds), Fruit juice processing technology, pp.271 – 317. Florida: Agscience.
- Bolin, H. R., and Salunkhe, D. K. 1971. Physicochemical and volatile flavor changes occurring in fruit juice concentrate and foam-mat drying. J. Food Sci. 36(4): 665 - 668.
- Brennan, J. G., Butters, J. R. and Cowell, N. D. 1976. Food engineering operation. 2<sup>nd</sup> ed. London: Applied Science. 532 p.
- Carle, R., Juess, A., and Fuesser, H. 1998. Cloud stability of pulp-containing tropical fruit nectars. [CD - ROM] Abstract form: ESTA (1990 - 2000): Abstract No. 1994-10 - H1874.
- Castaldo, D., Lovoi, A., Quagliuolo, L., Servillo, L., Balestrieri, C., and Giovane, A. 1991. Orange juices and concentrates stabilization by a proteic inhibitor of pectinesterase. J. Food Sci. 56(6): 1632 - 1634.
- Challen, I. A. 1994. Xanthan gum: a multifunctional stabiliser for food product. In K. Nishinari and E. Doi (eds.), Food hydrocolloids: structure, properties and fuctions, 135 – 140. New York: Plenum Press.
- Chan, H. T. 1993. Passion fruit juice. In S. Nagy, C. Chin Shu and S. E. Philip (eds), Fruit juice processing technology, pp.334 - 377. Florida: Agscience.
- Chen, C. S. 1993. Physical and rheological properties of fruit juices. In S. Nagy, C. Chin Shu and S. E. Philip (eds), Fruit juice processing technology, pp. 56 - 82. Florida: Agscience.
- Cheynier, V., Osse, C. and Rigaud, J. 1988. Oxidation of grape juice phenolic compounds in model solution. J. Food Sci. 53(11): 1729 – 1732.

- Clemente, E., and Pastore, G. M. 1998. Peroxidase and polyphenol oxidase, the importance for food technology. [CD - ROM] Abstract form: FSTA (1990 - 2000): Abstract No. 2000 – 01 - J0069.
- Cochran, W. C. and Cox, G. M. 1985. Experimental designs. New York: John Wiley & Sons. 611 p.
- Crandall, P. G., Methews, R. F., and Becker, R. A. 1983. Citrus beverage clouding agents. Food Technol. 37(12): 106 - 109.
- Cruess, W. V. 1958. Commercial fruit and vegetable products. 4<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill. 906 p.
- Davis, J., Shever, K., Burtis, G. and Martin, S. 1994. Applied Nutrition and diet therapy. 2<sup>nd</sup> ed. New York: W.B. Saunders. 944 p.
- DeMan, J. M. 1990. Principles of food chemistry. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Van nostrand Reinhold. 469 p.
- DeWille, N. T., Chandler, M. A., Mazer, T. B., Ragan, R. J., Snowden, G. A., Geraghty, M. E. and Johnson, C. D. 1997. Low pH beverage fortified with calcium and vitamin D. United States Patent. 5,597,595.
- Doesberg, J. J. 1965. Pectic substance in fresh and preserved fruits and vegetable: Institute for research on storage and processing of horticultural produce. Netherland: Wageinge. 112 p.
- Deshpanda, S. S., Bolin, H. R., and Salunkhe, D. K. 1982. Freeze concentration of fruit juices. Food Technol. 36(5): 68 - 62.
- Ensminger, A. H., Ensminger, M. E., Konlande, J. E., and Robson, J. R. K. 1994a. "calcium(Ca)". Encyclopedia Foods and Nutrition. 1: 291 - 304.
- Ensminger, A. H., Ensminger, M. E., Konlande, J. E., and Robson, J. R. K. 1994b. "Milk and milk products". Encyclopedia Foods and Nutrition. 2: 1459 - 1504.
- Ensminger, A. H., Ensminger, M. E., Konlande, J. E., and Robson, J. R. K. 1994c. "vitaminD". Encyclopedia Foods and Nutrition. 2: 2257 - 2264.
- Epstein, D. and Mizrahi, S. 1975. Effect of concentration process on cloud stability of reconstituted lemon juice. J. Sci. Food Agric. 26(10): 1603 – 1608.

- Fellows, P. J. 2000. Food processing technology: principle and processing.  
New York: CRC Press. 505 p.
- Fennema, O. R. 1996. Food chemistry. 3<sup>rd</sup> ed. New York: Marcel Dekker. 1067 p.
- Genovese, D. B., Elustondo, M. P., and Lozano, J. E. 1997. Color and cloud stabilization in cloudy apple juice by steam heating during crushing. J. Food Sci. 62(6): 1171 - 1175.
- Genovese, D. B. and Lozano, J. E. 2000. Effect of cloud particle characteristics on the viscosity of cloudy apple juice. J. Food sci. 65 (4): 641 – 645.
- Gerhard, G. 2002. Extra calcium without the bitter taste. Food Pacific Manufav. J. 2(5): 38 – 39.
- Glicksman, M. 1982. Food hydrocolloids Vol.I. Florida: CRC Press. 510 p.
- Giese, J. 1995. Vitamin and mineral fortification of foods. Food technol. 49 (5): 110 - 122.
- Goodner, J. K., Braddock, R. J. and Parish, M. E. 1998. Inactivation of pectinesterase in orange and grape fruit juices by high pressure. J. Agric. Food Chem. 46(5): 1997 – 2000.
- Gnanasekharan, V. and Floors, J. D. 1993. Shelf-life prediction of packaged foods. In G. Charalambous (ed.) , Shelf-life studies of food and beverages : chemical, biological, physical and nutritional aspects, pp. 105 - 217. Amsterdam: Elsevier Science Publisher.
- Harringen, W. F. and McCance, M. E. 1976. Laboratory methods in food and dairy microbiology. London: Academic Press. 452 p.
- Hasler, C. M. 1998. Functional foods: their role in disease prevention and health promotion. Food technol. 52 (11): 63 - 73.
- Heckert, D. V. 1990. Method of preparing fruit juice beverage and juice concentrate nutritionally supplemented with calcium. United States Patent. 4,919,963
- Heilscher, K. 1995. Fruit juices beverage, especially sea buckthorn containing beverages, and process for their manufacture. German Federal Republic Patent Application. DE 4400721

- Holick, M. F. 1988. Vitamin D. In Maurice E. Shils and Vernon R. Young (eds.), Modern nutrition in health and disease 8<sup>th</sup> ed, pp. 329 – 345. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Kalala, R. H., DeLeon, J. R. and Maculan, T. P. 1989. Calcium fortified product. United States Patent. 4,871,554.
- Karel, M. 1975. Concentration of food. In M. Karel, D. B. Lund and O. R. Fennema (eds.), Principles of food science: part II physical principles of food Preservation, pp 265 – 308. New York: Marcel Dekker.
- Kenawi, M. A., Shekib, L. A. and El-Shimi, N. M. 1994. The storage effects of calcium-fortified orange juice concentrate in different packaging materials. Plant. Food Human Nutri. 45(1): 265 – 275.
- Kertesz, Z. 1951. The pectic substance. New York: Interscience Publishers. 628 p.
- Kilara, A. 1982. Enzyme and their uses in the processed apple industry. Proc. Biochem. 17(1): 35 – 45 .
- Kim, H. B., Tadini, C. C., and Singh, R. K. 1999. Effect of different pasteurization conditions on enzyme inactivation of orange juice in pilot scale experiments. J. Food Proc. Eng. 22(5): 395 - 403.
- Kimball, A. D. 1999. Citrus processing: a complete guide. 2<sup>nd</sup> ed. Maryland: Aspan Publishers. 450 p.
- Klavons, J. A. and Bennett, R. D. 1985. The nature of the protein constituent of commercial lemon juice cloud. J. Agric. Food Chem. 33(4): 708 – 712.
- Klavons, J. A., Bennete, R. D., and Vannier, S. H. 1991. Nature of the protein constituent of commercial orange juice cloud. J. Agric. Food Chem. 39(9): 1545 – 1548.
- Klavons, J. A., Bennete, R. D., and Vannier, S. H. 1994. Physical/chemical nature of pectin associated with commercial orange juice cloud. J. Food Sci. 59(2): 399 - 401.
- Kraft, K., Pecoroni, S., and Gierschner, K. 1997. Contribution to the colloidal chemistry governing the flocculation stability of 'naturally cloudy apple juices. [CD - ROM] Abstract form: FSTA(1990 - 2000):Abstract No. 1998 – 05 - H0885.

- Kovacs, P. 1977. Xanthan gum, a new and unique colloidal stabilizer for the British food industry. Food Trade Rev. 43(11): 17 – 22.
- Labuza, T. P. and Schmidt, M. K. 1985. Accelerated shelf-life testing of foods. Food Technol. 39 (9): 57 – 94.
- Lineback, D. R., and Inglett, G. E. 1982. Food carbohydrates. Connecticut: AVI Publishing. 494 p.
- Madson, R. F. 1974. Membrane concentration advance in pre-concentration and dehydration of fruit juice. J. Food Sci. 39 (2): 704 – 711.
- Marshall, M., Nagy, S. and Rouseff, R. 1985. Factors impacting on the quality of stored citrus fruit beverage. In G. Charalambous (ed.) , Shelf-life studies of food and beverages : chemical, biological, physical and nutritional aspects. pp. 237 – 254. Amsterdam: Elsevier science publisher.
- Mason, R. L., Gunst, R. F. and Hess, J. L. 1986. Statistical design and analysis of experiment with application to engineering and science. New York: Wiley. 692 p.
- Mayer, M. A., Philippon, J. and Nicolas, J. 1993. Browning: enzymatic-biochemical aspects. In R. Macrae, R. K. Robinson and M. J. Sadler (eds.), Encyclopedia of food science, food technology and nutrition, pp. 499 – 506. London: Academic Press.
- Meilgard, M., Civille, V. G. and Carr, B. T. 1987. Sensory evaluation techniques. Florida: CRC Press. 281 p.
- Miller, G. L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal. Chem. 31(3): 426 - 428.
- Miller, D. D. 1998. Food chemistry: a laboratory manual. New York: John Wiley & Sons. 153 p.
- O'Beirne, D. 1986. Effect of pH on non enzymatic browning during storage in apple juice concentrate prepared from Bromley's seeding apples. J. Food Sci. 51(4): 1073 - 1074.
- O'Carroll, P. 1997. Nutrition beverage. Food ingred. and anal. Int. 21(6): 19 – 23.

- Pecoroni, S., Zimmer, E. Gierschner, K., and Dietrich, H. 1996. Cloud-stable 'naturally cloudy' apple juices-manufacturing technology and effect of raw material. [CD - ROM] Abstract form: ESTA(1990 - 2000): Abstract No. 1997 – 01 - H0144.
- Perera, C. O. and Baldwin, E. A. 2001. Biochemistry of fruits and its implications on processing. In D. Arthey and p. R. Ashurst (eds.), Fruit processing: nutrition, product and quality management, pp. 19 - 110. 2<sup>nd</sup> ed. Maryland: An Aspen Publisher.
- Pettitt, D. J. 1978. Xanthan gum. In J. M. V. Blanshard and J. R. Mitchell (eds.), Polysaccharides in food, pp. 263 – 282. London: Butterworths.
- Pilnik, W., and Rombouts, F. M. 1979. Pectic enzyme. In J. W. V. Blanshard, and J. R. Mitchell (eds.), Polysaccharide in food, pp. 109 – 126. London: Butterworths.
- Ramteke, R. S. and Eipeson, W. E. 1990. Storage studies on Coorg Mandarin juice concentrated packed in various containers. J. Food Sci. 27(5): 368 – 371.
- Ramteke, R. S., Singh, N. I., Rekha, M. N. and Eipeson, W. E. 1993. Methods for concentration of fruit juices : a critical evaluation. J. Food Sci. Technol. 30(6): 391 – 402.
- Rangana, G. M. 1978. Manual of analysis of fruit and vegetable products. 2<sup>nd</sup> ed. New Delli: Mc Graw-Hill. 495 p.
- Roig, M. E. , Bello, J. F., Rivera, Z. S., and Kennedy, J. F. 1999. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice. Food Res. Int. 32(9): 609 - 619.
- Rouse, A. H. Atkins, C. D. and Moore, E. L. 1962. Seasonal changes occurring in the pectinesterase activity and pectic constituents of the component parts of citrus fruits I. Valencia oranges. J. Food Sci. 27(3): 419 – 425.
- Roy, A. K., Joshi, S. and Nath, N. 1997. Effect of homogenization on sensory quality and rheological characteristics of pulp and beverages from ripe 'Dushehari' mangoes. J. Food Sci. Technol. 34(3): 212 – 217.

- Rutledge, P. 2000. Production of nonfermented fruit products. In D. Arthey and P. R. Ashurst (eds.), Fruit processing: nutrition, product and quality management, pp. 19 - 110. 2<sup>nd</sup> ed. Maryland : An Aspen Publisher.
- Sadler, G. D., Parish, M. E. and Wicker, L. 1992. Microbial, enzymatic and chemical changes during storage of fresh and processed orange juice. J. Food Sci. 57 (5): 1187 – 1191.
- Sapers, G. M. 1993. Browning of foods: control by sulfites, antioxidants, and other means. Food tech. 47(2): 75 – 84.
- Schuppner, H. R. 1968. Non – alcoholic beverage. United States Patent. 3413125.
- Shomer, I. 1988. Protein self-encapsulation: a mechanism involved with colloidal flocculation in citrus fruit extracts. J. Sci. Food Agric. 42(1): 55 – 66.
- Shomer, I. 1991. Protein coagulation cloud in citrus fruit extract. 1. formation of coagulates and their bound pectin and neutral sugars. J. Agric. Food Chem. 39(12): 2263 – 2266.
- Siegmund, B., Derler, K. and Pfannhauser, W. 2001. Changes in the aroma of a strawberry drink during storage. J. Agric. Food Chem. 49 (7): 3244 – 3252.
- Singh, R. P. 2000. Scientific principle of shelf-life evaluation. In D. Man and A. Jones (eds.), Shelf-life evaluation of foods, pp. 3 - 22. 2<sup>nd</sup> ed. Maryland: An Aspen Publisher.
- Sreekantiah, K. R., Jaleel, S. A., and Rao, T. N. R. 1971. Utilization of fungal enzymes of the liquefaction of soft fruit and extraction and clarification of fruit juice. J. Food Sci. Technol. 8(1): 201 - 205.
- Tanada, P. P., Jardine, J., and Matta, Y. 1999. Production of banana (*Musa cavendishii*) extract containing on polyphenol oxidase by ultrafiltration. J. Sci. Food Agric. 79(5): 643 - 647.
- Thakur, B. R., Singh, R. K. and Handa, A. K. 1995. Effect of homogenization pressure on consistency of tomato juice. J. Food Qual. 18(2): 389 – 396.
- Tijssen, H. A. G. 1970. Concentration processes for liquid foods containing volatile flavors and aromas. J. Food Sci. 35(1): 211 - 229.



- Tressler, D. K., and Joslyn, M. A. 1971. Fruit and vegetable juices processing technology. 2<sup>nd</sup> ed. Connecticut: AVI Publishing. 486 p.
- Tronc, J. S., Lamarche, F. and Makhlouf, J. 1998. Effect of pH variation by electro dialysis on the inhibitions of enzymatic browning in cloudy apple juice. J. Agric. Food Chem. 46 (3): 829 – 833.
- Uelgen, N and Oesilgen, M. 1993. Determination of optimum pH and temperature for pasteurization of citrus juice by response surface methodology. [CD - ROM] Abstract form: FSTA (1990 - 2000): Abstract No. 1993 – 05 - H0064.
- Varnam, A. H., and Sutberland, J. P. 1994. Beverage: technology, chemistry and microbiology. London: Chapman & Hall. 464 p.
- Versterg, C., Ranbouts, F. M., Spanson, C. H., and Pilnik, W. 1980. Thermostability and orange juice cloud destability properties of multiple pectinesterase from orange. J. Food Sci. 45(4): 969 - 998.
- Yen, G. C., Lin, H. T., and Yang, P. 1992. Changes in volatile flavor components of guava puree during processing and frozen storage. J. Food Sci. 57(4): 679 - 681, 685.
- Yen, G. C., Lin, H. T., and Yang, P. 1996. Comparison of high pressure treatment and thermal pasteurizatipon effects on the quality and self life of guava puree. Int. J. Food Sci. and Technol. 31(1): 205 - 213.
- Yen, G. C. and Song, T. Y. 1998. Characteristics of clouding substances in guava puree. J. Agric Food Chem. 46(9): 3435 – 3439.
- Woodroof, J. G., and Luh, B. S. 1975. Commercial fruit processing. Connecticut: AVI Publishing. 710 p.
- <http://www.jungbunzlauer.com/products/product25.html#literature>  
<http://newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/morton/santol.html>



**ภาคผนวก**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### วิธีวิเคราะห์และวิธีคำนวณ

#### ก.1 การวัด activity ของเอนไซม์ PPO

ตามวิธีของ Miller (1998)

สารเคมี

1. สารละลาย ethyl alcohol เข้มข้น 50 %
2. สารละลาย guaiacol เข้มข้น 0.5 % ใน ethyl alcohol 50 %
3. สารละลาย hydrogen peroxide เข้มข้น 0.08 %

สารละลาย hydrogen peroxide เข้มข้น 30 % 2.8 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 ml เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 5 – 8 °C

วิธีทดลอง

1. เจือจางตัวอย่างน้ำผลไม้ 2 ml ด้วยน้ำกลั่น 20 ml
2. เติมสารละลาย guaiacol เข้มข้น 0.5 % 1 ml โดยไม่ต้องเขย่า แล้วเติม สารละลาย hydrogen peroxide เข้มข้น 0.08 % 1 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 3.5 นาที
3. สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมด้วยเครื่องวัดสี โดยถ้าสีเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลภายในเวลา 3.5 นาที แสดงว่าตัวอย่างนั้น ๆ มี activity ของเอนไซม์ PPO อยู่

#### ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ตามวิธีของ AOAC (1995)

อุปกรณ์

ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

สารเคมี

1. สารละลายกรด sulfuric เข้มข้น
2. สารละลายกรด sulfuric เข้มข้น 0.1 N
3. สารละลาย sodium hydroxide ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร
4. สารละลายกรด boric ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร
5. Catalyst (Kjeltabs)
6. สารละลาย methyl red-methylene blue

## วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 5 g ลงในขวดย่อย
2. เติม catalyst 5 g
3. เติมสารละลายกรด sulfuric เข้มข้น 30 ml
4. ย่อยตัวอย่างด้วยเครื่อง Kjeldatherm จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อน
5. กลั่นตัวอย่างที่ย่อยได้ด้วยเครื่อง Vapodest I โดยใช้สารละลาย sodium hydroxide เป็นตัวทำปฏิกิริยา และเก็บสารที่กลั่นได้ในสารละลายกรด boric ซึ่งเติม methyl red-methylene blue เพื่อใช้เป็น indicator 5 – 6 หยด
6. ไตเตรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรด sulfuric เข้มข้น 0.1 N คำนวณปริมาณโปรตีนโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน(ร้อยละ)} = \frac{A \times B \times 6.25 \times 1.4}{C}$$

A = ความเข้มข้นของกรด sulfuric ที่ใช้ไตเตรต

B = ปริมาตรของกรด sulfuric ที่ใช้ไตเตรต (ml)

C = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (g)

## ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

ตามวิธีของ AOAC (1995)

## อุปกรณ์

1. ตู้อบ
2. Rohring tube
3. Water bath

## สารเคมี

Petroleum ether

สารละลายกรด hydrochloric

ดวงสารละลายกรด hydrochloric เข้มข้น 100 ml ละลายในน้ำกลั่น 250 ml

Ethyl alcohol

## วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 2 g ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml เติม ethyl alcohol 2 ml แล้วเขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายกรด hydrochloric 10 ml ผสมให้เข้ากัน
2. นำไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 70 – 80 °C ใน water bath เป็นเวลา 35 นาที แล้วเติม ethyl alcohol 10 ml เขย่าให้เข้ากัน แล้วทำให้เย็น
3. ถ่ายส่วนผสมลงใน Rohring tube ล้างบีกเกอร์ด้วย petroleum ether 25 ml แล้วเขย่า tube อย่างแรง 1 นาที แล้วเติม petroleum ether 25 ml และเขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง ตั้งทิ้งไว้จนสารละลาย ether ส่วนบนใส
4. โขสารละลายใสส่วนบนใส่บีกเกอร์ แล้วนำไปประเหย petroleum ether ในตู้อบ 102 ± 2 °C
5. สกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง (ตั้งแต่ข้อ 3 – 4) ด้วย ด้วย petroleum ether ครั้งละ 15 ml โดยใช้บีกเกอร์เดิม
6. นำบีกเกอร์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 102 ± 2 °C ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วนำไปทำให้เย็น ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณไขมันโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักบีกเกอร์ที่ได้จากข้อ 6} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์เริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

## ก.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยใช้สารละลายกรด 3,5 Dinitrosalicylic (DNSA)

ตามวิธีของ Miller (1959)

## อุปกรณ์

1. spectrophotometer
2. เตาให้ความร้อน

## สารเคมี

1. สารละลาย sodium hydroxide 2 N
2. sodium potassium tartrate
3. สารละลาย DNSA

ละลายกรด 3,5 Dinitrosalicylic 25 g ในสารละลาย sodium hydroxide 2 N และเติม sodium potassium tartrate 75 g คนจนละลาย แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 250 ml ด้วยน้ำกลั่น เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง

### วิธีทดลอง

1. นำสารละลายตัวอย่าง 1 ml เติมสารละลาย DNSA 1 ml ผสมให้เข้ากัน
2. ต้มในน้ำเดือด 10 นาที ทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว แล้วเติมน้ำ 10 ml ผสมให้เข้ากัน
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 nm
4. คำนวณความเข้มข้นของน้ำตาล reducing จากกราฟมาตรฐาน ซึ่งแปรความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสเป็น 0 – 2 g/l

### ก.5 ปริมาณกรดทั้งหมด

ตามวิธีของ AOAC (1981)

#### สารเคมี

1. สารละลาย phenolphthalein  
ซึ่ง phenolphthalin 1.0 g ละลายใน ethyl alcohol 95% ปริมาตร 100 ml เติม sodium hydroxide 0.1 N ที่ละหยด จนหยดแรกเป็นสีชมพู แล้วปรับปริมาตรเป็น 200 ml ด้วยน้ำกลั่น
2. สารละลาย sodium hydroxide 0.1 N
3. สารละลายมาตรฐาน potassium hydrogen phthalate  
ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอนของ potassium hydrogen phthalate (ซึ่งผ่านการอบได้ ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ปริมาณ 0.7 – 0.9 g ละลายในน้ำกลั่น 50 ml

#### วิธีทดลอง

1. ปิเปตตัวอย่าง 5 ml ใส่ใน flask ขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 5 ml
2. หยดสารละลาย phenolphthalein
3. ไตเตรตด้วยสารละลาย sodium hydroxide ที่รู้ความเข้มข้นที่แน่นอน จนถึงจุดยุติเป็นสีชมพู

#### วิธีการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ สารละลาย sodium hydroxide

1. นำสารละลาย sodium hydroxide 0.1 N ปริมาตร 8 ml ละลายในน้ำกลั่น 1000 ml
2. ไตเตรตสารละลายมาตรฐาน potassium hydrogen phthalate คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย sodium hydroxide โดยใช้สูตร

ความเข้มข้นของสารละลาย sodium hydroxide

$$= \frac{\text{น้ำหนัก potassium hydrogen phthalate (g)} \times 100}{\text{สารละลาย sodium hydroxide (ml)} \times 204.229}$$

การคำนวณ

ปริมาณกรด (% as citric acid)

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของสารละลาย sodium hydroxide} \times \text{ปริมาตรของสารละลาย sodium hydroxide ที่ใช้ไตเตรต (ml)} \times 0.07 \times 100}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (ml)}}$$

## ก.6 ปริมาณเพคติน

ตามวิธีของ Kertesz (1951)

อุปกรณ์

1. เตาให้ความร้อน
2. ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 80 °C

สารเคมี

1. สารละลายกรด hydrochloric  
ตวงสารละลายกรด hydrochloric เข้มข้น 100 ml ละลายในน้ำกลั่น 250 ml
2. สารละลาย ethyl alcohol ความเข้มข้น 95 %

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 100 g ใส่ใน beaker ขนาด 250 ml นำไประเหยน้ำออกจนปริมาณเหลือ 20 – 25 ml ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
2. เติมสารละลาย ethyl alcohol ปริมาตร 200 ml ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง
3. นำมากรองโดยใช้กระดาษกรอง whatman No.1 แล้วล้างตะกอนด้วย สารละลาย ethyl alcohol อีกครั้ง
4. ใช้น้ำร้อนชะตะกอนจากกระดาษกรองใส่ใน beaker แล้วนำไประเหยน้ำออก จนมีปริมาณเหลือ 20 – 25 ml ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. เติมสารละลายกรด hydrochloric 5 ml เขย่าให้เข้ากัน
6. เติมสารละลาย ethyl alcohol ปริมาตร 200 ml ในขณะที่เติมต้องเขย่าตลอดเวลา ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง
7. กรองตะกอนและล้างตะกอนด้วยสารละลาย ethyl alcohol อีกครั้ง

8. ใช้น้ำร้อนชะตะกอนออกจากกระดาษกรองลงใน aluminum dish ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C จนได้น้ำหนักคงที่
9. ชั่งน้ำหนักตะกอนแห้ง

### ก.7 วัด activity ของเอนไซม์ PME

ดัดแปลงจากวิธีของ Yen et al. (1996) และ Rouse et al. (1962)

#### อุปกรณ์

1. water bath
2. automatic burette

#### สารเคมี

1. สารละลายเพคติน ความเข้มข้น 1 %  
ซึ่งเพคติน 1 g ละลายในสารละลาย sodium chloride และ sodium azide เข้มข้น 0.1M และ 1 mM ตามลำดับ ปริมาณ 100 ml และปรับ pH เป็น 7.0
2. สารละลาย sodium hydroxide 0.02 N
3. สารละลาย methyl red 0.1 %

#### วิธีทดลอง

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำผลไม้ 25 ml และ ตวงสารละลายเพคติน 100 ml ลงใน flask 250 ml ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ใน water bath อุณหภูมิ 30 °C จับเวลา
2. ปิเปตสารละลายปริมาณ 25 ml ลงใน flask 125 ml หยดสารละลาย methyl red 3 – 5 หยด สารละลายที่ได้จะมีสีชมพู ไตเตรตกับสารละลาย sodium hydroxide 0.02 N จนกระทั่งสีชมพูหายไป ซึ่งสารละลายที่ได้จะมี pH ประมาณ 7.0 บันทึกปริมาณสารละลาย sodium hydroxide ที่ใช้ ทำซ้ำทุก ๆ 5 นาที
3. สร้างกราฟระหว่างปริมาณสารละลาย sodium hydroxide ที่ใช้กับเวลา นำค่าความชันของกราฟ (A) ที่ได้ไปคำนวณหา activity ของเอนไซม์ PME

$$\text{PME activity} = \frac{A \times (\text{ความเข้มข้นของสารละลาย sodium hydroxide}) \times 1000}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (ml) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 ml}}$$

โดย 1 unit ของ PME activity = ปริมาตรของเอนไซม์ PME ที่ปลดปล่อยกรดจากโมเลกุลของเพคติน 1.0  $\mu$  ต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 °C



## ก.8 ปริมาณแคลเซียม

ตามวิธีของ AOAC (1995)

### อุปกรณ์

1. muffle furnace
2. ตู้อบลมร้อน
3. Atomic absorption spectrophotometer

### สารเคมี

1. กรด nitric เข้มข้น
2. สารละลาย Lanthanum oxide

ซึ่ง Lanthanum oxide 11.73 g ละลายด้วย กรด nitric เข้มข้น 25 ml ปรับ

ปริมาตรเป็น 1000 ml

3. Calcium stock solution

นำ concentrated calcium carbonate stock solution ซึ่งมีแคลเซียม 500 mg/l เจือจางให้มีความเข้มข้น 20 mg/l

### วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างน้ำกระท้อนประมาณ 4 กรัม ใส่ใน crucible ที่แห้ง นำไปอบไล่ความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 100 °C แล้วนำไปเผาด้วย hot plate จนไม่มีควัน
2. นำ crucible ที่เผาไล่ควันแล้วไปเข้า muffle furnace ที่อุณหภูมิ 525 °C 20 ชั่วโมง
3. ละลายเถ้าที่ได้ด้วยกรด nitric เข้มข้น 1 ml แล้วปรับปริมาตรสารละลายเป็น 250 ml
4. บีบสารละลายจากข้อ 3 ปริมาตร 10 ml ลงใน volumetric flask 100 ml แล้วเติมสารละลาย Lanthanum oxide 10 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml
5. นำสารละลายที่ได้ไปเข้าเครื่อง atomic absorption spectrophotometer อ่านค่า ดูดกลืนแสงที่ได้ คำนวณปริมาณแคลเซียมที่ได้จากกราฟมาตรฐาน ซึ่งรายงานในหน่วย ppm

### การทำกราฟมาตรฐาน

1. บีบ calcium stock solution มา 5, 10, 15, 20 และ 25 ml ใส่ใน volumetric flask 100 ml (เตรียม blank โดยไม่ใส่ calcium stock solution )เติมสารละลาย Lanthanum oxide 10 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นของแคลเซียมเป็น 0 – 5 ppm
2. สารละลายที่ได้จากข้อ 1 นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

การคำนวณปริมาณแคลเซียมในหน่วย mg / 100 ml โดย

$$\text{calcium (mg/100ml)} = \frac{\text{ปริมาณแคลเซียมในหน่วย (ppm)} \times 2500}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(g)} \times 10}$$

### ก.9 ตรวจนับปริมาณแบคทีเรีย

ตามวิธีของ Harrigan และ McCance (1976)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

plate count agar

ซึ่ง plate count agar 23.5 g ละลายในน้ำกลั่นร้อน 1000 ml บรรจุลงใน flask ปิดปากด้วยจุกสำลี จากนั้นนำมาฆ่าเชื้อใน autoclave ที่ 121 °C ความดัน 15 lb/in<sup>2</sup> เป็นเวลา 15 นาที  
วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายเจือจางของน้ำกระท้อนที่ dilution 10<sup>-1</sup>, 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup> และ 10<sup>-5</sup> ด้วยน้ำเกลือปลอดเชื้อ 0.85 %
2. ปิเปตสารละลายเจือจางของน้ำกระท้อนที่ dilution ต่างๆ 1 ml ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อ dilution ละ 2 จาน เท plate count agar (อุณหภูมิ 40 – 45 °C) ลงในจานเลี้ยงเชื้อประมาณจานละ 15 – 20 ml หมุนจานไปมาเพื่อให้สารละลายเจือจางของน้ำกระท้อนและ plate count agar ผสมกัน ทิ้งให้แห้งตัว
3. นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C นาน 2 – 3 วัน ตรวจนับเชื้อแบคทีเรีย แล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อน้ำกระท้อน 1 ml

### ก.10 ตรวจนับปริมาณยีสต์ และรา

ตามวิธีของ Harrigan และ McCance (1976)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

potato dextrose agar

ซึ่ง potato dextrose agar 39.0 g ละลายในน้ำกลั่นร้อน 1000 ml บรรจุลงใน flask ปิดปากด้วยจุกสำลี ฆ่าเชื้อใน autoclave ที่ 121 °C ความดัน 15 lb/in<sup>2</sup> เป็นเวลา 15 นาที ปรับ pH ด้วยสารละลายกรด tartaric ปลอดเชื้อ ความเข้มข้น 10 % ปริมาตร 1.6 ml ต่อ potato dextrose agar 100 ml (pH = 3.7 – 4) เท potato dextrose agar ลงในจานเลี้ยงเชื้อจานละ 15 – 20 ml แล้วทิ้งให้อาหารแห้งตัว

### วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายเชื้อจากของน้ำกระท้อนที่ dilution  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  และ  $10^{-5}$  ด้วยน้ำเกลือปลอดเชื้อ 0.85 %
2. ปิเปตสารละลายเชื้อจากของน้ำกระท้อนที่ dilution ต่างๆ 0.1 ml ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อ dilution ละ 2 จาน แล้วใช้แท่งแก้วรูปตัว L ที่จุ่ม alcohol และลนไฟแล้ว เกลี่ยสารละลายเชื้อจากของน้ำกระท้อนให้กระจายทั่วผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ
3. นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ  $35 \pm 1$  °C นาน 2 – 3 วัน ตรวจนับเชื้อยีสต์ และรา แล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อน้ำกระท้อน 1 ml



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ข.1 แบบประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำกระเทียม

Triangle test

วันที่ .....

ผู้ทดสอบ.....

ข้อแนะนำ

ผลิตภัณฑ์สองในสามตัวอย่างนี้ มีลักษณะทางด้านสี กลิ่นกระเทียม ความคงตัวของความ  
ชุ่ม ที่เหมือนกัน ขณะที่อีกตัวอย่างแตกต่างออกไป โปรดใช้ความสามารถทางประสาทสัมผัสของ  
ท่านเลือกตัวอย่างที่มีลักษณะที่แตกต่างจากสองตัวอย่าง

1. สี

รหัสตัวอย่าง

ตัวอย่างที่แตกต่าง

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

2. กลิ่นกระเทียม

รหัสตัวอย่าง

ตัวอย่างที่แตกต่าง

.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....

## 3. ความคงตัวของความชุ่ม

รหัสตัวอย่าง

.....

.....

.....

ตัวอย่างที่แตกต่าง

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ข.2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำกระทอนเข้มข้น

ชื่อ.....เพศ.....อายุ.....วันที่.....

ข้อแนะนำ กรุณาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำกระทอนเข้มข้น โดยลากเส้นแนวตั้งให้ตัดกับ scale แนวนอนเพื่อระบุระดับของลักษณะที่กำหนดให้ต่อไปนี้

1. สี

สีน้ำตาลอ่อน

สีน้ำตาลเข้ม

2. กลิ่นกระทอน

ไม่มีกลิ่นกระทอน

มีกลิ่นกระทอนมาก

3. กลิ่นแปลกปลอม

กลิ่นแปลกปลอมมาก

ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม

4. การยอมรับรวม

ไม่ยอมรับ

ยอมรับอย่างยิ่ง

ข้อเสนอแนะ.....

.....

### ข.3 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำกระທ້ອນ

ชื่อ.....เพศ.....อายุ.....วันที่.....

ข้อแนะนำ กรุณาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำกระທ້ອນจากน้ำ  
กระທ້ອນเข้มข้น โดยลากเส้นแนวตั้งให้ตัดกับ scale แนวนอนเพื่อระบุระดับของลักษณะที่กำหนด  
ให้ต่อไปนี้

1. สี

\_\_\_\_\_

สีเข้มหรืออ่อนเกินไป

\_\_\_\_\_

สีที่ดีและมีลักษณะเฉพาะของ  
น้ำกระທ້ອນ

2. กลิ่นกระທ້ອນ

\_\_\_\_\_

ไม่มีกลิ่นกระທ້ອນ

\_\_\_\_\_

มีกลิ่นกระທ້ອນมาก

3. กลิ่นแปลกปลอม

\_\_\_\_\_

กลิ่นแปลกปลอมมาก

\_\_\_\_\_

ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม

4. ความคงตัวของความขุ่น

\_\_\_\_\_

มีความคงตัวน้อย แยกชั้น

\_\_\_\_\_

มีความคงตัวมาก  
ไม่แยกชั้น

5. การยอมรับรวม

\_\_\_\_\_

ไม่ยอมรับ

\_\_\_\_\_

ยอมรับอย่างยิ่ง

ข้อเสนอแนะ.....

.....

## ภาคผนวก ค

### วิธีการฝึกฝนและคัดเลือกผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ดัดแปลงจากวิธีของ Meilgaard, Civille และ Carr (1987)

#### 1. การคัดเลือก

คัดเลือกผู้ทดสอบที่คุ้นเคยและชอบบริโภคผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ ไม่มีโรคประจำตัวที่มีผลกระทบต่อ การทดสอบทางประสาทสัมผัส จำนวน 20 คน

#### 2. การฝึกฝน

2.1 สร้างความคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์น้ำกระท้อนโดยการระดมความคิดและประชุมกลุ่ม เพื่อสร้างความเข้าใจที่ตรงกันเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาทดสอบ

2.2 แปรลักษณะ สี กลิ่นกระท้อน ความคงตัวของความชุ่ม โดยให้แบบทดสอบชนิด triangle จำนวน 15 ครั้ง คัดเลือกผู้ทดสอบที่อธิบายลักษณะได้ถูกต้องมากที่สุด จำนวน 8 คน เป็นผู้ทดสอบตลอดการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



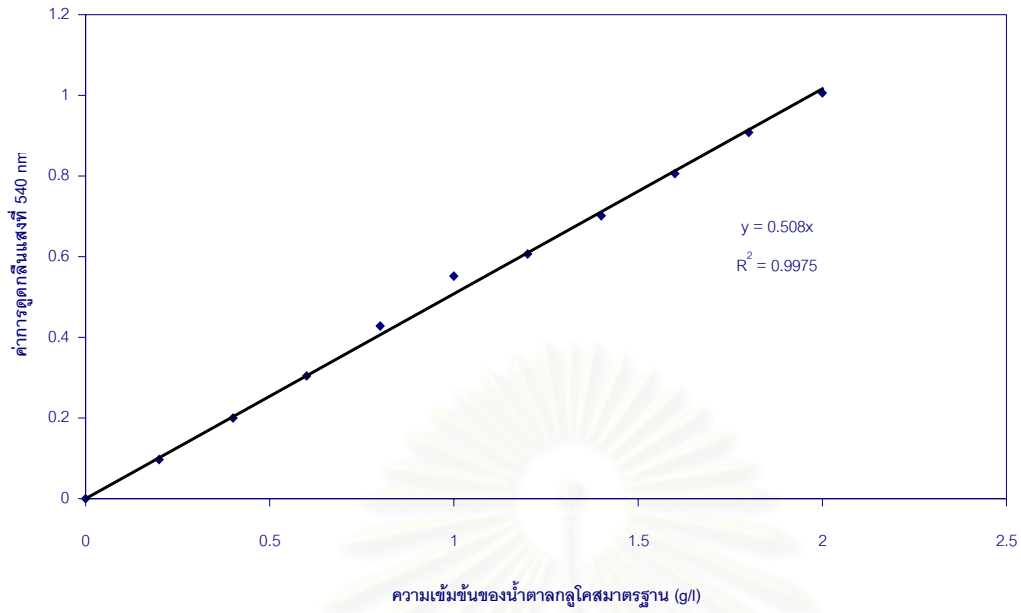
## ภาคผนวก ง



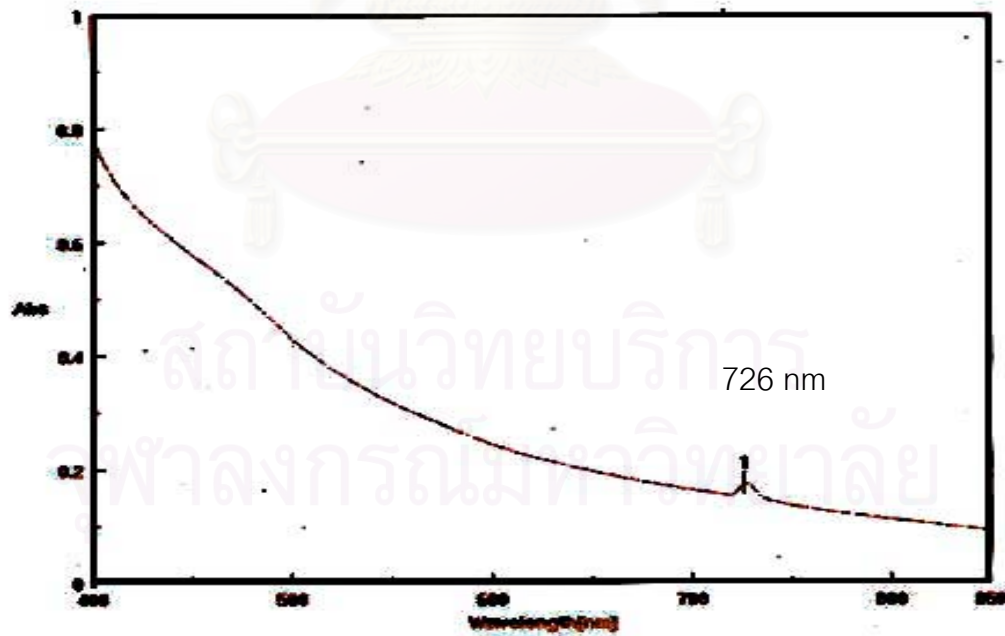
รูปที่ ง.1 เครื่อง hydraulic press



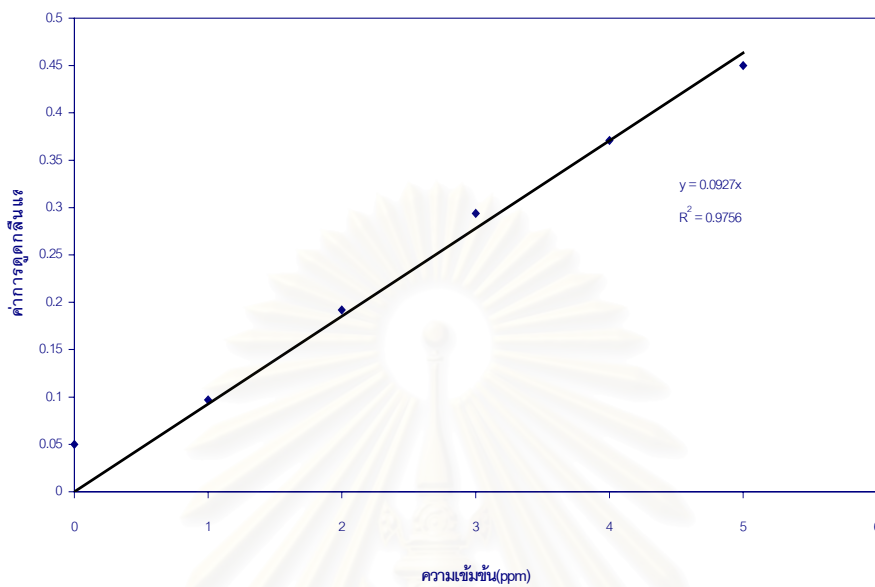
รูปที่ ง.2 เครื่อง blancher



รูปที่ ง.3 standard curve ของการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

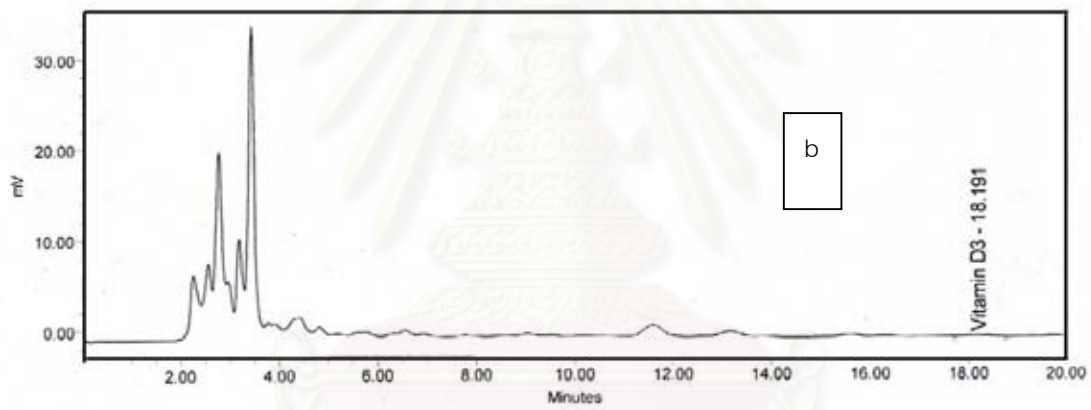
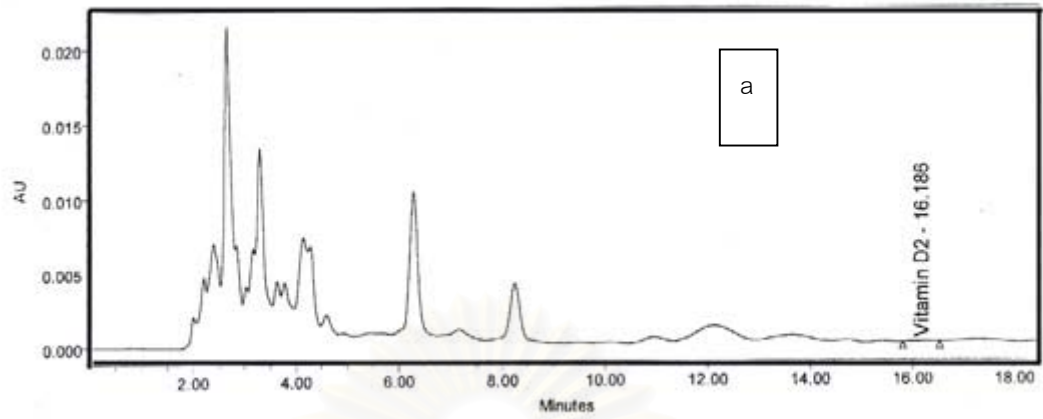


รูปที่ ง.4 ความยาวคลื่นสูงสุดที่ดูดกลืนได้ของน้ำกระท้อนผ่านการ centrifuge 10,000 x g 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25 °C



รูปที่ ๓.5 standard curve ของการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมด้วย atomic absorption spectrophotometer

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง.6 chromatogram ของปริมาณวิตามินดีในน้ำกระท้อน (a) และวิตามินดีสามของ น้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu$ g/100 ml(b)

## ภาคผนวก จ

### ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ จ.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณผลผลิตทั้งหมดของน้ำกระท้อนที่สกัดได้จากเครื่องคั้นน้ำแบบแยกกากและเครื่อง hydraulic press เป็นเวลา 9 12 และ 15 นาที

SOV	DF	MS
		ปริมาณผลผลิตทั้งหมด
เวลา	2	1.28*
ERROR	9	0.003

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ จ.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาต่อ activity ของเอนไซม์ PME

SOV	DF	MS
Regression	4	0.427648*
Residual	21	0.003678
Lack of fit	12	0.0003487
Pure error	9	0.042961

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ๑.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาต่อค่าความสว่างของน้ำกระท้อน

SOV	DF	MS
Regression	4	0.488302*
Residual	21	0.007829
Lack of fit	12	0.002437
Pure error	9	0.01502

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ๑.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาต่อค่าสีแดงของน้ำกระท้อนเข้มข้น

SOV	DF	MS
Regression	3	0.02886*
Residual	22	0.001386
Lack of fit	13	0.000065
Pure error	9	0.003293

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำกระท้อนเข้มข้นที่ได้จากการระเหยน้ำที่  
ความดัน  $50 \pm 5$  mbar อุณหภูมิ 60 70 และ  $80^{\circ}\text{C}$

SOV	DF	MS		
		L*	a*	b*
อุณหภูมิในการระเหยน้ำ	2	0.271	0.250 <sup>1</sup>	0.073
ERROR	9	0.074	0.024	0.038

<sup>1</sup> แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ๑.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำกระท้อนก่อนระเหยและน้ำกระท้อน  
ที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน  $50 \pm 5$  mbar อุณหภูมิ 60 70 และ  
 $80^{\circ}\text{C}$

SOV	DF	MS		
		L*	a*	b*
อุณหภูมิในการระเหยน้ำ	3	0.315	0.144 <sup>1</sup>	0.223
ERROR	12	0.183	0.020	0.137

<sup>1</sup> แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ๑.7** ปริมาณสารแขวนลอยโดยวัดจากส่วนซุ่น (ml) ของน้ำกระท้อนก่อนระเหย(C) และน้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน  $50 \pm 5$  mbar อุณหภูมิ 60 70 และ  $80^{\circ}\text{C}$

วันที่	C	60 °C	70 °C	80 °C	วันที่	C	60 °C	70 °C	80 °C
0	100	100	100	100	8	0.8	1.0	5.6	9
1	1.0	1.6	6.6	12	9	0.8	1.0	5.6	8
2	1.0	1.4	6.6	11	10	0.8	1.0	5.6	8
3	1.0	1.4	6.0	11	11	0.8	1.0	5.6	7
4	1.0	1.4	6.0	10	12	0.8	1.0	5.6	7
5	1.0	1.2	5.8	10	13	0.8	1.0	5.6	7
6	1.0	1.2	5.8	9	14	0.8	1.0	5.6	6
7	0.8	1.2	5.8	9	15	0.8	1.0	5.6	6

**ตารางที่ ๑.8** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาเก็บต่อค่าการดูดกลืนแสงของน้ำกระท้อนก่อนระเหยและน้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน  $50 \pm 5$  mbar อุณหภูมิ 60 70 และ  $80^{\circ}\text{C}$  เก็บที่  $5 - 8^{\circ}\text{C}$  สัปดาห์ที่ 0 - 2

SOV	DF	MS			
		น้ำกระท้อนก่อนระเหย	น้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ $60^{\circ}\text{C}$	น้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ $70^{\circ}\text{C}$	น้ำกระท้อนที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ $80^{\circ}\text{C}$
เวลาเก็บ (สัปดาห์)	2	0.00089*	0.00185*	0.00308*	0.00268*
ERROR	9	0.000087	0.000137	0.00026	0.000086

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



ตารางที่ ๑.9 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำกระท้อนเข้มข้นที่ได้จากการระเหยน้ำที่  
ความดัน  $50 \pm 5$  mbar อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$   $70^{\circ}\text{C}$  และ  $80^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิในการ ระเหยน้ำ ( $^{\circ}\text{C}$ )	สี	กลิ่นกระท้อน	กลิ่นแปลกปลอม	การยอมรับรวม
60	$6.86 \pm 0.69$	$7.12 \pm 0.49$	$9.90 \pm 0.04$	$6.44 \pm 0.50$
70	$7.16 \pm 0.69$	$7.61 \pm 0.46$	$9.90 \pm 0.05$	$7.38 \pm 0.62$
80	$7.01 \pm 0.71$	$7.33 \pm 0.36$	$9.91 \pm 0.05$	$6.78 \pm 0.57$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตารางที่ จ.10** คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ของน้ำกระท่อมก่อนระเหย และน้ำกระท่อมที่เตรียมจากตัวอย่างที่ทำให้เข้มข้นที่ความดัน  
50 ± 5 mbar อุณหภูมิ 60 70 และ 80 °C

ตัวอย่างน้ำกระท่อม	สี	กลิ่นกระท่อม	กลิ่นแปดกลีบดอก	ความคงตัวของความขุ่น	การยอมรับรวม
น้ำกระท่อมก่อนระเหย	9.87 ± 0.17	8.94 ± 0.66	9.91 ± 0.07	9.43 ± 0.72	9.08 ± 0.68
น้ำกระท่อมจากตัวอย่างที่ ทำให้เข้มข้นที่ 60 °C	8.81 ± 0.18	6.38 ± 0.43	9.94 ± 0.08	9.30 ± 0.84	7.82 ± 0.55
น้ำกระท่อมจากตัวอย่างที่ ทำให้เข้มข้นที่ 70 °C	9.43 ± 0.23	7.48 ± 0.48	9.91 ± 0.06	9.53 ± 0.61	8.41 ± 0.55
น้ำกระท่อมจากตัวอย่าง ที่ทำให้เข้มข้นที่ 80 °C	7.49 ± 0.40	7.38 ± 0.45	9.90 ± 0.08	9.42 ± 0.88	7.85 ± 0.66

ตารางที่ ๑.11 ขนาดอนุภาคของตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระทัอน homogenization (H)  
น้ำกระทัอนเติม xanthan gum (X) และน้ำกระทัอน homogenization -  
xanthan gum (HX)

ขนาด (μm)	C	H	X	HX	ขนาด (μm)	C	H	X	HX
0.05	0.053	0.108	0	0.013	4.88	2.638	2.448	2.697	3.477
0.06	0.108	0.217	0	0.033	5.69	2.383	1.987	3.140	3.998
0.07	0.167	0.335	0	0.045	6.63	2.072	1.550	3.567	4.495
0.08	0.228	0.455	0	0.067	7.72	1.742	1.173	3.948	4.932
0.09	0.293	0.592	0	0.087	9.00	1.425	0.872	4.250	5.282
0.11	0.367	0.745	0	0.110	10.48	1.160	0.668	4.443	5.515
0.13	0.450	0.920	0	0.143	12.21	0.962	0.553	4.505	5.607
0.15	0.547	1.128	0	0.185	14.22	0.850	0.377	4.435	5.558
0.17	0.662	1.377	0	0.240	16.57	0.743	0.408	4.253	5.370
0.20	0.785	1.657	0	0.305	19.31	0.822	0.492	3.993	5.062
0.23	0.900	1.923	0	0.370	22.49	0.988	0.630	3.703	4.667
0.27	0.968	2.098	0	0.412	26.20	1.252	0.837	3.422	4.193
0.31	0.975	2.142	0	0.415	30.53	1.597	1.113	3.190	3.637
0.36	0.945	2.107	0	0.402	35.56	2.002	1.443	3.023	3.098
0.42	0.932	2.110	0	0.395	41.43	2.430	1.848	2.927	2.603
0.49	0.935	2.148	0.342	0.400	48.27	2.833	2.233	2.887	2.153
0.58	0.938	2.177	0.403	0.398	56.23	3.160	2.512	2.875	1.753
0.67	0.988	2.297	0.413	0.423	65.51	3.382	2.593	2.870	1.408
0.78	1.128	2.548	0.455	0.480	76.32	3.493	2.450	2.850	1.137
0.91	1.297	2.837	0.498	0.552	88.91	3.507	2.120	2.787	0.937
1.06	1.495	3.153	0.56	0.642	103.58	3.395	1.695	2.705	0.813
1.24	1.728	3.475	0.638	0.752	120.67	3.300	1.290	2.628	0.748
1.44	1.980	3.762	0.730	0.880	140.58	3.295	0.960	2.558	0.715
1.68	2.237	3.972	0.830	1.035	163.77	3.282	0.693	2.452	0.687
1.95	2.472	4.078	0.958	1.222	190.80	3.173	0.467	2.238	0.613
2.28	2.667	4.048	1.118	1.447	222.28	2.807	0.268	1.832	0.472
2.65	2.813	3.903	1.323	1.732	258.95	2.090	0.102	1.208	0.275
3.09	2.898	3.655	1.583	2.078	301.68	1.213	0.040	0.585	0.062
3.60	2.905	3.313	1.902	2.497	351.46	0.348	0	0	0
4.19	2.817	2.902	2.280	2.967	409.45	0	0	0	0

**ตารางที่ ๑.12** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคของของตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระท้อน homogenization (H) น้ำกระท้อนเติม xanthan gum (X) และ น้ำกระท้อน homogenization - xanthan gum (HX)

SOV	DF	MS			
		< 1.06 $\mu\text{m}$	1.06 – 10.48 $\mu\text{m}$	10.49 – 103.58 $\mu\text{m}$	> 103.58 $\mu\text{m}$
treatment	3	461.707*	115.14*	807.145*	236.446*
ERROR	8	0.0624	0.848	0.504	0.391

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ๑.13** ค่าการดูดกลืนแสงของของตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระท้อน homogenization (H) น้ำกระท้อนเติม xanthan gum (X) และน้ำกระท้อน homogenization - xanthan gum (HX)

สัปดาห์ที่	C	H	X	HX
0	0.248 $\pm$ 0.010	0.521 $\pm$ 0.002	0.854 $\pm$ 0.010	0.838 $\pm$ 0.011
1	0.227 $\pm$ 0.004	0.504 $\pm$ 0.004	0.854 $\pm$ 0.003	0.822 $\pm$ 0.001
2	0.165 $\pm$ 0.006	0.448 $\pm$ 0.005	0.850 $\pm$ 0.007	0.792 $\pm$ 0.013
3	0.143 $\pm$ 0.002	0.414 $\pm$ 0.002	0.836 $\pm$ 0.004	0.755 $\pm$ 0.015
4	0.106 $\pm$ 0.003	0.382 $\pm$ 0.010	0.833 $\pm$ 0.007	0.705 $\pm$ 0.017

ตารางที่ ๑.14 ปริมาณสารแขวนลอยของตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระท้อน homogenization (H)  
น้ำกระท้อนเติม xanthan gum (X) และ น้ำกระท้อน homogenization - xanthan  
gum (HX)

วันที่	C	H	X	HX
0	100	100	100	100
1	14	100	100	100
2	14	100	100	100
3	14	100	100	100
4	13	100	100	100
5	10	100	100	100
6	10	100	100	100
7	10	90	100	100
8	10	80	100	100
9	10	75	100	100
10	10	70	100	100
11	10	70	100	100
12	9	70	100	100
13	9	65	100	100
14	9	65	100	100
15	9	50	100	100
16	9	50	100	100
17	9	30	100	100
18	8	30	100	100
19	8	20	100	90
20	8	20	100	90
21	8	18	100	90
22	8	18	100	86
23	8	17	100	86
24	7	16	100	86
25	7	16	100	86
26	7	16	100	86
27	7	16	100	86
28	7	16	100	86
29	7	16	100	86
30	7	16	100	86

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตารางที่ ๑.15** คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างควบคุม (C) น้ำกระเทียม homogenization (H) น้ำกระเทียมเติม xanthan gum (X) และน้ำกระเทียม homogenization - xanthan gum (HX)

ตัวอย่าง น้ำกระเทียม	สี	กลิ่นกระเทียม	กลิ่นแปดกล่อม	ความคงตัวของความชุ่ม	การยอมรับรวม
C	8.85 ± 0.29	7.91 ± 0.45	9.59 ± 0.49	9.85 ± 0.34	8.19 ± 0.37
H	8.18 ± 0.44	7.09 ± 0.31	9.72 ± 0.41	9.71 ± 0.45	7.20 ± 0.26
X	8.59 ± 0.39	7.67 ± 0.13	9.83 ± 0.35	9.77 ± 0.36	7.89 ± 0.27
HX	8.16 ± 0.38	7.25 ± 0.22	9.83 ± 0.35	9.81 ± 0.36	7.66 ± 0.35

**ตารางที่ จ.16** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH ความหนืดของน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100ml

SOV	DF	MS	
		pH	ความหนืด
ปริมาณแคลเซียม	3	0.0644*	6.4990*
ERROR	8	0.0004	0.0861

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ จ.17** การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสีของน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml

SOV	DF	MS		
		L*	a*	b*
ปริมาณแคลเซียม	3	3.6360 <sup>1</sup>	0.0054 <sup>1</sup>	0.0710 <sup>1</sup>
ERROR	8	0.0716	0.0006	0.0090

<sup>1</sup> แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ จ.18** ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml

ลำดับที่	ปริมาณแคลเซียม (mg/100 ml)			
	0	120	160	200
0	0.818 ± 0.006	0.810 ± 0.007	0.808 ± 0.006	0.808 ± 0.005
1	0.818 ± 0.005	0.795 ± 0.008	0.803 ± 0.007	0.800 ± 0.001
2	0.803 ± 0.006	0.753 ± 0.008	0.756 ± 0.003	0.744 ± 0.011
3	0.792 ± 0.007	0.742 ± 0.009	0.745 ± 0.006	0.734 ± 0.005
4	0.777 ± 0.016	0.724 ± 0.013	0.726 ± 0.012	0.718 ± 0.011

ตารางที่ จ.19 ปริมาณสารแขวนลอยโดยวัดจากส่วนชั่ง (ml)ของน้ำกระท้อนที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu$ g/100 ml เก็บที่ 5 – 8 ° C เป็น เวลา 30 วัน

วันที่	0 mg/ 100 ml	120 mg/ 100 ml	160 mg/ 100 ml	200 mg/ 100 ml	วันที่	0 mg/ 100 ml	120 mg/ 100 ml	160 mg/ 100 ml	200 mg/ 100 ml
0	100	100	100	100	16	100	100	100	100
1	100	100	100	100	17	100	100	100	98
2	100	100	100	100	18	100	100	100	96
3	100	100	100	100	19	100	100	100	95
4	100	100	100	100	20	100	100	100	93
5	100	100	100	100	21	100	100	100	90
6	100	100	100	100	22	100	100	97	88
7	100	100	100	100	23	100	100	95	85
8	100	100	100	100	24	100	100	95	83
9	100	100	100	100	25	100	95	93	80
10	100	100	100	100	26	100	90	90	80
11	100	100	100	100	27	100	87	90	78
12	100	100	100	100	28	100	85	88	75
13	100	100	100	100	29	100	80	85	70
14	100	100	100	100	30	100	80	80	65
15	100	100	100	100					



ตารางที่ ๑.20 คะแนนทางประสาทสัมผัสของน้ำกระท้อนจากน้ำกระท้อนเข้มข้นที่เสริมแคลเซียม 0 120 160 และ 200 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14  $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$

ปริมาณแคลเซียม (mg/100 ml)	สี	กลิ่นกระท้อน	กลิ่นแปลกปลอม	ความคงตัวของความชุ่ม	การยอมรับรวม
0	$8.82 \pm 0.53$	$8.53 \pm 0.21$	$9.73 \pm 0.21$	$9.77 \pm 0.22$	$9.18 \pm 0.46$
120	$7.56 \pm 0.28$	$8.47 \pm 0.21$	$9.47 \pm 0.23$	$9.81 \pm 0.19$	$8.15 \pm 0.27$
160	$7.62 \pm 0.25$	$8.41 \pm 0.20$	$9.41 \pm 0.24$	$9.80 \pm 0.20$	$8.12 \pm 0.29$
200	$6.59 \pm 0.28$	$8.40 \pm 0.21$	$9.40 \pm 0.21$	$9.77 \pm 0.19$	$7.40 \pm 0.38$

**ตารางที่ ๑.21** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำกระท้อนเข้มข้นที่เก็บที่ 10 °C เป็น  
เวลา 30 วัน

SOV	DF	MS		
		L*	a*	b*
เวลาเก็บ(วัน)	10	0.354 <sup>1</sup>	0.102 <sup>1</sup>	0.0011
ERROR	22	0.0053	0.0018	0.001

<sup>1</sup> แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ๑.22** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำกระท้อนเข้มข้นที่เก็บที่ 27 °C เป็น  
เวลา 18 วัน

SOV	DF	MS		
		L*	a*	b*
เวลาเก็บ(วัน)	6	11.663 <sup>1</sup>	0.273 <sup>1</sup>	0.011
ERROR	14	0.016	0.0031	0.0013

<sup>1</sup> แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ ๑.23** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำกระท้อนเข้มข้นที่เก็บที่ 35 °C เป็น  
เวลา 12 วัน

SOV	DF	MS		
		L*	a*	b*
เวลาเก็บ(วัน)	4	26.182 <sup>1</sup>	1.623 <sup>1</sup>	0.002
ERROR	10	0.0354	0.0041	0.0006

<sup>1</sup> แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ๑.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของน้ำกระท้อนเข้มข้นที่เก็บที่ 55 °C เป็นเวลา 6 วัน

SOV	DF	MS		
		L*	a*	b*
เวลาเก็บ(วัน)	2	43.332 <sup>1</sup>	2.994 <sup>1</sup>	0.0007
ERROR	6	0.008	0.012	0.0005

<sup>1</sup> แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ๑.25 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีของน้ำกระท้อนเข้มข้นเก็บที่ 10 27 35 และ 55 °C เป็นเวลา 30 วัน

เวลาเก็บ (วัน)	คุณทงุมิ			
	10 °C	27 °C	35 °C	55 °C
0	7.34 ± 0.51	7.32 ± 0.41	7.27 ± 0.24	7.25 ± 0.41
3	7.34 ± 0.42	6.84 ± 0.32	6.15 ± 0.35	6.45 ± 0.32
6	7.33 ± 0.25	6.81 ± 0.25	5.45 ± 0.47	5.15 ± 0.36
9	7.33 ± 0.34	6.45 ± 0.24	5.43 ± 0.42	-
12	7.33 ± 0.24	6.37 ± 0.34	5.12 ± 0.23	-
15	7.32 ± 0.32	6.02 ± 0.22	-	-
18	7.32 ± 0.44	5.84 ± 0.32	-	-
21	7.10 ± 0.24	5.25 ± 0.24	-	-
24	6.57 ± 0.26	-	-	-
27	6.54 ± 0.42	-	-	-
30	6.26 ± 0.23	-	-	-

ตารางที่ ๑.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH ค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด ของแข็งที่ละลายได้ และเพคตินในน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml เก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์

SOV	DF	MS			
		pH	ปริมาณกรดทั้งหมด	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	ปริมาณเพคติน
เวลาเก็บ (สัปดาห์)	4	0.00033	0.000074	1.617	0.0626
ERROR	10	0.00022	0.000093	49.451	0.0427

ตารางที่ ๑.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และแคลเซียมที่ตรวจพบในน้ำกระท้อนเสริมแคลเซียม 160 mg/100 ml และวิตามินดีสาม 1.14 µg/100 ml เก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์

SOV	DF	MS				
		สี			น้ำตาลรีดิวซ์	แคลเซียม
		L*	a*	b*		
เวลาเก็บ (สัปดาห์)	4	4.33 <sup>1</sup>	0.0127 <sup>1</sup>	0.632 <sup>1</sup>	3.32 <sup>1</sup>	0.283
ERROR	10	0.0313	0.00054	0.00346	0.108	0.0942

<sup>1</sup> แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ จ.28** คะแนนทางประสาทสัมผัสของน้ำกระเทียมกลีบแดง 160 mg/100 ml และวิตามินดีตาม 1.14 µg/100 ml เก็บที่ 5 – 8 °C เป็นเวลา 4 สัปดาห์

เวลาเก็บ (สัปดาห์)	สี	กลิ่นกระเทียม	กลิ่นแปลกลดอม	ความคงตัวของความชุ่มชื้น	การยอมรับรวม
0	8.02 ± 0.25	8.11 ± 0.24	9.52 ± 0.20	9.00 ± 0.20	8.65 ± 0.29
1	7.98 ± 0.64	7.98 ± 0.45	9.59 ± 0.36	8.96 ± 0.62	8.44 ± 0.47
2	8.15 ± 0.66	7.69 ± 0.36	9.63 ± 0.38	9.03 ± 0.79	8.29 ± 0.49
3	7.99 ± 0.65	7.68 ± 0.41	9.67 ± 0.41	8.11 ± 0.49	7.68 ± 0.50
4	8.14 ± 0.45	7.64 ± 0.45	9.63 ± 0.45	7.88 ± 0.29	7.64 ± 0.69

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวนิภาพร เส็งคำปาน เกิดวันที่ 1 พฤศจิกายน 2520 ที่จังหวัดหนองคาย ได้รับ  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
เมื่อปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย