



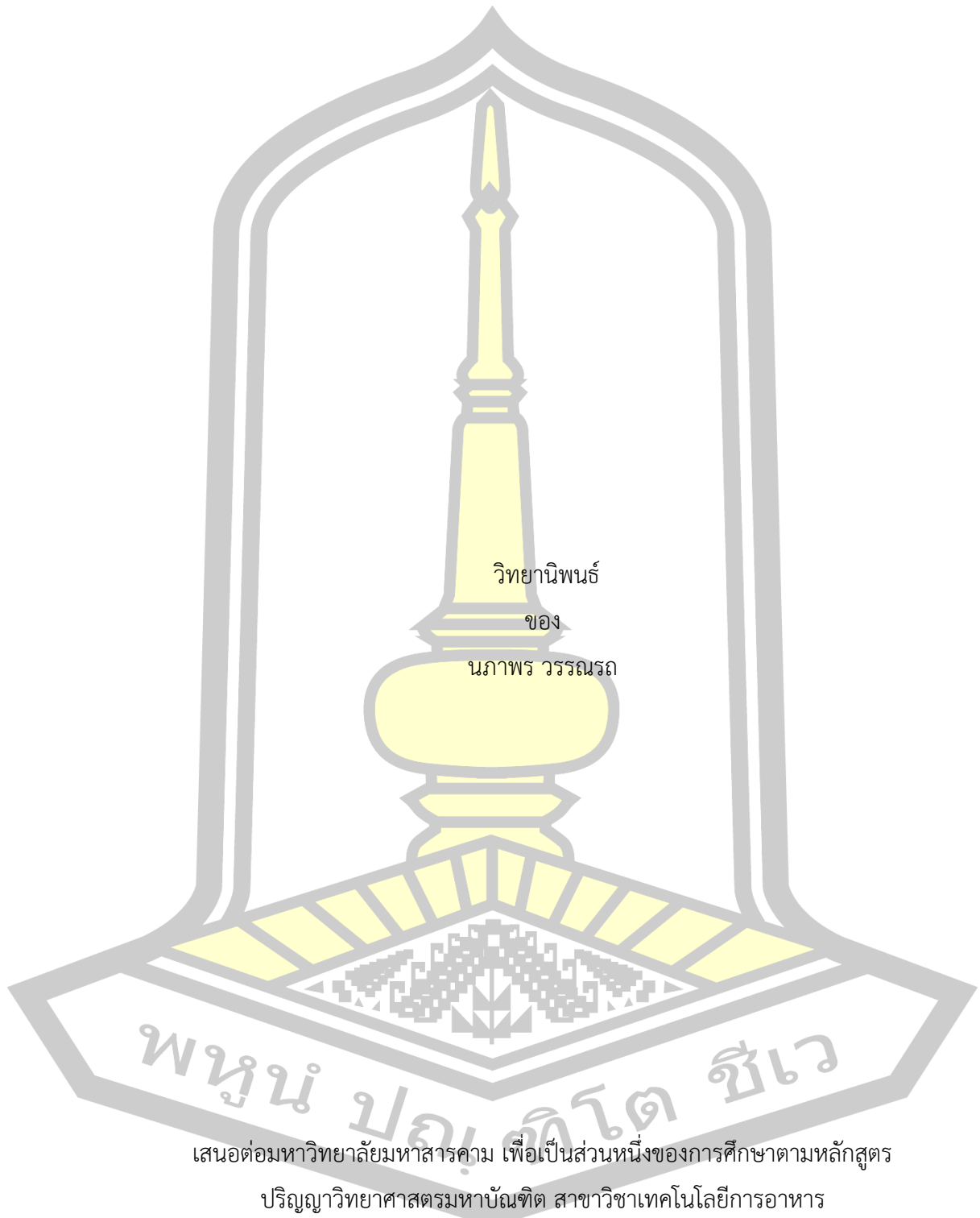
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

วิทยานิพนธ์
ของ
นภาพร วรณรรถ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร
สิงหาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ



วิทยานิพนธ์

ของ

นภาพร วรรณรถ

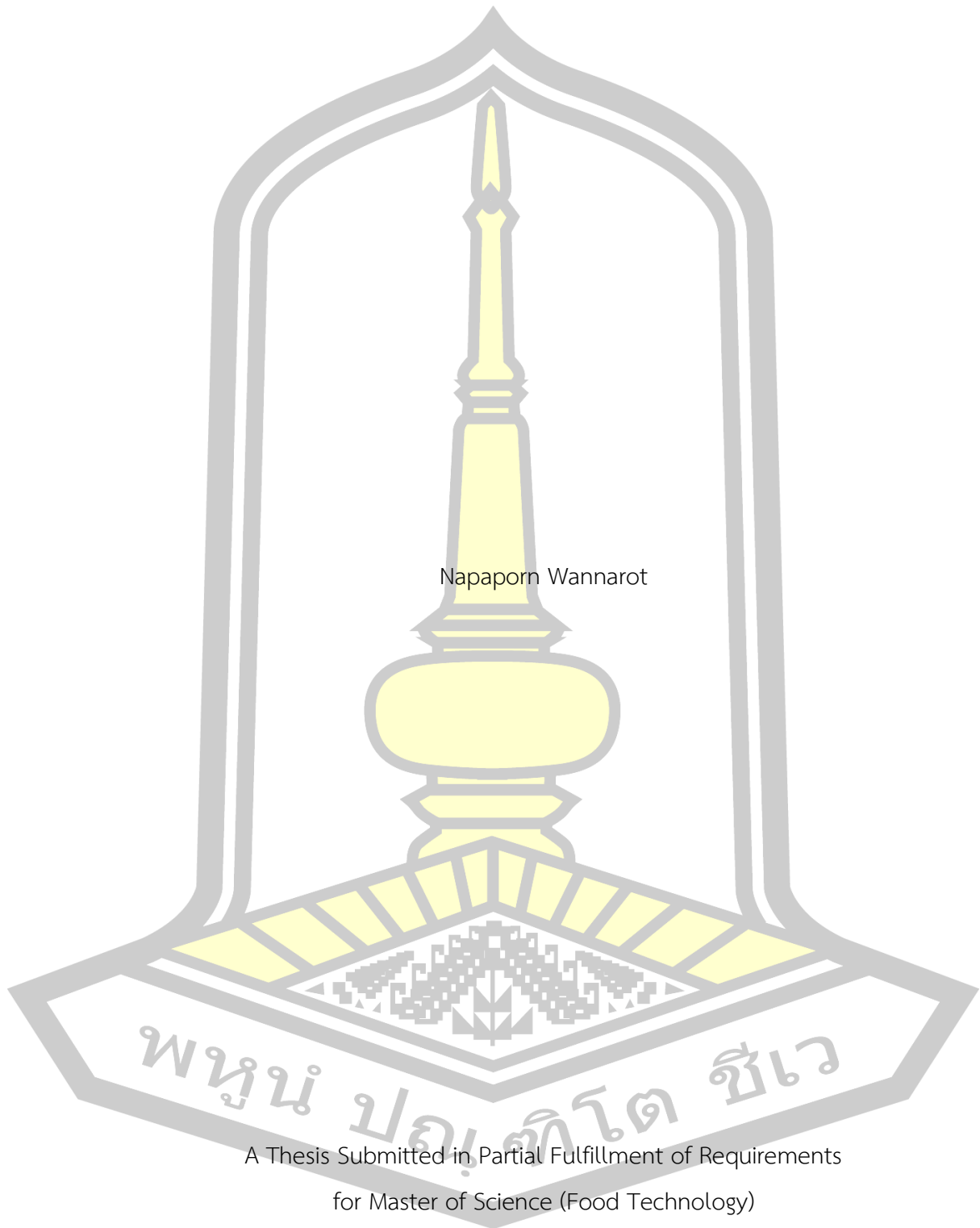
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

สิงหาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Product development of low fat- creamer powder using Hom Mali Rice substitution



Napaporn Wannarot

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (Food Technology)

August 2019

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวนภาพร วรรณรถ
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. นาถธิดา วีระปรียากร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. ศิริธร ศิริอมรพรรณ)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. เกียรติศักดิ์ บรรลือ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. อนุชิตา มุ่งงาม)

คณบดีคณะเทคโนโลยี

.....
(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ		
ผู้วิจัย	นภาพร วรรณรณ		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริธร ศิริอมรพรรณ		
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต	สาขาวิชา	เทคโนโลยีการอาหาร
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2562

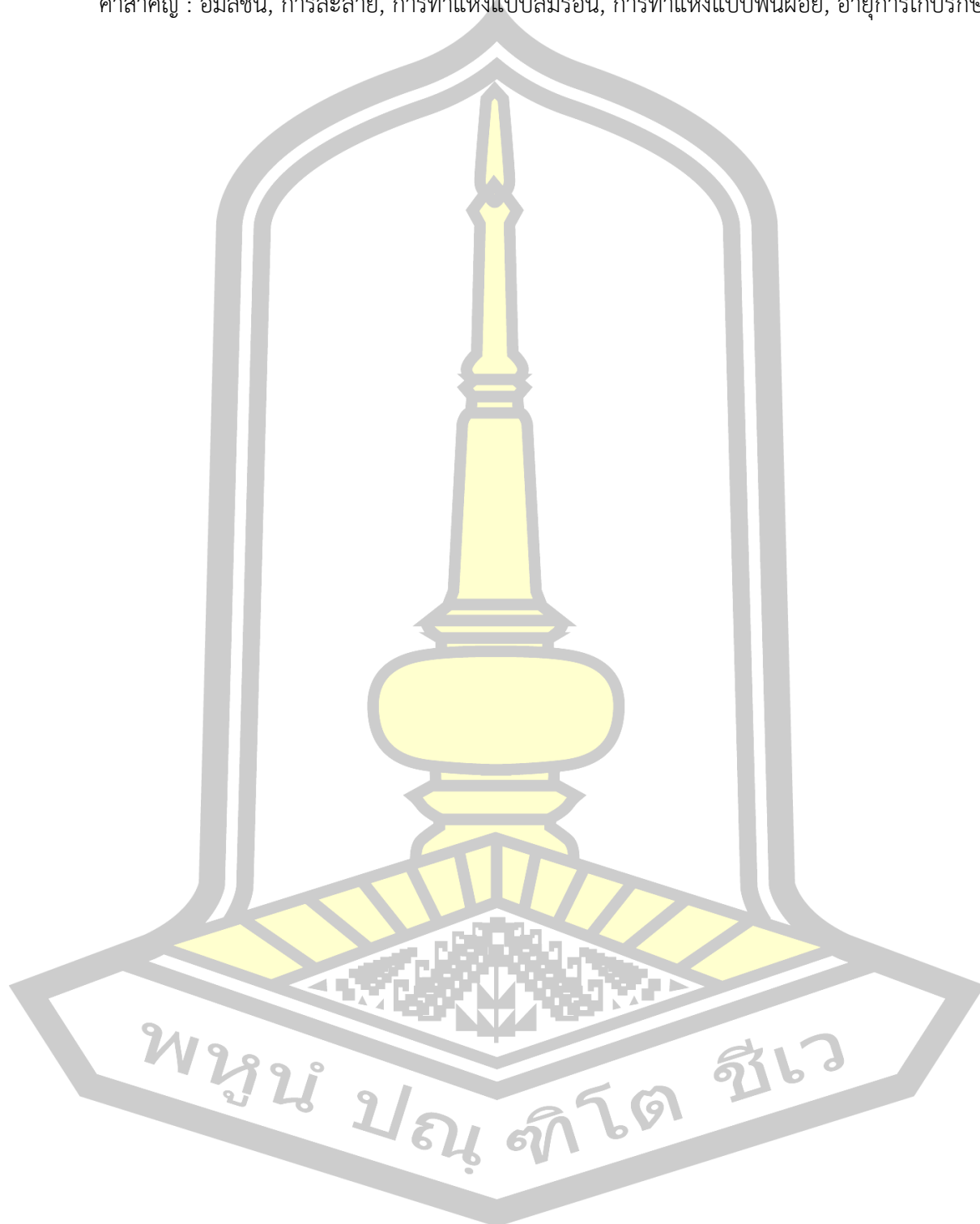
บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์การมุ่งเน้นศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ โดยงานวิจัยครั้งนี้เริ่มศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ (ข้าวหอมมะลิ) รวมทั้งสำรวจข้อมูลและศึกษาคุณลักษณะทั่วไปเกี่ยวกับครีมเทียมผงที่ผู้บริโภคร้องต้องการ เพื่อให้ได้สูตรครีมเทียมผงเบื้องต้น และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แล้วนำมาพัฒนาสูตรโดยใช้โปรแกรม Mixture designs โดยมีปัจจัยที่ประกอบด้วย ปริมาณน้ำนมข้าวหอมมะลิ (X_1) ร้อยละ 40-60 ร่วมกับสารให้ความคง 2 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน (carrageenan) (X_2) ร้อยละ 0-5 และ พอลิซอร์เบต 60 (polysorbate 60) (X_3) ร้อยละ 0-5 เพื่อพัฒนาสูตรและหาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จากนั้นศึกษากระบวนการการแห้ง 2 วิธีคือ การทำแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส (ความชื้น < 5% และค่า a_w < 0.6) และการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ใช้อุณหภูมิลมเข้า 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมออก 90-100 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ไปทำการวัดคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และการยอมรับรวม ตลอดจนศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

ผลการศึกษาคุณภาพของข้าวหอมมะลิ พบว่ามีปริมาณ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ความสว่าง L^* สูง รวมทั้งมีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ต่ำ ผลการศึกษาคุณลักษณะทั่วไปของครีมเทียมผงที่มีจำหน่าย พบว่า แบรินด์ commercial 1 มี a_w ต่ำที่สุด และมีค่าการละลายสูงสุด ร้อยละ 95 รวมไปถึงมีส่วนแบ่งการตลาดที่สูง ร้อย 25 ในการศึกษาอื่นก่อนหน้านี้ ดังนั้นจึงนำมาสู่ผลิตภัณฑ์สูตรต้นแบบและอ้างอิงร่วมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีสูตรเบื้องต้นโดยประกอบด้วย น้ำมันปาล์มร้อยละ 34.23 เลซิติน ร้อยละ 0.5 โซเดียมคาร์ซิเนต ร้อยละ 3.28 โมลโทเดกซ์ทรีน ร้อยละ 14.07 อินนูลิน ร้อยละ 2.34 กลูโคสซีรัปร้อยละ 7.03 นมขาดมันเนย ร้อยละ 2.34 และซิลิกอนไดออกไซด์ ร้อยละ 1 ตามลำดับ จากการวางแผนการทดลองโดยใช้ Mixture design ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 13 สิ่งทดลอง พบว่า ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางกายภาพ คือ ค่าความหนืด อยู่ในช่วง 376.89 -3330.67 cp ค่าความคงตัวอยู่ในช่วง ร้อยละ 94.00-99.50

ความสามารถในการละลาย อยู่ในช่วง ร้อยละ 79.3-90.0 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) อยู่ในช่วง 0.250-0.348 และค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 83.38-93.25 ค่าสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง -0.05 - -0.61 และค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 10.17-16.72 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมี พบว่า ปริมาณความชื้น อยู่ในช่วง 0.24-2.23 (g/100g) ปริมาณไขมัน อยู่ในช่วง 31.42-39.40 (g/100g) และค่าเพอร์ออกไซด์ อยู่ในช่วง 1.25 -9.49 meq Oxygen / kg จากการทำนายหาสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 โดยวิเคราะห์ค่าการถดถอย แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาต่อปริมาณไขมัน ปริมาณความชื้น ความหนืด ความคงตัว ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และค่าสี (L^* และ a^*) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ได้ดีถึง ร้อยละ 95 จากการสร้างแผนภาพกราฟคอนทัวร์ (contour plot) เพื่อได้พื้นที่ซึ่งแสดงถึงขอบเขตของช่วงปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสม พบว่า ได้สูตรที่เหมาะสม ประกอบด้วย ข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 43.14 คาร์ราจีแนน ร้อยละ 2.85 และพอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 4.02 โดยมีค่า desirability เท่ากับ 0.673 มีปริมาณไขมัน 33.69 (g/100g) ปริมาณความชื้นต่ำ 0.91 (g/100g) ค่าความหนืด 2226.48 cp ค่าความคงตัว ร้อยละ 99.17 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ต่ำ 0.270 และค่าความสว่าง (L^*) 87.20 และค่าสีแดง (a^*) -0.16 ตามลำดับ ผลการศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ โดย กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) พบว่า ที่อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เหมาะสมที่สุดเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยมีค่า a_w (0.33) ต่ำที่สุด มีค่าความสว่าง (L^*) (94.38) สูง มีค่าความคงตัวสูงถึงร้อยละ 99.76 ความสามารถในการละลาย ร้อยละ 86.67 และมีปริมาณไขมัน (29.57) ต่ำที่สุด รวมทั้งปริมาณโปรตีน (4.93) และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (57.65) สูงสุด ส่วนกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) พบว่า ใช้อุณหภูมิมืดเข้า 170 องศาเซลเซียส เหมาะสมที่สุดเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย มีค่า a_w (0.29) ต่ำ มีค่าความสว่าง (L^*) (96.75) สูงสุด รวมทั้งมีค่าความคงตัวสูงถึงร้อยละ 99.70 มีความสามารถในการละลาย ร้อยละ 88.67 มีปริมาณความชื้น (0.88 g/100g) ต่ำ มีปริมาณไขมัน (34.78 g/100g) ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานกำหนด รวมทั้งมีปริมาณโปรตีนและปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด 4.93 และ 58.09 ตามลำดับ ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส แบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale) และ แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส scoring Test จากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน พบว่า พบว่าทุกคุณลักษณะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีการยอมรับในทุกคุณลักษณะ อยู่ในระดับการยอมรับถึงยอมรับดีมาก ผลการคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยศึกษาอันดับศูนย์ และอัตราเร็วของปฏิกิริยาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิทั้ง 2 กระบวนการ เมื่อคิด safety factor ที่ 10% สามารถเก็บได้ ไม่นต่ำกว่า 7 เดือน

คำสำคัญ : อิมัลชัน, การละลาย, การทำแห้งแบบลมร้อน, การทำแห้งแบบพ่นฝอย, อายุการเก็บรักษา



TITLE	Product development of low fat- creamer powder using Hom Mali Rice substitution		
AUTHOR	Napaporn Wannarot		
ADVISORS	Associate Professor Sirithon Siriamornpun , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Food Technology
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2019

ABSTRACT

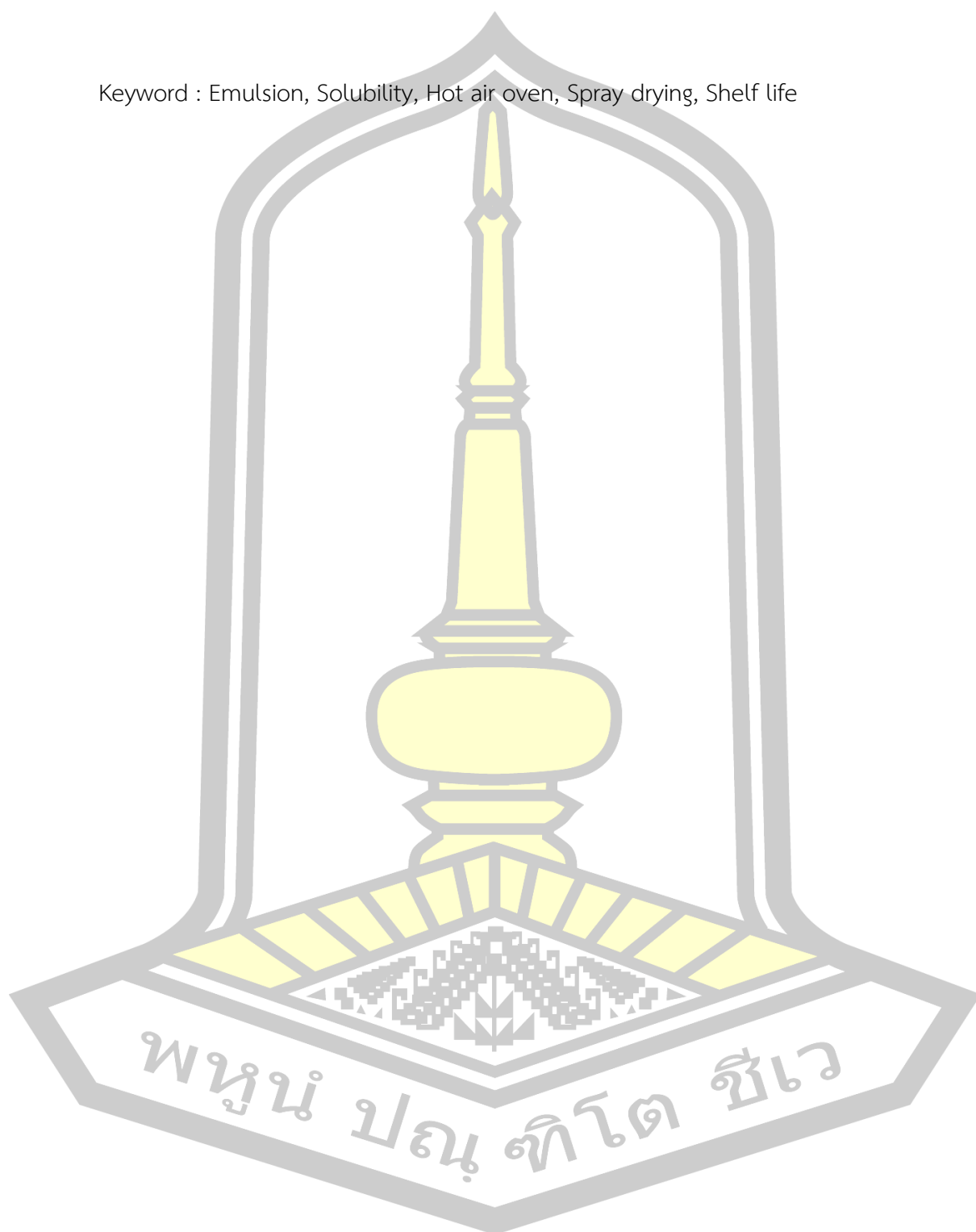
This research aimed at developing a product prototype of low-fat non-dairy creamer powder (NCP) using Hom Mali Rice (HMR) substitution. We investigated the properties of HMR and commercial NCP surveying and general characteristics of product formulation to obtain the good qualities and the consumer acceptances. The Mixture Designs program was used for formulating products with 3 variables. Firstly, HMR was varied between 45 – 50 ($x_1=45-50$), followed by the carrageenan was varied between 0-10 ($x_2=0 - 5$) and the polysorbate 60 was varied between 0-10 ($x_3=0 - 5$). These formulas were evaluated for optimal proportions of the ingredients compared to the physical and chemical properties. The two optimization processes were hot air drying (50°C, 60°C and 70°C) (moisture content <5% and a_w value < 0.6) and spray drying of the entrance temperatures were 170°C, 180°C and 190°C and the exit temperatures were 90°C and 100°C. The products were determined for their physical, chemical properties and the consumer acceptances as well as shelf life.

The results showed that HMR has protein, carbohydrate and L^* (lightness) contents, low fat content, water activity (a_w) and moisture contents. The results of commercial NCP found that the coffe mate brand was low a_w value whereas solubility was higher level (95%) including market share was 25% from previous study when compared to two commercial creamer brands thus, the basic formula of prototype product was followed by the coffe mate brand. The main

ingredients of this band were 34.23 % palm oil, 0.5% lecithin, 3.28% sodium carbinine, 14.07% maltodextrin, 2.34% inulin, 7.03% glucose syrup, 2.34% skimmed milk and 1% silicon dioxide, respectively. The Mixture Designs program was used in user-defined design model of 13 treatments. The physical and chemical properties found that viscosity of ranged from 376.89 to 3330.67 cp, stability ranged from 94.00% to 99.50%, solubility ranged from 79.33% to 90.00%. The contents of colour parameters, L* ranged from 83.38 to 93.25, red colour (a*) ranged from -0.05 to -0.61 and yellow colour (b*) ranged from 10.17 to 16.72, moisture contents ranged from 0.24 to 2.23 (g/100g), protein ranged from 31.42 to 39.40 (g/100g) and peroxide value ranged from 1.25 -9.49 meq Oxygen/kg, respectively. The results of the optimal conditions prediction for HMR, carrageenan and polysorbate 60, by analyzing regression equations presented that the model relationship between factors studied on fat content, moisture content, stability, a_w and colour (L* and a*). These results could explain the model relationship with HMR, carrageenan and polysorbate 60 with level of 95%. The contour plot found that the formulas were evaluated for optimal proportions. There were 43.14 % HMR, 2.85% carrageenan and 4.02% polysorbate 60, with the desirability was 0.700 led to present the contents of component in product which had the low moisture content and a_w were 0.91 (g/100g) and 0.270, while the fat content was 33.69 (g/100g), stability were 98.70 %, viscosity were 2226.48 cp and the colour values (L* 87.20 and a* were -0.16), respectively. The process optimization found that was hot air drying at 50 °C had the low a_w (0.33) and fat content (29.57 g/100g), the highest lightness (L*), stability (99.17%), solubility (86.67%), protein content (4.93 g/100g) and carbohydrate content (57.65 g/100g). The optimization of spray drying at 170 °C had the low a_w (0.29) and moisture content (0.88 g/100g), the highest lightness (L*, 96.75), stability (99.70 %), solubility (88.67%), protein content (4.93 g/100g) and carbohydrate content (58.09 g/100g) and the fat content (34.78 g/100g) in the standard range. The result of sensory properties in 2 methods, 7-point hedonic scale and scoring test from 30 panelists of products were not significant ($p < 0.05$) in all attributes and were good acceptance. The shelf life of the final product was approximately 7 months when calculated at 10% of safety

factor.

Keyword : Emulsion, Solubility, Hot air oven, Spray drying, Shelf life



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท 2560 ที่ได้รับบสนับสนุนในการทำวิจัยและพัฒนางานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรมในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. นาถธิดา วีระปรียากร ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริธร ศิริอมรพรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ บรรลือ กรรมการสอบ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น กรรมการสอบ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกท่าน ที่ให้ความแนะนำทางด้านการวิชาการและงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ห้องปฏิบัติการการแปรรูปอาหาร ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา ห้องปฏิบัติการทดสอบทางประสาทสัมผัส ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

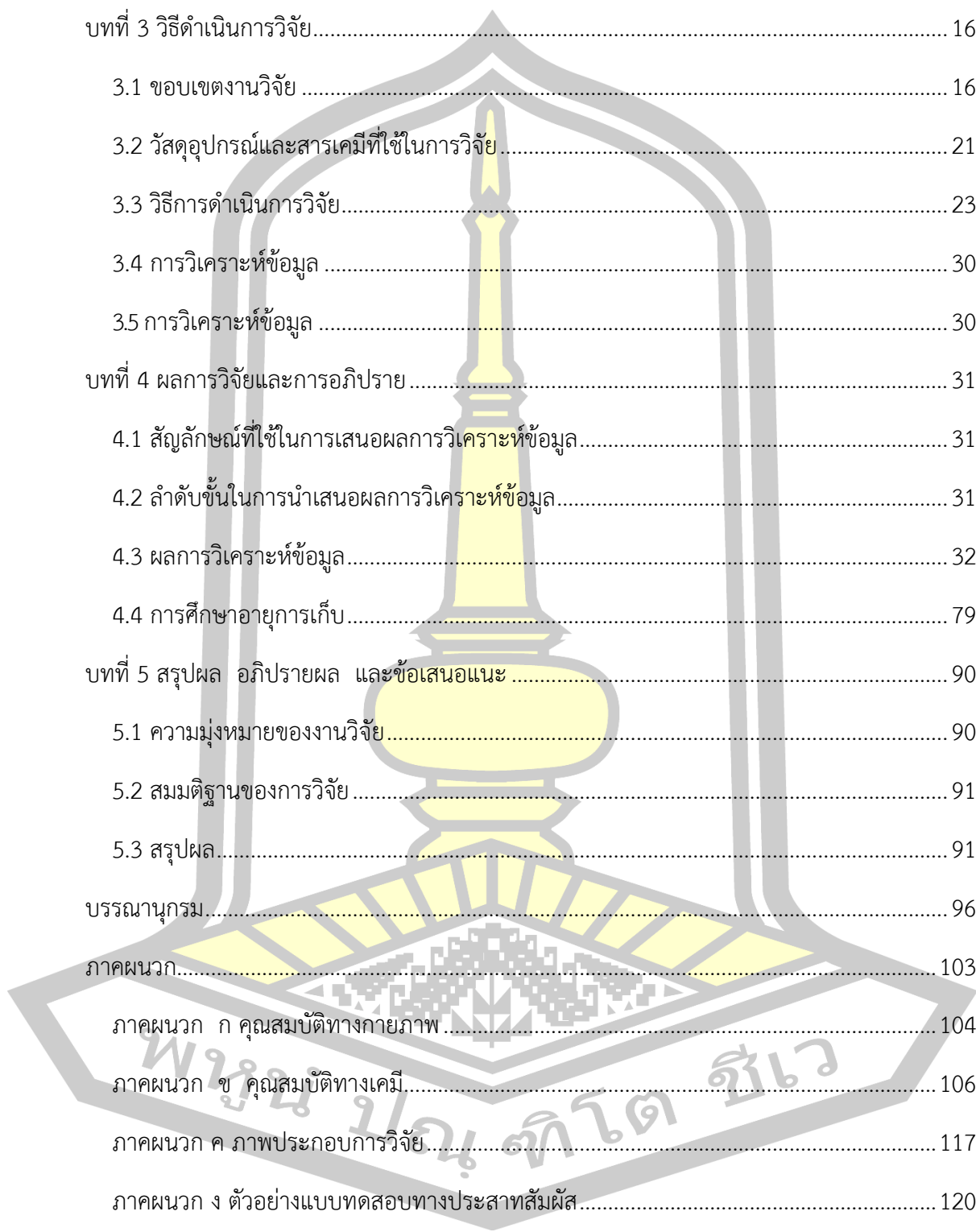
ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือกลางที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ ตลอดจนให้คำแนะนำในการวิเคราะห์และการใช้เครื่องมือ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบุพการี ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจและกำลังทุนทรัพย์ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกท่านที่คอยช่วยแนะนำและช่วยเหลือ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีทุกประการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ช
กิตติกรรมประกาศ.....	ญ
สารบัญ.....	ฎ
ตาราง.....	ต
ภาพประกอบ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ภูมิหลัง.....	1
1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ความสำคัญของงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล.....	6
2.1 ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม.....	6
2.2 สารให้ความคงตัว.....	7
2.3 อิมัลซิไฟเออร์.....	7
2.4 น้ำ.....	8
2.5 ไขมันพืช.....	8
2.6 ไขมันทรานส์.....	8
2.7 ข้าวหอมมะลิอินทรีย์.....	10

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียม.....	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	16
3.1 ขอบเขตงานวิจัย	16
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	21
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	23
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	30
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย.....	31
4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	31
4.2 ลำดับขั้นในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	31
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
4.4 การศึกษาอายุการเก็บ.....	79
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	90
5.1 ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	90
5.2 สมมติฐานของการวิจัย.....	91
5.3 สรุปผล.....	91
บรรณานุกรม.....	96
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก คุณสมบัติทางกายภาพ.....	104
ภาคผนวก ข คุณสมบัติทางเคมี.....	106
ภาคผนวก ค ภาพประกอบการวิจัย.....	117
ภาคผนวก ง ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	120
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	125
ประวัติผู้เขียน.....	167



ตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 คุณภาพหรือมาตรฐานของครีมเทียมผง.....	7
ตาราง 2.2 คุณทางโภชนาการของข้าวหอมมะลิ.....	11
ตาราง 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม.....	12
ตาราง 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม(ต่อ).....	13
ตาราง 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม(ต่อ).....	14
ตาราง 3.6 สูตรต้นแบบที่ของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงในท้องตลาด.....	25
ตาราง 3.7 แสดงปริมาณข้าวหอมมะลิ และสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมกับ ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design.....	26
ตาราง 4.8 คุณสมบัติกายภาพของข้าวหอมมะลินทรีย์.....	32
ตาราง 4.9 ผลการวัดค่าความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ.....	33
ตาราง 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวหอมมะลินทรีย์.....	33
ตาราง 4.11 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด.....	35
ตาราง 4.12 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด.....	36
ตาราง 4.13 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่าย ตาม ท้องตลาด ทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale).....	37
ตาราง 4.14 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง ที่มีจำหน่าย ตาม ท้องตลาด ทดสอบความชอบแบบการจัดลำดับ (Ranking test).....	37
ตาราง 4.15 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง ที่มีจำหน่าย ตาม ท้องตลาด ทดสอบความชอบแบบการจัดลำดับ (Ranking test) (ต่อ).....	38
ตาราง 4.16 การเปลี่ยนข้อมูลการหาความแตกต่างโดยวิธี Ranking test ตามวิธีของ Fisher and 39	
ตาราง 4.17 การเปลี่ยนข้อมูลการหาความแตกต่างโดยวิธี Ranking test ตามวิธีของ Fisher.....	40
ตาราง 4.18 การวิเคราะห์หาเรียงนซ์ของการทดสอบหาความแตกต่างโดยวิธี Ranking test.....	40

ตาราง 4.19 สูตรต้นแบบเบื้องต้นที่เหมาะสม ผ่านการคัดเลือกของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงตาม ท้องตลาด	43
ตาราง 4.20 แสดงปริมาณของส่วนผสมที่ใช้ในแต่ละการทดลอง	44
ตาราง 4.21 คุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลอง โดยวิธี Mixture design	45
ตาราง 4.22 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง สูตรมาตรฐาน	46
ตาราง 4.23 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง สูตรมาตรฐาน (ต่อ)	47
ตาราง 4.24 คุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลอง โดยวิธี Mixture design	51
ตาราง 4.25 คุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลอง โดยวิธี Mixture design (ต่อ)	52
ตาราง 4.26 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณสมบัติทางด้านเคมี ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง สูตรมาตรฐาน	53
ตาราง 4.27 สภาวะที่ใช้สำหรับการคัดเลือกปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่เหมาะสมสำหรับสูตรเป็นผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ	56
ตาราง 4.28 ปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่เหมาะสม สำหรับสูตร ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ที่ได้จากการทำนายโดย ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี	56
ตาราง 4.29 ปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่เหมาะสม สำหรับสูตร ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ที่ได้จากการทำนายโดยใช้แบบ จำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี (ต่อ)	57
ตาราง 4.30 ปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ	58
ตาราง 4.31 คุณสมบัติทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอม มะลิ	61

ตาราง 4.32 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ	66
ตาราง 4.33 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำ โดย ทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิทดสอบแบบการให้คะแนน	67
ตาราง 4.34 ผลการวิเคราะห์กรดไขมันในตัวอย่าง และผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำ โดยทดแทน ด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง	75
ตาราง 4.35 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำ โดย ทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ(ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) ทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale)	76
ตาราง 4.36 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส Scoring Test (n=30)	77
ตาราง 4.37 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส Scoring Test (n=30) (ต่อ).....	77
ตาราง 4.38 ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ	78
ตาราง 4.39 ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ(ต่อ) 78	
ตาราง 4.40 ผลของอายุการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น ค่าแอดอร์แอคทิวิตี (a_w) ค่าความ สว่าง (L^*) และค่าเพอร์ออกไซด์ (อุณหภูมิต่ำ).....	80
ตาราง 4.41 ผลของอายุการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น ค่าแอดอร์แอคทิวิตี (a_w) ค่าความ สว่าง (L^*) และค่าเพอร์ออกไซด์ (สภาวะเร่ง).....	84
ตาราง จ.42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีม เทียมผงทางการค้า	126
ตาราง จ.43 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) ของคุณภาพเคมีของผลิตภัณฑ์ ครีมเทียมผงทางการค้า	127
ตาราง จ.44 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) ของคุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์ ครีมเทียมไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ	127
ตาราง จ.45 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์ ครีมเทียมไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ต่อ).....	128

ตาราง จ.46 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางด้านกายภาพ ของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ต่อ).....	129
ตาราง จ.47 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางด้านเคมีของ ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ.....	129
ตาราง จ.48 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) ของคุณภาพทางด้านเคมีของ ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ต่อ)	130
ตาราง จ.49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียม ผงทางการค้า.....	130
ตาราง จ.50 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของ ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงทางการค้า (ต่อ)	131
ตาราง จ.51 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียม ผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งทั้ง 2 กระบวนการ.....	132
ตาราง จ.52 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ครีมน เทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งทั้ง 2 กระบวนการ(ต่อ)	133
ตาราง จ.53 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียม ผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย).....	133
ตาราง จ.54 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ครีมน เทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) (ต่อ).....	134
ตาราง จ.55 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดย วิธี Mixture design.....	135
ตาราง จ.56 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วาง แผนการทดลองโดยวิธี Mixture design.....	136
ตาราง จ.57 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วาง แผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)	137
ตาราง จ.58 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วาง แผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)	138

ตาราง จ.72 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วาง
แผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ) 152

ตาราง จ.73 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วาง
แผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ) 153

ตาราง จ.74 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม (optimization)ของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตร
มาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design 153

ตาราง จ.75 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม (optimization)ของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตร
มาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design Optimization (Numerical) (ต่อ)
..... 154

ตาราง จ.76 คะแนนสำหรับข้อมูลที่ถูกลำดับ (Scores for ranked data)..... 155

ตาราง จ.77:Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA):..... 156

ตาราง จ.78:Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ) 157

ตาราง จ.79:Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ) 158

ตาราง จ.80 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ) 159

ตาราง จ.81 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ) 160

ตาราง จ.82 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ) 161

ตาราง จ.83 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ) 162

ตาราง จ.84 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ) 163

ตาราง จ.85 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ) 164

ตาราง จ.86 Significant studentized range for Tukey test มีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 5 และ
1 165

ตาราง จ.87 Significant studentized range for Tukey test มีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 5 และ
1(ต่อ) 166

ภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 3.1 แผนดำเนินงานงานวิจัย.....	21
ภาพประกอบ 4.2 ส่วนแบ่งตลาดชั้นหวาน ครีมเทียม และครีมเทียม ตามแบรนด์, 2016.....	35
ภาพประกอบ 4.3 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่มีต่อค่าความหนืด ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน.....	48
ภาพประกอบ 4.4 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต60 ที่มีต่อค่าความคงตัว ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน.....	48
ภาพประกอบ 4.5 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่มีต่อความสามารถในการละลาย ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน.....	49
ภาพประกอบ 4.6 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต60 ที่มีต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน.....	49
ภาพประกอบ 4.7 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต60 ที่มีต่อค่าความสว่าง (L^*) ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน.....	50
ภาพประกอบ 4.8 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต60 ที่มีต่อค่าค่าสีแดง (a^*) ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน.....	50
ภาพประกอบ 4.9 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต60 ที่มีต่อค่าค่าสีเหลือง (b^*) ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน.....	51
ภาพประกอบ 4.10 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต60 ที่มีต่อปริมาณไขมัน ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน.....	54
ภาพประกอบ 4.11 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่มีต่อปริมาณความชื้น ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน.....	54
ภาพประกอบ 4.12 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่มีต่อค่าเพอร์ออกไซด์ ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน.....	55
ภาพประกอบ 4.13 แผนภาพคอนทัวร์ของสภาวะที่เหมาะสม ต่อปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 สำหรับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ.....	58

ภาพประกอบ 4.14 ความสามารถในการละลายของครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วย
 ข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง..... 62

ภาพประกอบ 4.15 ความหนาแน่นบรรจุของครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อ
 ทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง 64

ภาพประกอบ 4.16 ขนาดของอนุภาคของครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อ
 ทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง 64

ภาพประกอบ 4.17 ภาพถ่าย SEM ผลึกภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ
 เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้ง กำลังขยาย 200k..... 68

ภาพประกอบ 4.18 ภาพถ่าย SEM ผลึกภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ
 เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้ง กำลังขยาย 2000k..... 70

ภาพประกอบ 4.19 อินฟราเรดสเปกตรัมของผลึกภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วย
 ข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง ได้แก่ การอบแห้งแบบ 72

ภาพประกอบ 4.20 อินฟราเรดสเปกตรัมของผลึกภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วย
 ข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง..... 73

ภาพประกอบ 4.21 (a) ความชื้น, (b)ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w), (c)ค่าความสว่าง (L^*) และ (d)ค่า
 เพอร์ออกไซด์ เก็บที่อุณหภูมิห้อง 81

ภาพประกอบ ข.22 ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบกระจาย 111

ภาพประกอบ ข.23 ส่วนประกอบของเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี 2,000. 111

ภาพประกอบ ข.24 อินฟราเรดสเปกตรัมของคาร์บาโซล (Carbazole) 1) และ 3) สเปกตรัมแบบ
 ดูดกลืน และ 2) สเปกตรัมแบบสะท้อน..... 112



พหุ ประถมศึกษา

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

เนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้น รวมทั้งมีการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้นเช่นกัน ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพมีการขยายตัวค่อนข้างสูงและมีการพัฒนาให้แปลกใหม่อยู่เสมอ รวมถึงผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย เช่น การนำมาทดแทนครีมหรือผลิตภัณฑ์จากนมที่เป็นของเหลว ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมาก นอกจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่สะดวกต่อการรับประทาน และยังสามารถเก็บรักษาได้ง่าย โดยมีการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drier) มีลักษณะเป็นผง หากเปรียบเทียบครีมเทียมผงกับนมหรือครีมทั่วไปแล้วจะพบว่าครีมเทียมมีความคงตัวสูงและสะดวกต่อการใช้งานและการขนส่งมากกว่านมหรือครีมที่เป็นของเหลว โดยทั่วไปครีมเทียมจะนิยมบริโภคพร้อมกับเครื่องดื่มชนิดร้อน เช่น ช่วยเพิ่มกลิ่นและรสในผลิตภัณฑ์ประเภทกาแฟ ชานม เป็นต้น หรือเพิ่มสีขาวนวลและปรับปรุงรสรวมถึงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดได้ นอกจากนี้ครีมเทียมยังเป็นที่นิยมนำมาทดแทนการเติมนม ในขั้นตอนการผลิตไส้กรอก เครื่องดื่ม ชุป สลัดเดรสซิ่ง อาหารอบ พุดดิ้ง ไอศกรีม และขนมหวานหลากหลายชนิด ครีมเทียมเป็นผลิตภัณฑ์เลียนแบบครีมจากนํ้านมโคที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และมีราคาไม่แพง สามารถใช้ได้สะดวก และเก็บรักษาไว้ได้นาน โดยมีส่วนผสมหลัก คือ ไขมัน โปรตีน และน้ำตาล โดยการนำส่วนผสมไขมัน โปรตีน น้ำตาลทรายและน้ำ กลับมาผสมรวมกัน และส่วนผสมอื่น ๆ ทำให้เป็นเนื้อเดียวคล้ายคลึงกับครีมแท้ จากนั้นนำไปทำให้แห้งเป็นผงละเอียด ซึ่งไขมันจากปาล์มเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด เพื่อให้ความมัน และโปรตีนจะช่วยเสริมไขมันในการทำให้ครีมเทียมมีสีขาวเมื่อกระจายตัวในน้ำและให้ความข้นได้เนื้อสัมผัสที่ดี และยังให้กลิ่นรสของโปรตีน โปรตีนที่นิยมใช้ คือโปรตีนที่ได้จากการตกตะกอนโปรตีนนม (โซเดียมเคซิเนต) น้ำตาลทำหน้าที่ให้รสหวาน และให้ความข้น (กลูโคสไซรัป, glucose syrup) การใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ในส่วนประกอบเพื่อทำให้เกิดการรวมตัวกันของไขมันและส่วนประกอบอื่น ๆ ได้ดี (มอโนกลีเซอไรด์ร่วมกับพอลิซอร์เบต 60) รวมถึงการใช้สารให้กลิ่นรสด้วย (สารที่ให้กลิ่นรสนม) ซึ่งครีมเทียมโดยทั่วไปจะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประมาณ ร้อยละ 30-70 โดยน้ำหนัก กลิ่นรส น้ำหนักและความคงตัว (Basa and Anaheim 2002) โดยข้าวหอมมะลิ เป็นธัญพืชซึ่งเป็นอาหารหลักของประชากรโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย ซึ่งข้าว ข้าวเป็นแหล่งพลังงานหลักของประชากรมากกว่า 17 ประเทศในภูมิภาคเอเชียและแปซิฟิก (Liang et al. 2008) ประเทศในทวีปอเมริกาเหนือและใต้ และ 8 ประเทศ ในทวีปแอฟริกา ร้อยละ 20 ของแหล่งพลังงานประชากรโลกเป็นข้าว ร้อยละ 19 และ 5 เป็นข้าวสาลีและข้าวโพด (FAO

2004) เมล็ดข้าวกล้องที่นำมาบริโภค มีส่วนประกอบหลักเป็นเม็ดแป้ง (starch) ซึ่งในเมล็ดข้าวกล้องประกอบด้วย จมูกข้าว และส่วนเอนโดสเปอรัม หรือข้าวขาว ห่อหุ้มด้วยชั้นรำข้าว เป็นชั้นในสุดที่ติดกับเอนโดสเปอรัม มีโปรตีนสูง และไขมันสูง นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วย cellulose และ hemicelluloses ส่วนของจมูกข้าวหรือคัพภะจะอยู่ปลายเมล็ด เป็นส่วนของต้นอ่อนที่จะเจริญงอกงามเป็นต้นข้าวต่อไป เป็นแหล่งของเอนไซม์ วิตามิน และเกลือแร่ที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด ปริมาณสารอาหารในข้าวชี้ให้เห็นว่าคุณค่าทางโภชนาการของข้าวแตกต่างกันไปขึ้นซึ่งอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าว พื้นที่ปลูกข้าว และวิธีการแปรรูปข้าวพร้อมก่อนที่จะบริโภค

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้สนใจศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ และศึกษาการเติมปริมาณข้าวหอมมะลิและปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะรวมถึงการประเมินคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมุ่งหวังให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่เป็นทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันต่ำแต่ยังได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสได้

1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

- 1.2.1) เพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นตำรับ
- 1.2.2) เพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ
- 1.2.3) เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ
- 1.2.4) เพื่อประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

- 1.3.1) ข้าวหอมมะลิลบละเอียดสามารถทดแทนไขมัน ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงได้
- 1.3.2) ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสามารถลดปริมาณไขมันได้

1.4 ความสำคัญของการวิจัย

- 1.4.1) ได้ทราบถึงความสามารถในการทดแทนไขมัน จากของข้าวหอมมะลิลบละเอียด ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงได้
- 1.4.2) ได้ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 5 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบหลัก และคุณภาพของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นตำหรับ

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์บดละเอียด

- 1) ตัวแปรต้น ได้แก่ ข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์บดละเอียด
- 2) ตัวแปรตาม ได้แก่ องค์ประกอบและคุณภาพของข้าวสารหอมมะลิ
- 3) ตัวแปรควบคุม ได้แก่ คือ ข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จากวิสาหกิจชุมชนบ้านหม้อ

จังหวัดร้อยเอ็ด

2. การศึกษาคุณลักษณะทั่วไปของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

- 1) ตัวแปรต้น ได้แก่ ครีมเทียมผง 3-5 ผลิตภัณฑ์
- 2) ตัวแปรตาม ได้แก่ ส่วนแบ่งการตลาด ค่าความสว่าง (L^* , a^* , b^*) และ

คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส

- 3) ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

การทดลองที่ 2 การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าว

หอมมะลิ

ศึกษาการเติมปริมาณข้าวหอมมะลิและปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน และพัฒนาผลิตภัณฑ์สูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสม

1) ตัวแปรต้น ได้แก่ ปริมาณข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 40-60 ร่วมกับสารให้ความคง 2 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน (carrageenan) ร้อยละ 0-5 และ พอลิซอร์เบต 60 (polysorbate 60) ร้อยละ 0 -5

2) ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน

3) ตัวแปรควบคุม ได้แก่ คือ น้ำมันข้าวหอมมะลิ จากวิสาหกิจชุมชนบ้านหม้อ จังหวัดร้อยเอ็ด และปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ lecithin ร้อยละ 0.5

การทดลองที่ 3 พัฒนาระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

1. ศึกษากระบวนการทำแห้งได้แก่ กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) และการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)

1) ตัวแปรต้น ได้แก่ กระบวนการทำแห้ง 2 กระบวนการ ได้แก่

1.1) การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ใช้อุณหภูมิที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งให้มีความชื้น ไม่เกินร้อยละ 5 และค่า a_w ไม่เกินร้อยละ 0.6

1.2) การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ใช้อุณหภูมิลมเข้า 3 ระดับ คือ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออก 100 องศาเซลเซียส

2) ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

3) ตัวแปรควบคุม ได้แก่ คือ กระบวนการทำแห้งทั้ง 2 กระบวนการ

การทดลองที่ 4 ประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

1) ตัวแปรต้น ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

2) ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส

3) ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

การทดลองที่ 5 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

1) ตัวแปรต้น ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ผลิตภัณฑ์สุดท้าย

2) ตัวแปรตาม ได้แก่ อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

3) ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1) ครีมเทียม (non-dairy creamer, coffee whitener) หมายถึง ครีมเทียมเป็นผลิตภัณฑ์อิมัลชันที่มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ไขมันหรือน้ำมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน อิมัลซิไฟเออร์ และสารให้ความคงตัว โดยทั่วไปจะมีคาร์โบไฮเดรตและไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก

1.6.2) การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) หมายถึง การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยอากาศร้อน กระบวนการนี้ประกอบด้วย การพ่นของเหลว (feed) ออกมาจนเป็นละอองขนาดเล็กเข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปทั้งหมด และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง

1.6.3) ข้าวหอมมะลิอินทรีย์ (Organic Thai Jasmine Rice) มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Oryza sativa* หมายถึง ข้าวเจ้าและธัญพืชที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย เป็นข้าวไทยสายพันธุ์แท้ดั้งเดิมพันธุ์เดียวในโลก ไม่มีการตัดต่อยีนส์ใด ๆ เป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ และเป็นข้าวที่ได้รับการกล่าวขวัญ

ว่าเป็นข้าวที่อร่อยที่สุดในโลก แม้ว่าหลายประเทศได้พยายามปลูกข้าวสายพันธุ์นี้ แต่ไม่มีประเทศใดสามารถปลูกได้คุณภาพดีเท่ากับปลูกในประเทศไทย

1.6.4) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) หมายถึง วัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ช่วยให้อิมัลชัน (emulsion) คงตัวด้วยการลดแรงตึงผิว (surface tension) ของของเหลว โดยช่วยให้อิมัลชันมีความคงตัว และป้องกันไม่ให้อิมัลชันแยกเป็นชั้น ซึ่งโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์ มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยจะหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหาน้ำ และหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาไขมันเป็นฟิล์มหุ้ม

1.6.5) สารให้ความคงตัว (stabilizer) คือสารที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เพื่อให้อาหารมีความคงตัวกับผลิตภัณฑ์ เช่น การป้องกันการแยกชั้นของเหลว ป้องกันการสูญเสียกลิ่นรส (flavor) คุณค่าทางโภชนาการ มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ช่วยให้โปรตีนกระจายตัวได้ดีและช่วยเพิ่มความหนืดในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม นม เป็นต้น

1.6.6) ไขมันทรานส์ (trans fat) หมายถึง ไขมันชนิดไม่อิ่มตัว พบได้ไม่บ่อยในธรรมชาติ ซึ่งสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ โดยมีกระบวนการไฮโดรจิเนชันเป็นการเติมไฮโดรเจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ของกรดไขมัน ทั้งการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของพันธะคู่และการเรียงหมู่ที่พันธะคู่ กรดไขมัน ในธรรมชาติพันธะคู่อยู่ในรูปซิส (cis-isomer) และเกิดไอโซเมอร์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของทรานส์ (trans-isomer) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า เรียกกรดไขมันนี้ว่า กรดไขมันชนิด ทรานส์ โดยผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผงนั้น มีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง จึงนิยมใช้ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชันเพียงบางส่วน (partially hydrogenated oil) ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมได้



บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวกับงานวิจัยแบ่งออกเป็นหัวข้อตามลำดับดังนี้

- 2.1 ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม
- 2.2 สารให้ความคงตัว
- 2.3 อิมัลซิไฟเออร์
- 2.4 น้ำ
- 2.5 น้ำมันพืช
- 2.6 ไขมันทรานส์
- 2.7 ข้าวหอมมะลิ
- 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม

ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง (non-dairy creamer, coffee whitener) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 208 พ.ศ.2543 เรื่อง ครีม ระบุไว้ (แสดงในตาราง 2.1) ครีมเทียมชนิดผงที่ดี เมื่อเติมลงในเครื่องตีนมชนิดร้อน โดยเฉพาะกาแฟ นั้น ครีมเทียมควรละลายได้ง่าย และส่วนที่ไม่ละลายหลงเหลืออยู่หลังการการคนในระยะเวลาสั้นๆ ต้องไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน (coagulation) สามารถให้ความขาวแก่เครื่องดื่มประเภท ชา กาแฟได้ดี (Golde, A. E. 2005) คุณภาพที่สำคัญของครีมเทียมผง ได้แก่ การละลายของครีมเทียมชนิดผง ความสามารถในการละลาย ของครีมเทียมผงโดยส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของครีมเทียม ควรเป็นครีมเทียมที่มีความหนาแน่นบรรจุ (bulk density) ต่ำ และมีอนุภาคขนาดใหญ่ เพื่อให้จมตัวในสารละลายได้เร็ว และทำจะส่งผลให้การละลายดีขึ้น (Nezbed, R., & Zamzow 1973) การตกตะกอนของโปรตีนในครีมเทียมผง ครีมเทียมที่ดีต้องไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน (feathering) (Gruetzmacher, Thomas J. 1991) ลักษณะของการตกตะกอนที่เกิดขึ้น จะเห็นเป็นเส้นคล้ายขนนก หรือเกล็ดสีขาวลอยอยู่บนผิวหน้าของเครื่องดื่มกาแฟ และความสามารถในการให้ความขาวแก่เครื่องดื่มร้อนของครีมเทียม จากการทดลองของ Choi, Y. R., E. W. Lusas 1982 พบว่า ครีมเทียมชนิดผงที่มีส่วนประกอบของโซเดียมเคซีนเนตร้อยละ 1.5- 3.0 สามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้ดี และสามารถเพิ่มความขาวในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมด้วยสารให้ความขาวได้

ตาราง 2.1 คุณภาพหรือมาตรฐานของครีมเทียมผง

ผลิตภัณฑ์	คุณภาพ/มาตรฐาน
ครีมเทียมผง	<ul style="list-style-type: none"> - มีลักษณะเป็นผง ไม่เกาะเป็นก้อน หรือมีลักษณะตามรูปลักษณะนั้น - มีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของน้ำหนัก - มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก - ตรวจพบแบคทีเรียไม่เกิน 100,000 ในอาหาร 1 กรัม - ไม่มีกลิ่นหืน ไม่มีวัตถุกันเสีย - ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค - ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา 2543

2.2 สารให้ความคงตัว

สารให้ความคงตัว (stabilizer) คือสารที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เพื่อให้อาหารมีความคงตัวกับผลิตภัณฑ์ เช่น การป้องกันการแยกชั้นของเหลว ป้องกันการสูญเสียกลิ่นรส (flavor) คุณค่าทางโภชนาการ มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี ช่วยให้โปรตีนกระจายตัวได้ดีและช่วยเพิ่มความหนืดในครีมเทียม (Gardiner 1977) ซึ่งสารให้ความคงตัวที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม คือ คาร์ราจีแนน (carrageenan) ซึ่งสามารถใช้คาร์ราจีแนนในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมในปริมาณร้อยละ 0.025-0.2 (Knightly 1969 ; Gardiner 1977; Pordy 1994) โดยสารให้ความคงตัวแบ่งออกเป็นหลายประเภท ได้แก่ สารสกัดจากสาหร่าย เช่น agar, alginate, คาร์ราจีแนน (carrageenan) กัมที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ เช่น xanthan gum ประเภทจากเมล็ด หัว และรากพืช เช่น โลคัสต์บีนกัม (locust bean gum), psyllium, สตาร์ช กัมจากยางพืช เช่น กัมอะราบิก (gum arabic), ghatti gum, กัมคารายา (karaya gum), tragacant ประเภทโปรตีน เช่น เจลาติน สารพวกเพกทิน (pectin) สารพวกเซลลูโลส (cellulose) เช่น sodium carboxymethyl cellulose, microcrystalline cellulose, methyl cellulose, methylethyl cellulose, hydroxypropyl cellulose และ hydroxypropylmethyl cellulose เป็นต้น (Anonymous 2006)

2.3 อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) คือสารที่ใช้ลดแรงตึงผิว (surface tension) ของของเหลว โดยหน้าที่ของสารอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมซึ่งเป็นสารชนิดน้ำมันในน้ำ (นิธิยา รัตนานนท์ 2548) ซึ่งช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างผิวน้ำและผิวไขมัน ทำให้เม็ดไขมันเกิดการกระจายอยู่ในน้ำ โดยไม่เสียความคงตัว ไม่เกิดการแยกชั้นเป็นชั้นไขมันกับชั้นน้ำ ไม่เกิดการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน

(coalescence) และไม่เกิดการรวมตัวกันของเม็ดไขมันจนส่งผลให้เกิดการลอยขึ้นสู่ผิวหน้า (creaming) (Dickinson and Stainsby 1982) โดยตัวอย่างของอิมัลซิไฟเออร์ ที่ใช้ในอาหาร เช่น มอโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) เช่น เลซิทีน (lecithin)

2.4 น้ำ

น้ำจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการเกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ซึ่งส่วนประกอบของครีมเทียมส่วนใหญ่อยู่ในวัฏภาคน้ำ น้ำเป็นส่วนประกอบใน การปรับความเข้มข้นของอิมัลชันให้เหมาะสม ต่อการใช้ในสภาพของเหลวหรือการทำให้แห้งด้วย เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย จากการทดลองของ Gilmore and Miller 1976 and Gardiner 1977 ปริมาณน้ำที่ให้ความหนืดหรือปริมาณของแข็งที่เหมาะสมในการทำแห้งคือประมาณร้อยละ 76

2.5 ไขมันพืช

ไขมันจากพืชเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด มีผลทำให้ครีมเทียมมีลักษณะขหนืด ให้ความเข้มข้น ทำให้ครีมเทียมมีสีขาวเมื่อกระจายตัวในน้ำ ซึ่งปกติน้ำมันพืชเป็นของเหลวแต่หากนำมาผ่าน กระบวนการไฮโดรจิเนชันจะทำให้เป็นไขมันอิ่มตัวมากขึ้นหรือเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องมากขึ้น จึง เรียกว่าไขมันพืช ไขมันที่ใช้ในการผลิตครีมเทียมควรเป็นไขมันชนิดที่ไม่เกิดกลิ่นหืนได้ง่าย จึงนิยมใช้ ไขมันที่มีความอิ่มตัวสูงมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง จะต้องมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว จึงนิยม ใช้น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว เป็นต้น และเมื่อไขมัน ทำงานร่วมกับโปรตีน จะช่วยเสริมให้ให้ครีมเทียมมีสีขาวเมื่อกระจายตัวในน้ำ (Baker 1988; Gruetzmaier, Thomas J. 1991) ไขมันที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผงต้องใช่ ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวที่สูง คือไขมันที่มีจุดหลอมเหลวประมาณ 43- 46 องศาเซลเซียส เนื่องจาก ให้มีความทนกับสภาพอุณหภูมิสูง ในระหว่างกระบวนการขนส่ง และการเก็บรักษาได้ดี ไม่เกิดการ เกาะตัวเป็นก้อน เนื่องจากไขมันเกิดการหลอมละลาย จึงไม่ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ ไขมัน (Knightly 1969)

2.6 ไขมันทรานส์

ไขมันทรานส์ (trans fat) ซึ่งเป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัว พบได้ไม่บ่อยในธรรมชาติ แต่สามารถ สังเคราะห์ขึ้นได้ ไขมันมีสายไฮโดรคาร์บอนขนาดยาว ซึ่งอาจเป็นไขมันไม่อิ่มตัว คือ กระบวนการ ไฮโดรจิเนชันเป็นการเติมไฮโดรเจนที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวบางตำแหน่งทำให้มี จุด หลอมเหลวสูงขึ้น (Spiller 1996) ปฏิกริยาการเติมไฮโดรเจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไอโซ เมอร์

ของกรดไขมัน ทั้งการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของพันธะคู่และการเรียงหมู่ที่พันธะคู่ กรดไขมัน ในธรรมชาติพันธะคู่อยู่ในรูปซิส (cis-isomer) และเกิดไอโซเมอร์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของทรานส์ (trans-isomer) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า (นิธิยา รัตนาปนนท์ 2548) เรียกกรดไขมันนี้ว่า กรดไขมันชนิดทรานส์ (Spiller 1996) โดยผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผงนั้น มีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง จึงนิยมใช้ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชันเพียงบางส่วน (partially hydrogenated oil) (Gruetzmacher, Thomas J. 1991 ; Anonymous 2006) ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม

การบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันทรานส์ในปริมาณสูง จะส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ Cholesterol Acyltransferase ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในการเมตาบอลิซึมของคอเลสเตอรอล ทำให้ระดับ LDL (Low Density Lipoprotein) ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลชนิดเลวในเลือดเพิ่มขึ้น และลดระดับ HDL (High Density Lipoprotein) ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลชนิดดีในเลือด และเนื่องจากไขมันทรานส์เป็นไขมันที่เกิดจากการแปรรูป ซึ่งย่อยสลายได้ยากกว่าไขมันชนิดอื่น ทำให้ตับต้องสลายไขมันทรานส์ด้วยวิธีการที่แตกต่างไปจากการย่อยสลายไขมันตัวอื่น จึงอาจก่อให้เกิดสภาวะที่ผิดปกติกับร่างกาย คือ น้ำหนักและไขมันส่วนเกินเพิ่มมากขึ้น มีภาวะการทำงานของตับที่ผิดปกติ และมีความเสี่ยงสูงที่จะเป็นโรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจขาดเลือด โรคหลอดเลือดหัวใจตีบ (Coronary Heart Disease) โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้อาหารทุกประเภทที่จัดจำหน่ายภายในประเทศ ต้องระบุปริมาณของกรดไขมันทรานส์ไว้บนฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะต้องมีปริมาณกรดไขมันทรานส์ น้อยกว่า 0.5 กรัม ต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ส่วนประเทศอื่น ๆ เช่น แคนาดา สหภาพยุโรป ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ ก็มีการออกกฎให้ระบุปริมาณของกรดไขมันทรานส์ไว้บนฉลากโภชนาการเช่นกัน รวมถึงการให้คำแนะนำแก่ประชาชนในการจำกัดการบริโภคอาหารที่มีไขมันทรานส์เป็นส่วนประกอบด้วย ในประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายบังคับให้มีการระบุข้อมูลปริมาณของไขมันทรานส์บนฉลากอาหาร ในประเทศอังกฤษ พบวารสาร British Medical Journal, New England Journal of Medicine มีการรายงาน ถึงผลของการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์ เสี่ยงต่อการเกิดหัวใจตีบ โรคหลอดเลือด โดยที่ผลการวิจัยจากประเทศเนเธอร์แลนด์ ในกลุ่มผู้บริโภครวมทั้งชายและหญิงที่มีอายุ เฉลี่ย 25 ปี บริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของไขมันต่างชนิด ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัวและกรด ไขมันชนิดทรานส์ จากนั้นวัดปริมาณแอลดีแอลคอเลสเตอรอล (LDL cholesterol) ซึ่งเป็นไขมันไม่ดี หากมีสูงจะทำให้หลอดเลือดตีบและเอชดีแอลคอเลสเตอรอล (HDL cholesterol) ซึ่งเป็นไขมันส่วนดี พบว่า การบริโภคกรดไขมันอิ่มตัว มีปริมาณแอลดีแอลคอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้น ในขณะที่การบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์นั้นมีปริมาณแอลดีแอลคอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้น แต่เอชดีแอลคอเลสเตอรอลมีปริมาณลดลง ซึ่งมีผลทั้งในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นหญิง และชาย (Aisbitt, B., & Buttriss 2006) จากงานวิจัยของประเทศสหรัฐอเมริการะบุว่า กรดไขมันชนิดทรานส์นอกจากเพิ่มแอลดีแอลคอเลสเตอรอลและลดเฮชดีแอลคอเลสเตอรอลลงแล้ว

ยังเพิ่มไตรกลีเซอไรด์ และสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการสะสมของ ไขมันบนผนังในหลอดเลือด รวมทั้งการจับกันของลิ้มเลือดด้วย (Spiller 1996) ดังนั้น ผลเสียจากการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์ ทำให้ประเทศอังกฤษมีข้อแนะนำในการบริโภคอาหารที่มีกรดไขมันชนิดทรานส์ ตั้งแต่ปี 1991 โดยบริโภคได้ไม่เกิน ร้อยละ 2 ของพลังงานที่ร่างกายได้รับต่อวัน หรือเพียง 5 กรัมต่อวัน ทำให้อุตสาหกรรมอาหารใน ประเทศอังกฤษ มีการแข่งขันกันสูงเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารไม่ให้มีกรดไขมันชนิดทรานส์ เช่นเดียวกับประเทศสหรัฐอเมริกา โดยองค์การอาหารและยาได้กำหนดให้ผู้ผลิตอาหาร ระบุปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ไว้ในฉลากอาหารให้ชัดเจน (Aisbitt 2000)

2.7 ข้าวหอมมะลิอินทรีย์

ข้าวสายพันธุ์หอมมะลิอินทรีย์ (Organic Thai Jasmine Rice หรือ Hom Mali Rice หรือ Khao Dawk Mali 105) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Oryza sativa* โดยเป็นข้าวเจ้าและธัญพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศไทย ซึ่งเป็นข้าวที่นิยมของผู้บริโภคทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ มีกลิ่นหอมจำเพาะและเมื่อหุงสุกจะมีความนุ่มซึ่งขึ้นอยู่กับความใหม่หรือเก่าของข้าว มีลักษณะเมล็ดเรียวยาว โดยมีปริมาณอะไมโลส 12 – 19 % โดยน้ำหนักและใช้อุณหภูมิทำให้แป้งสุกต่างกันเนื่องมาจากเมล็ดข้าวไทยมีสมบัติของแป้งที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำให้เกิดการแปรรูปและพัฒนาข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ แป้งข้าว แผ่นแป้ง การทำข้าวหุงสุกไว้ รวมทั้ง อาหารประเภทพองกรอบ ข้าวบรรจุกระป๋อง ข้าวกึ่งสำเร็จรูปข้าว สวยในบรรจุภัณฑ์ ข้าวเสริมโภชนาการ อาหารเด็ก อาหารเข้า เป็นต้น

2.7.1 สารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ในข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมมะลิ เป็นข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือก ไม่ขัดสี ข้าวจึงยังคงมีเยื่อหุ้มเปลือก และจมูกข้าวที่คงคุณค่าและมีประโยชน์ต่อร่างกาย ในเมล็ดข้าวมี วิตามินบีรวมช่วยป้องกันและบรรเทาอาการอ่อนเพลีย แขน ขาไม่มีแรง ปวดกล้ามเนื้อ โรคผิวหนังบางชนิด บำรุงสมองทำให้เจริญอาหาร สารอาหารต่าง ในข้าวหอมมะลิ มีดังนี้ วิตามินบี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชาได้ วิตามินบี 2 ป้องกันโรคปากนกกระจอก ฟอสฟอรัส ช่วยในการเจริญเติบโตของกระดูกและฟัน แคลเซียม ทำให้กระดูกแข็งแรง ช่วยป้องกันไม่ให้เป็นตะคริว ทองแดง สร้างเม็ดโลหิต และเฮโมโกลบิน ธาตุเหล็ก ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง โปรตีน ช่วยเสริมสร้างส่วนที่สึกหรอ ไขมัน ให้พลังงานแก่ร่างกาย ไขมันในข้าวเป็นไขมันที่ดี คาร์โบไฮเดรต ให้พลังงานแก่ร่างกายทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยคุณค่าทางโภชนาการของข้าวหอมมะลิ ดังแสดงในตาราง 2.2

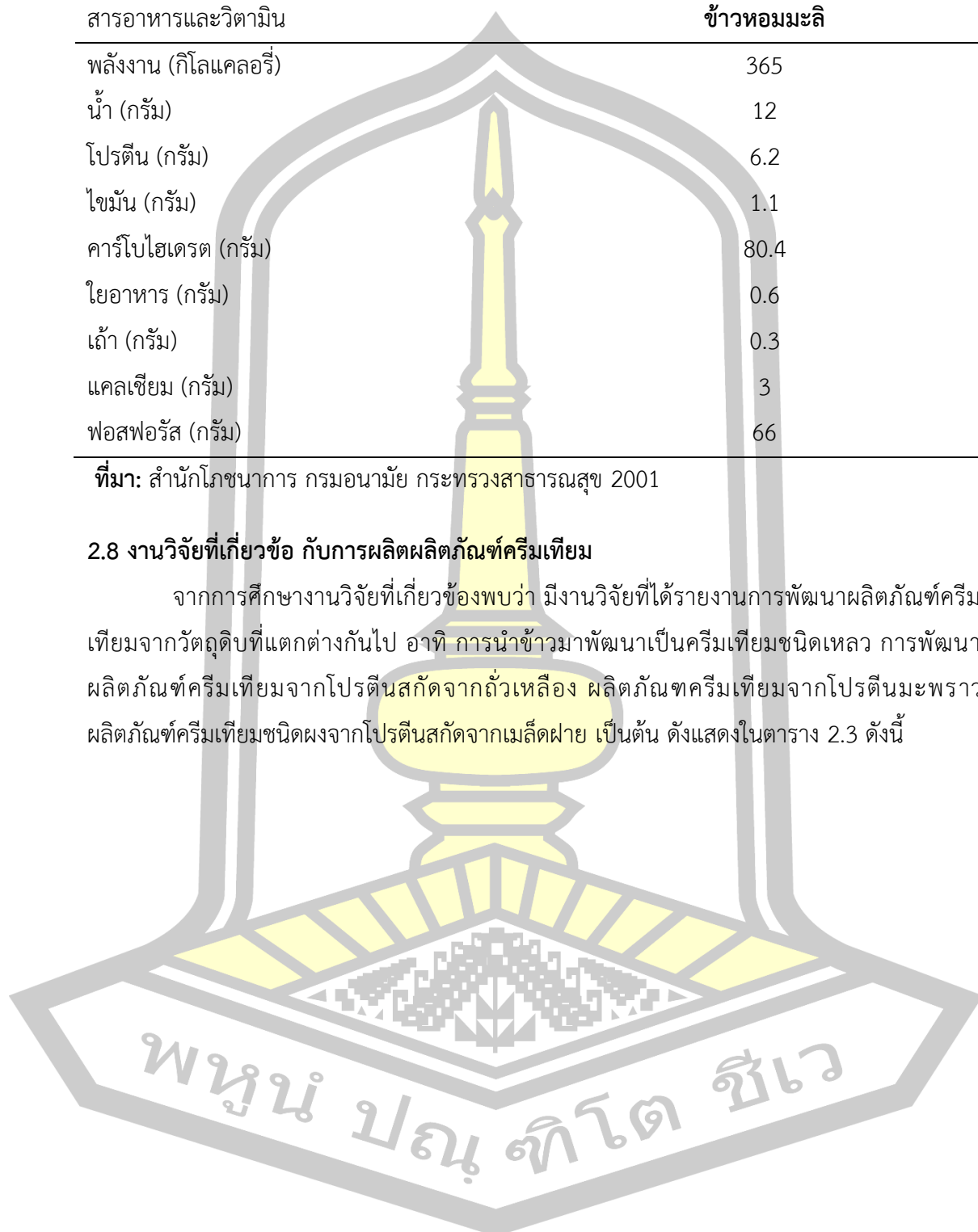
ตาราง 2.2 คุณทางโภชนาการของข้าวหอมมะลิ

สารอาหารและวิตามิน	ข้าวหอมมะลิ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	365
น้ำ (กรัม)	12
โปรตีน (กรัม)	6.2
ไขมัน (กรัม)	1.1
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	80.4
ใยอาหาร (กรัม)	0.6
เถ้า (กรัม)	0.3
แคลเซียม (กรัม)	3
ฟอสฟอรัส (กรัม)	66

ที่มา: สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข 2001

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียม

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีงานวิจัยที่ได้รายงานการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันไป อาทิ การนำข้าวมาพัฒนาเป็นครีมเทียมชนิดเหลว การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนมะพร้าว ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผงจากโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้าย เป็นต้น ดังแสดงในตาราง 2.3 ดังนี้



ตาราง 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม

งานวิจัย	ชนิดของผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบ	วิธีการ/สูตร/สถานะที่ดีที่สุด
ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผงเพื่อแก้ปัญหาการตกตะกอนของโซเดียมเคซีเนต (Gardiner 1977)	ครีมเทียมชนิดผง	- ไขมันปาล์ม	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้สารประกอบของอิมัลชันเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือไขมันปาล์มที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันบางส่วน ร้อยละ 20- 40 โซเดียมเคซีเนต ร้อยละ 3 - 15 กลูโคสซีรัป ร้อยละ 35 - 65 โมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 0.5 - 3.0 เกลือสเตียเรอิล ร้อยละ 1- 4 ไดโพลแทสเซียมฟอสเฟต ร้อยละ 2.7 และโซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 0.3 - สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วย กลูโคสซีรัป ร้อยละ 60 ไขมันพืช ร้อยละ 32 โซเดียมเคซีเนต ร้อยละ 3.5 โมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 1.5 ไดโพลแทสเซียมฟอสเฟต ร้อยละ 2.7 และโซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 0.3 - ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยใช้อุณหภูมิลมเขา 204 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมออก 93 องศาเซลเซียส - ปริมาณความชื้น ร้อยละ 2.0 ไม่พบการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม - ไขมันขงกาแฟที่มีระดับต่างกันคือ 300 350 400 450 500 และ 550 ppm - พบว่าการใช้เกลือ 2 ชนิดรวมกันสามารถต้านการตกตะกอนของโปรตีนได้ดีกว่าการใช้เกลือเพียงชนิดเดียวซึ่งหากใช้เกลือเพียงชนิดเดียว

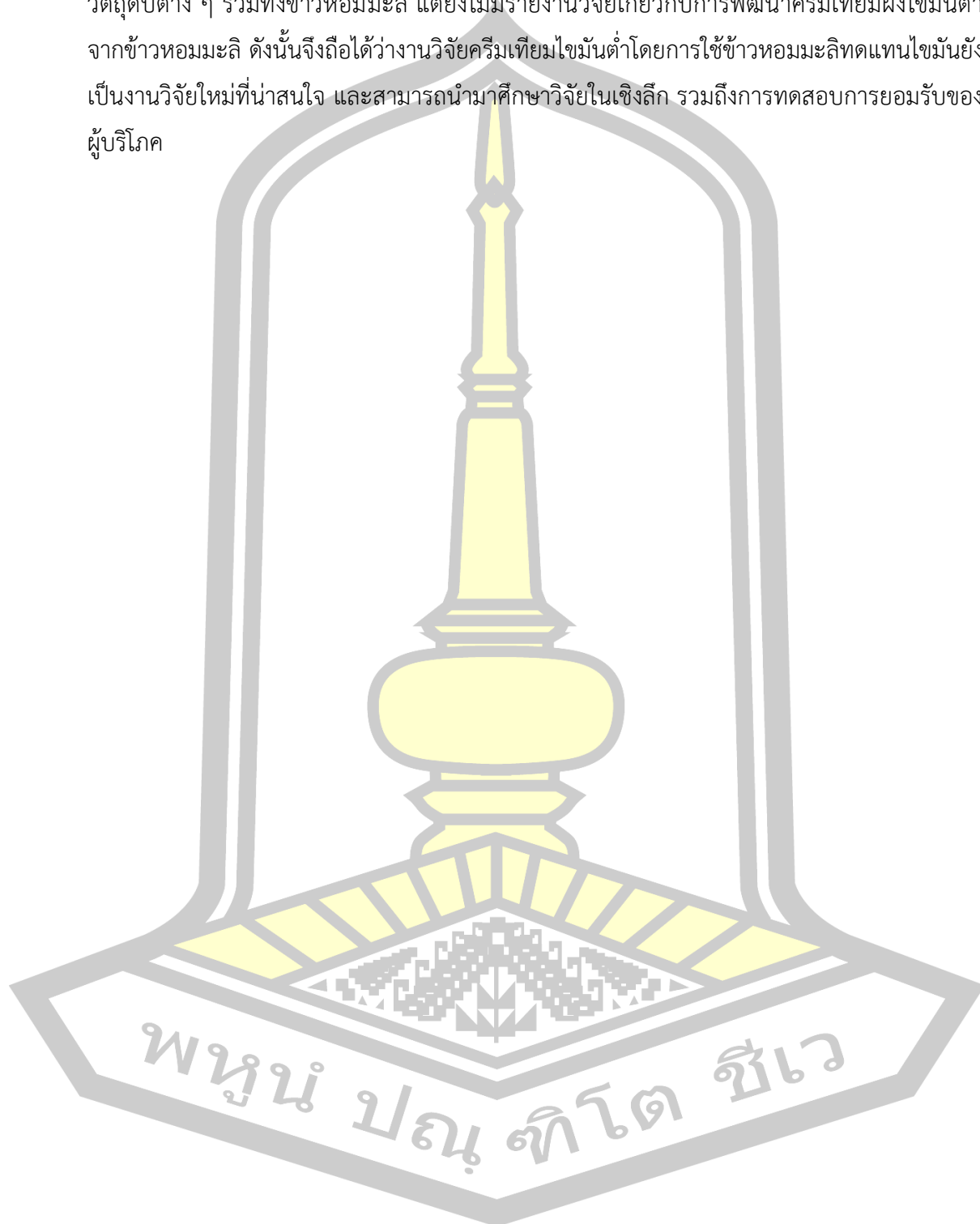
ตาราง 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม(ต่อ)

ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจาก	ครีมเทียมจาก	- ถั่วเหลือง	- สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วย ไขมันปาล์มไฮโดรจิเนต ร้อยละ 10.7 (จุดหลอมเหลว
ครีมเทียมจากโปรตีนสกัดจาก	โปรตีนสกัด	- ไขมันปาล์ม	42-44 องศาเซลเซียส) โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ร้อยละ 1 น้ำเชื่อมกลูโคส ร้อยละ
ถั่วเหลือง (นราธิป เดียววิช	จาก	- โปรตีนสกัด	14.3 ฟอสเฟต ร้อยละ 0.10 เลซิติน ร้อยละ 0.07 คาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.04
2539)	ถั่วเหลือง	จากถั่ว	โพลีซอเบต 60 ร้อยละ 0.1 ไดโพลีเอสเซียโมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 0.16 กลีนิมม
			ร้อยละ 0.20 และน้ำ ร้อยละ 73.23
			- พบว่าผลิตภัณฑ์ มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมในท้องตลาด
			- ไม่พบจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค
			- การยอมรับของผู้บริโภคอยู่ในระดับดี
			- สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิปกติได้นานกว่า 2 เดือน
พัฒนาสูตรครีมเทียมชนิดผง	ครีมเทียมชนิด	- โปรตีน	- สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วย โปรตีน ร้อยละ 6.0 กลูโคสซีรัป ร้อยละ 26.8 นํ้ามันถั่ว
จากโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝาย	ผงจากโปรตีน	- นํ้ามันถั่ว	เหลืองที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันบางส่วน ร้อยละ 16 โมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 0.6
(Choi, et al.,1982)	สกัดจาก	เมล็ดฝาย	ไดกลีเซอไรด์ ร้อยละ 0.2 คาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.25 ไดโพลีเอสเซียมฟอสเฟต
			ร้อยละ 0.3 และน้ำ
			- ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นลมโดยใช้อุณหภูมิมาเขา 200 องศาเซลเซียส และ
			อุณหภูมิลมออก 93 องศาเซลเซียส
			- ใช้โปรตีนสกัดจากเมล็ดฝายแทนโซเดียมเคซีนได้ ร้อยละ 50 เนื่องจากต้องการให้
			ครีมเทียมที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับครีมเทียมทางการค้ามากที่สุด

ตาราง 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม(ต่อ)

ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนมะพร้าว	ครีมเทียมจากโปรตีนมะพร้าว	- โปรตีนมะพร้าว	- ไขมันผสมระหว่างไขมันปาล์มสเตียรีนกับน้ำมันปาล์มโอเลอินและโปรตีนมะพร้าว
ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนมะพร้าว	โปรตีนมะพร้าว	- โปรตีนมะพร้าว	- สูตรที่เหมาะสมประกอบด้วยโพแทสเซียมฟอสเฟต ร้อยละ 0.2 และคาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.06 พอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.2 โมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 0.4 และเลซิติน ร้อยละ 0.6 ไขมันผสมที่มีจุดหลอมเหลว 40 องศาเซลเซียส ร้อยละ 10 และมอลโทเดกซ์ทริน ร้อยละ 12
(ปฎิญา จิยพงศ์ 2552)		- น้ำมันปาล์มโอเลอิน	- พบว่าความชื้น ร้อยละ 3 ไขมัน ร้อยละ 37 และโปรตีน ร้อยละ 0.65
			- พบว่าอิมัลชันของโปรตีนมะพร้าวและน้ำมันผสมมีดัชนีการเกิดครีม (creaming index) ต่ำลง มีความคงตัว (emulsion stability) มากขึ้น และมีค่าความสว่าง (L*) เพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น
การศึกษาศาสตร์ของสารให้ครีมเทียม	ครีมเทียม	- ดอกมะลิ 105	- เปรียบเทียบวิธีการไม่แบ่งแบบเปียกและแบบแห้ง
ความคงตัวและสารอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม	เหลวจากข้าว	- ชัยนาท 1	- พัฒนาสูตรที่เหมาะสมโดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture design
จากข้าวและการนำไปใช้ประโยชน์ในอาหาร (ธัญญาภรณ์ ปัญญธรรมาภรณ์ และคณะ 2556)			- สูตรที่ดีที่สุดในการผลิตครีมเทียมจากข้าวที่มีส่วนประกอบของน้ำมันข้าว, น้ำมันรำข้าว, CMC, LBG ในปริมาณ ร้อยละ 87.23, 10.48, 0.04, 0.14 และ N-CREAMER 46 และ TWEEN 20 ที่ใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในปริมาณ ร้อยละ 2.10 และ 0.42
			- วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพพบว่า เป็น อิมัลชันชนิด oil in water (o/w)
			- เมื่อพัฒนาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เครื่องดื่มเย็นรสโกโก้เปรียบเทียบความเข้มข้นของปริมาณน้ำตาล พบว่าที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 60 ให้ผู้บริโภคมีความชอบระดับปานกลางถึงสูง คณะกรรมการยอมรับโดยรวมสูงสุดอยู่ในช่วง 6-7

จากข้อมูลข้างต้น สามารถกล่าวได้ว่า ถึงแม้จะมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาครีมเทียมจากวัตถุดิบต่าง ๆ รวมทั้งข้าวหอมมะลิ แต่ยังไม่มียางานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาครีมเทียมผงไขมันต่ำจากข้าวหอมมะลิ ดังนั้นจึงถือได้ว่างานวิจัยครีมเทียมไขมันต่ำโดยการใช้ข้าวหอมมะลิตดแทนไขมันยังเป็นงานวิจัยใหม่ที่น่าสนใจ และสามารถนำมาศึกษาวิจัยในเชิงลึก รวมถึงการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) และการวิจัยประยุกต์ (Applied Research) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิโดยดำเนินการวิจัยตามลำดับดังต่อไปนี้

- 3.1 ขอบเขตงานวิจัย
- 3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย
- 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ขอบเขตงานวิจัย

วัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย คือ ข้าวสารหอมมะลินทรีย์

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้วางแผนการทดลอง สำหรับข้อมูลทางกายภาพโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) และข้อมูลทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกอย่างสมบูรณ์ randomized completely block design (RCBD) แบ่งการวิจัยออกเป็น 5 การทดลอง คือ 1) การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบหลักและคุณภาพของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นตำหรับ 2) การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ 3) พัฒนาระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ 4) ประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ และ 5) การศึกษาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบหลัก และคุณภาพของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นตำหรับ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารหอมมะลินทรีย์บดละเอียด ปัจจัยที่ศึกษา คือ ข้าวสารหอมมะลินทรีย์บดละเอียดที่นำมาศึกษาเพื่อทราบถึงองค์ประกอบและคุณภาพของข้าวสารหอมมะลิ โดยทำการทดลองวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L^* , a^* , b^*) ค่า a_w ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณปริมาณ แล็ก ปริมาณเส้นใย และปริมาณคาร์โบไฮเดรต และคุณสมบัติของข้าวสารหอมมะลิ โดยใช้เครื่อง ravid visco analyser (RVA) และคุณลักษณะทั่วไปของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ปัจจัยที่ศึกษา คือ ครีมเทียม

ผงจากตามท้องตลาดที่นำมาศึกษาเพื่อหาสูตรเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง ที่มีปริมาณไขมันต่ำ คือครีมเทียมผงจากตามท้องตลาดจำนวน 3-5 ผลิตภัณฑ์ โดยการศึกษาส่วนแบ่งของการตลาด รวมทั้งวิเคราะห์ ค่าสี (L^*, a^*, b^*) ค่า a_w การละลาย ความชื้น โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส วิธีการทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale) และการทดสอบความชอบแบบการจัดลำดับ (ranking test)

การทดลองที่ 2 การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ศึกษาการเติมปริมาณข้าวหอมมะลิและปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน และพัฒนาผลิตภัณฑ์สูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสม โดยทำการหาปริมาณน้ำนมข้าวหอมมะลิ ปริมาณสารให้ความคงตัว วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design กำหนดปัจจัยประกอบด้วย โดยใช้ปริมาณน้ำนมข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 40-50 ร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน (carrageenan) ร้อยละ 0-5 และ พอลิซอร์เบต 60 (polysorbate 60) ร้อยละ 0-5 ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ เลซิธิน ร้อยละ 0.5 สามารถในครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน โดยทดแทนปริมาณไขมันแล้ว จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน และสามารถเป็นผลิตภัณฑ์สูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิอย่างไร โดยทำการทดลองวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้วจะมีผลต่อคุณภาพของสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิอย่างไร โดยทำการทดลองวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

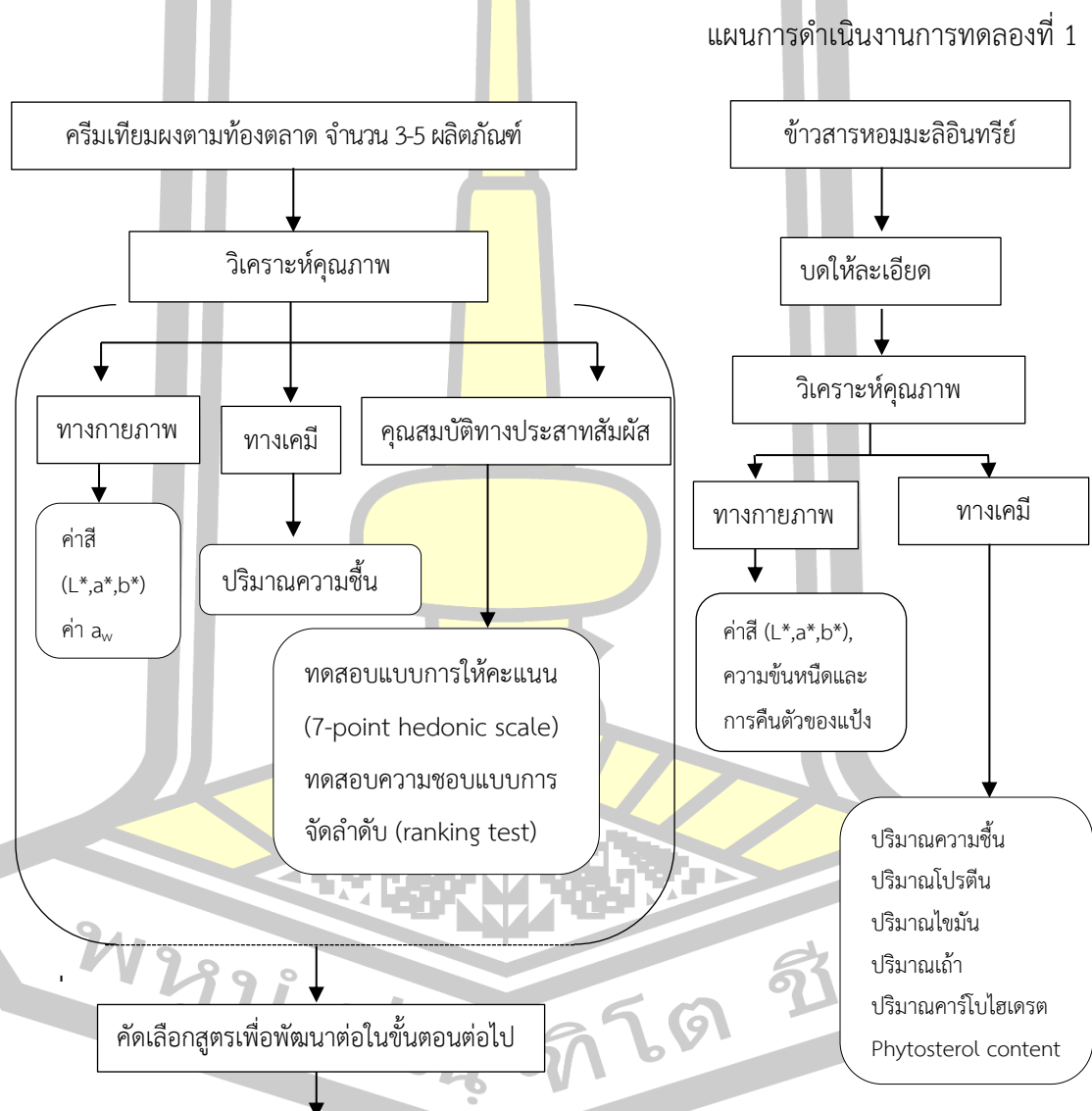
การทดลองที่ 3 พัฒนากระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ โดยใช้กระบวนการทำแห้งได้แก่ กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ใช้การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ใช้อุณหภูมิที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งให้มีความชื้น ไม่เกินร้อยละ 5 และค่า a_w ไม่เกินร้อยละ 0.6 และการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ใช้อุณหภูมิลมเข้า 3 ระดับ คือ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออก 100 องศาเซลเซียส ปัจจัยที่ศึกษา คือ กระบวนการทำแห้งทั้ง 2 กระบวนการ มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิอย่างไร โดยทำการทดลองวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

การทดลองที่ 4 ประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

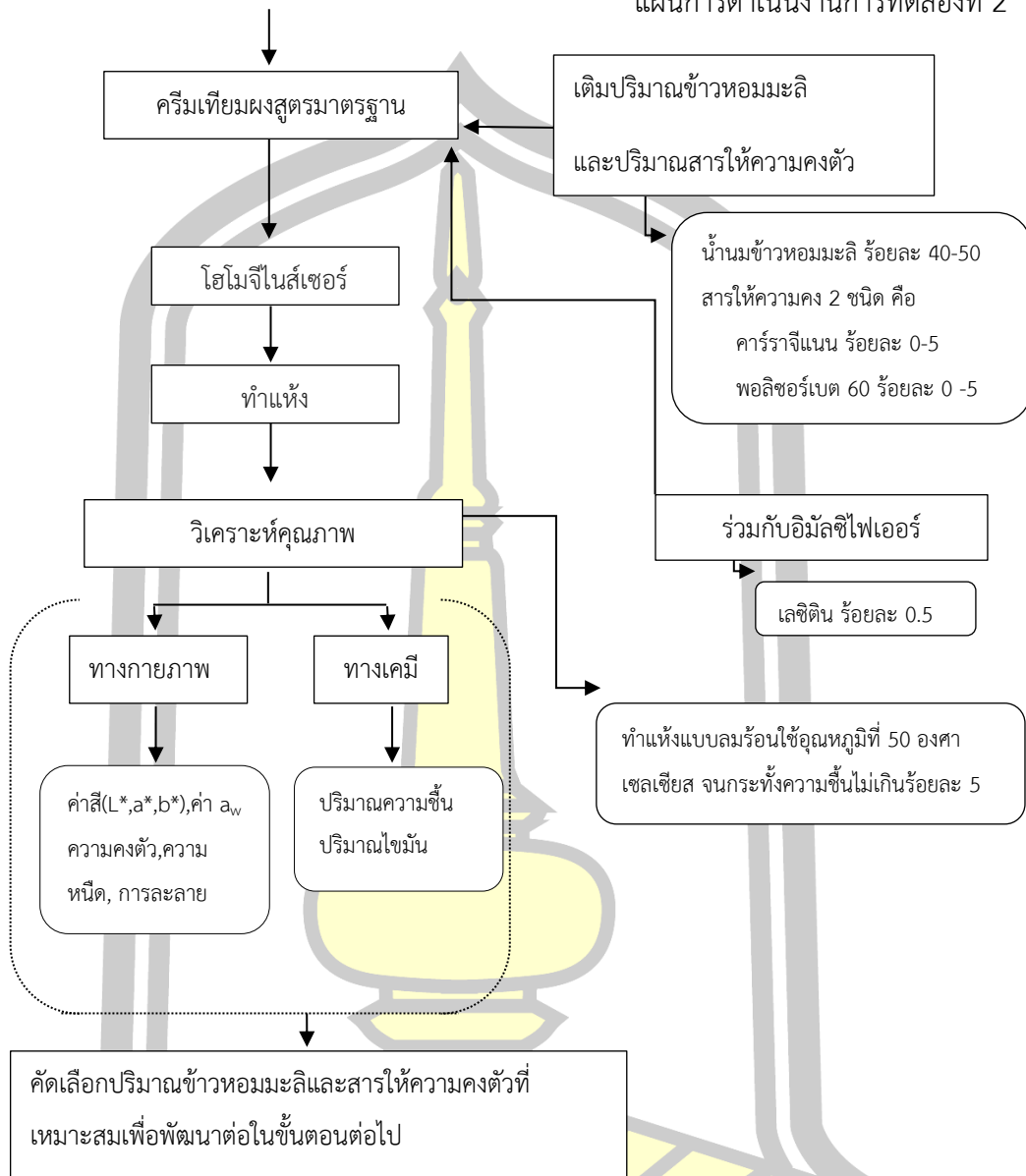
การทดลองที่ 5 การศึกษาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาในสภาวะเร่ง คือที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 120 วัน เทียบกับสภาวะอุณหภูมิบรรยากาศ ตามวิธีของ Decker et al., 2010 และ El-Magoli et al., 1980

โดยค่าสี (L^*) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity, a_w) (AOAC. 2000) ไม่เกิน 0.6 วัดค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 และค่าค่าการหืนโดยวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, PV) ซึ่งมีค่าความเหม็นหืนอยู่ในระดับมาตรฐาน ค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน ร้อยละ 10 meq Oxygen / kg. ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำมันและไขมัน

แผนดำเนินงานงานวิจัยสามารถสรุปได้ดัง แผนภาพที่ 1

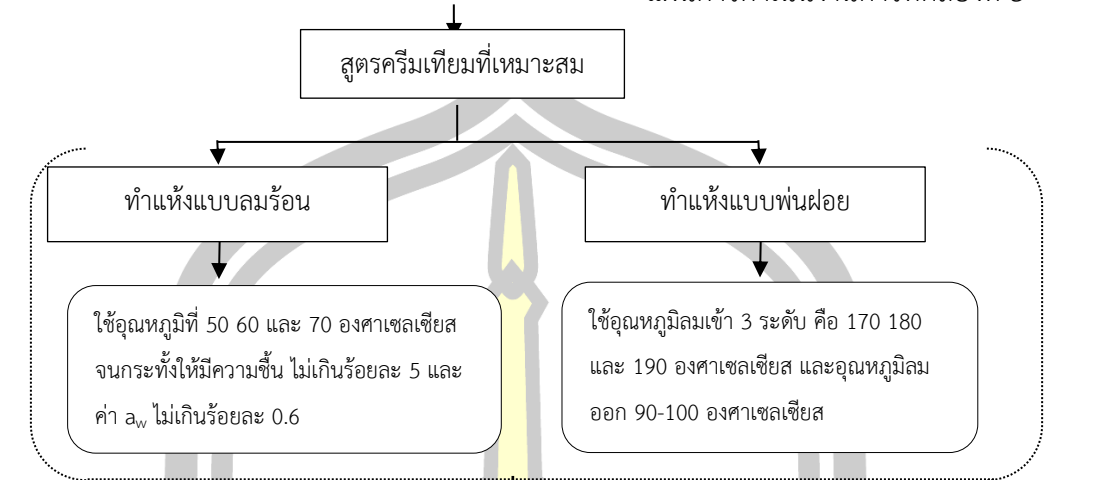


แผนการดำเนินงานการทดลองที่ 2

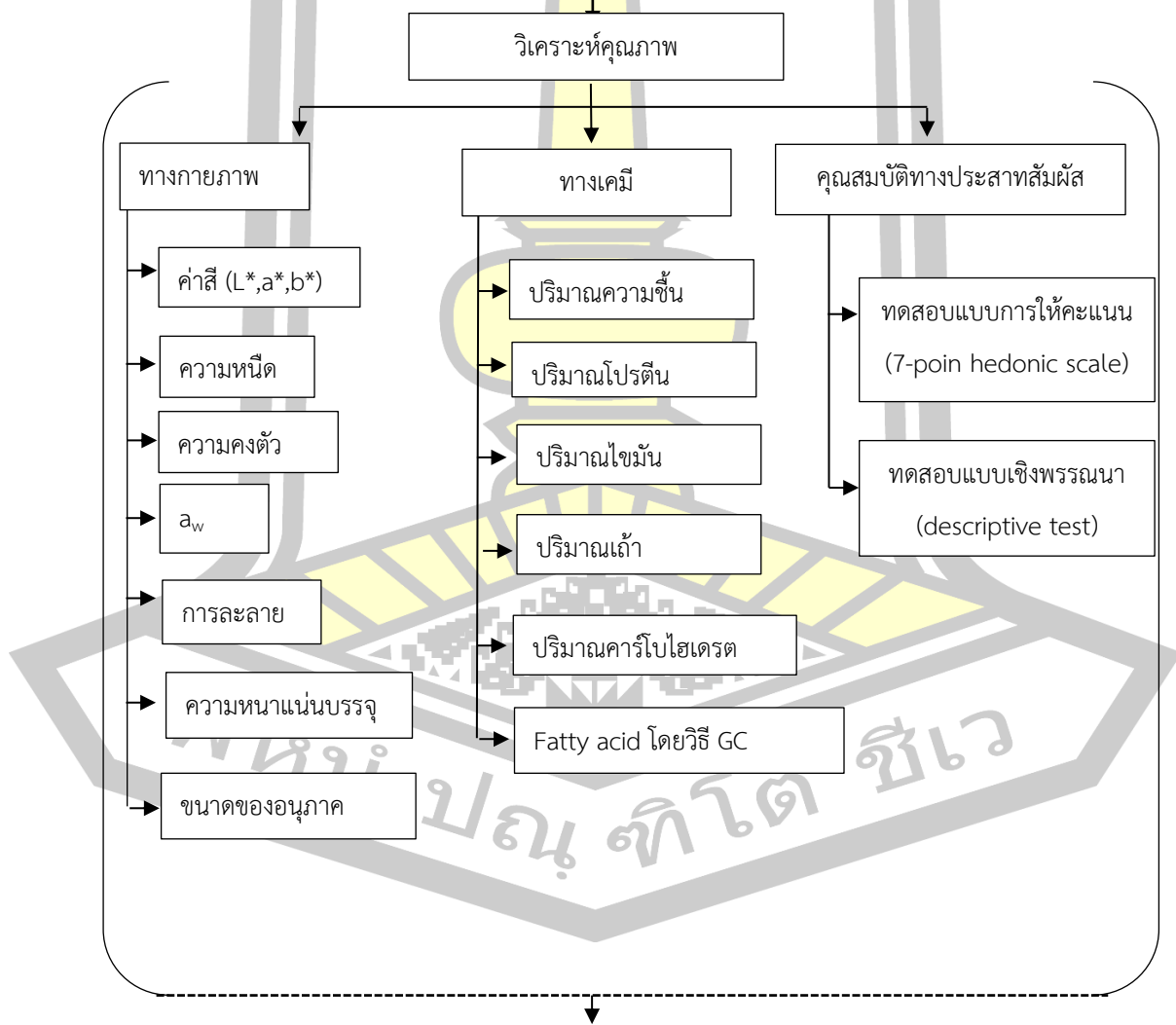


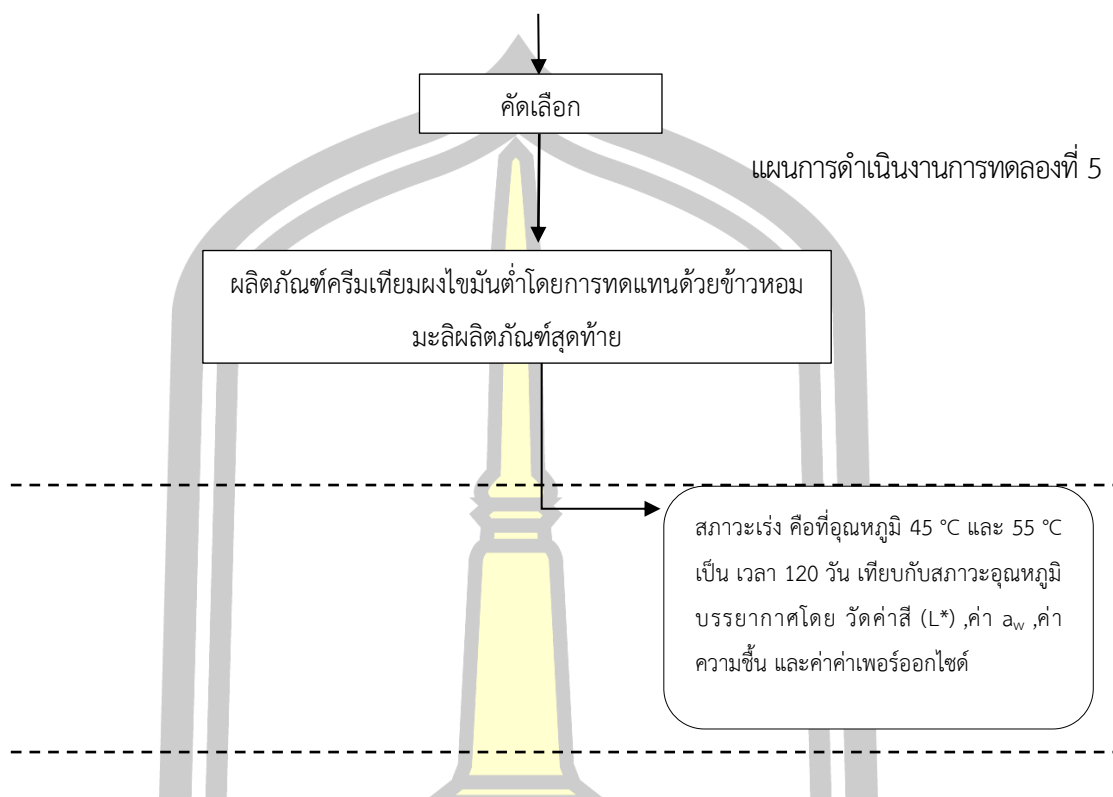
พจนานุกรมศัพท์โต ชเว

แผนการดำเนินงานการทดลองที่ 3



แผนการดำเนินงานการทดลองที่ 4





ภาพประกอบ 3.1 แผนดำเนินงานงานวิจัย

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุุดิบ

3.2.1.1 ข้าวสารสายพันธุ์หอมมะลิอินทรีย์ (Organic Thai Jasmine Rice) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Oryza sativa* ของวิสาหกิจชุมชนบ้านหม้อ จังหวัดร้อยเอ็ด

3.2.2 วัสดุอุปกรณ์

3.2.2.1 เครื่องปั่นอเนกประสงค์

3.2.2.2 ตะแกรงร่อนขนาด 80 เมท

3.2.2.3 ถาด

3.2.2.4 ชาม

3.2.2.5 ซ้อน

3.2.3 วัสดุอุปกรณ์วิเคราะห์ทางเคมี

3.2.3.1 เครื่องชั่งชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Thailand)

3.2.3.2 เครื่อง spectrophotometer (Libra S12)

- 3.2.3.3 เครื่อง vortex (VTX-3000L)
- 3.2.3.4 เครื่อง shaker incubator
- 3.2.3.5 เครื่อง โฮโมจีไนส์เซอร์ (homogenizer)
- 3.2.3.6 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath, Memmert schutzart DIN 40050

TP 20, Germany)

- 3.2.3.7 ตู้บลมร้อน (hot air oven)
- 3.2.3.8 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 3.2.3.9 ตู้บลมร้อน (hot air oven) อุณหภูมิ 105 °C
- 3.2.3.10 เครื่อง centrifuge (Universal 320)
- 3.2.3.11 เครื่อง hot plate
- 3.2.3.12 เครื่องวัดค่าแอกติวิตี้ (water activity meter)
- 3.2.3.13 เตาเผาความร้อนสูง (muffle furnace)
- 3.2.3.14 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (Kjeldath apparatus)
- 3.2.3.15 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (Soxhlet apparatus)
- 3.2.3.16 ไมโครปิเปต (micro pipett)
- 3.2.3.17 กระดาษกรอง whatman No.1
- 3.2.3.18 หัวกรอง ขนาด 0.45 μm
- 3.2.3.19 กระจบอกลง
- 3.2.3.20 moisture can
- 3.2.3.21 หลอด centrifuge
- 3.2.3.22 คิวเวตต์ (cuvette)
- 3.2.3.23 ซ้อนตักสารเคมี
- 3.2.3.24 ถ้วย crucible
- 3.2.3.25 เครื่องแก้วต่างๆ

3.2.4 วัสดุอุปกรณ์วิเคราะห์ทางกายภาพ

- 3.2.4.1 เครื่องวัดค่าสี (colorimeter)
- 3.2.4.2 เครื่องวัดค่าแอกติวิตี้ (a_w)

3.2.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- 3.2.5.1 ethanol (Merck ; Darmstadt, Germany)
- 3.2.5.2 glacial acetic acid (Analytical grade)
- 3.2.5.3 hydrochloric acid (HCL) (Analytical grade)

- 3.2.5.4 boric acid (Rankem, India)
- 3.2.5.5 sodium hydroxide (NaOH) (Analytical grade)
- 3.2.5.6 potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) (Analytical grade)
- 3.2.5.7 sodium phosphate
- 3.2.5.8 petroleum ether (Rcilabscan, Thailand)
- 3.2.5.9 sodium potassium tartrate
- 3.2.5.10 sulfuric acid (Analytical grade)
- 3.2.5.11 acetone (Analytical grade)
- 3.2.5.12 sodium carbonate ($NaCO_2$) (Analytical grade)
- 3.2.5.13 sodium nitrite ($NaNO_2$) (Analytical grade)
- 3.2.5.14 aluminum chloride hexahydrate ($AlCl_3 \cdot 6H_2O$) (Analytical grade)
- 3.2.5.15 Iodine solution
- 3.2.5.16 gallic acid (Sigma-Aldrich Fine Chemicals (St. Louis, MO))
- 3.2.5.17 potassium hydroxide (KOH) (Analytical grade)
- 3.2.5.18 distilled water
- 3.2.5.19 oil
- 3.2.5.20 petroleum ether (Rcilabscan, Thailand)

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบหลัก และคุณภาพของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นตำหรับ

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์ โดย
การเตรียมตัวอย่าง

1) ข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์

เตรียมข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์จาก วิสาหกิจชุมชนบ้านหม้อ จังหวัดร้อยเอ็ด นำข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์แช่น้ำอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปปั่นให้ละเอียด จากนั้นนำน้ำนมข้าวหอมมะลิ ทำให้แห้งโดยการทำแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงร่อนที่ 80 mesh และนำตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

การศึกษาคูณสมบัติกายภาพ

- 1) ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta chroma meter รุ่น (CR-400)

2) ค่า water activity (a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่าอวอเตอร์แอคทีวิตี

(water activity meter)

3) ทดสอบคุณสมบัติของข้าวสารหอมมะลิ โดยใช้เครื่อง Ravid Visco Analyser (RVA) ตามวิธีการของ Newport Scientific Pty, Ltd., 1995

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี

- 1) ปริมาณความชื้น (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)
- 2) ปริมาณโปรตีน (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)
- 3) ปริมาณไขมัน (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)
- 4) ปริมาณเถ้า (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)
- 5) ปริมาณเส้นใย (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)
- 6) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)
- 7) phytosterol content โดยวิธี GC-MS (Panfili et al., 2003)

2. ศึกษาคุณลักษณะทั่วไปของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

การเตรียมตัวอย่าง

คัดเลือกผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด จำนวน 3-5 ผลิตภัณฑ์ โดยเพื่อหาสูตรเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีปริมาณไขมันต่ำ ทำการศึกษาส่วนแบ่งการตลาดเบื้องต้น และนำตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

- 1) ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta chroma meter รุ่น (CR-400)
- 2) ค่า water activity (a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่าอวอเตอร์แอคทีวิตี

(water activity meter)

3) ความสามารถในการละลาย ดัดแปลงจากวิธีการของ (Schoch 1964)

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์

- 1) ปริมาณความชื้น (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)
- 2) ปริมาณไขมัน (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)

การศึกษาคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีการทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale) และการทดสอบความชอบแบบการจัดลำดับ (ranking test) (ไพโรจน์ วิริยจรี 2545)

ตาราง 3.6 สูตรต้นแบบที่ของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงในท้องตลาด

Ingredients proportion (%)	
Palm oil	34
Sodium caseinate	2
Glucose syrup	58
Other	6
Emulsifier(INS471, INS472e)	
Anticaking agent (INS551)	
Stabilizer (INS340(ii), INS451(i))	
Colouring (INS160a(ii))	

หมายเหตุ : INS471 = Mono- and diglycerides of fatty acids (glyceryl monostearate, glyceryl distearate), INS472e = Mono- and diacetyl tartaric acid esters of mono- and diglycerides of fatty acids, INS551 = Silicon dioxide, amorphous, INS340(ii) = Dipotassium hydrogen phosphate; Dipotassium monophosphate; Dipotassium phosphate; Dipotassium acid phosphate; Secondary potassium phosphate; Dipotassium hydrogen orthophosphate; Dipotassium hydrogen monophosphate, INS: INS451(i) = Pentasodium triphosphate, Sodium triphosphate, Sodium tripolyphosphate, Triphosphate, E160a=Alpha carotene, Beta carotene, Gamma carotene

3.3.2 การทดลองที่ 2 การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ศึกษาการเติมปริมาณข้าวหอมมะลิและปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน และพัฒนาผลิตภัณฑ์สูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสม

1. ศึกษาการเติมปริมาณข้าวหอมมะลิและปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน และพัฒนาผลิตภัณฑ์สูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสม

ทำการวางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design ได้ทั้งหมด 13 สิ่งทดลอง แสดงดังตาราง

3.2

พูนุ ปณุกิตโต ชิง

ตาราง 3.7 แสดงปริมาณข้าวหอมมะลิ และสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design

Treatments	Factor levels		
	X_1	X_2	X_3
1	0.95	0.00	0.05
2	0.88	0.05	0.08
3	0.90	0.05	0.05
4	0.88	0.08	0.05
5	0.85	0.10	0.05
6	1.00	0.00	0.00
7	0.95	0.05	0.00
8	0.90	0.00	0.10
9	0.85	0.05	0.10
10	0.80	0.10	0.10
11	0.93	0.03	0.05
12	0.93	0.05	0.03
13	0.90	0.10	0.00

หมายเหตุ : X_1 = ปริมาณข้าวหอมมะลิ, X_2 = ปริมาณคาร์ราจีแนน, X_3 = ปริมาณพอลิซอร์เบต 60

การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์จาก วิสาหกิจชุมชนบ้านหม้า จังหวัดร้อยเอ็ด นำข้าวสารหอมมะลิแช่น้ำอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปป่นให้ละเอียด เป็นนํ้านมข้าวหอมมะลิ แล้วทำการหาปริมาณนํ้านมข้าวหอมมะลิ ปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ร้อยละ 0.5 โดยวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม โดยวิธี Mixture design กำหนดปัจจัยประกอบด้วย ปริมาณนํ้านมข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 40-50 ร่วมกับสารให้ความคง 2 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน (carrageenan) ร้อยละ 0-5 และ พอลิซอร์เบต 60 (polysorbate 60) ร้อยละ 0 -5 ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ เลซิทีน ร้อยละ 0.5 เติมในครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน และนำไปสู่ผลิตภัณฑ์สูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสมต่อไป

การกระบวนการทำครีมเทียม

จากการคัดเลือกสูตรมาตรฐานในการทดลองที่ 1 แล้ว จากนั้นทำการหาปริมาณข้าวหอมมะลิ ปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ร้อยละ 0.5 วางแผนการทดลอง เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม โดยวิธี Mixture design กำหนดปัจจัยประกอบด้วย ปริมาณน้ำมันข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 40-50 ร่วมกับสารให้ความคง 2 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน (carrageenan) ร้อยละ 0-5 และ พอลิซอร์เบต 60 (polysorbate 60) ร้อยละ 0 -5 ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ คือ เลซิทีน ร้อยละ 0.5 เพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสมและดีที่สุดเพียงสูตรเดียว จากนั้นทำการผสมตามสูตรส่วนประกอบ โดยเตรียมสารละลายส่วนของเหลวในน้ำมัน โดยกวนผสมที่ 100 rpm นาน 5 นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นละลายส่วนผสมที่เป็นของแข็งลงในน้ำ โดยกวนผสมที่ 100 rpm นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วเทส่วนผสมที่เตรียมไว้ผสมให้เข้ากัน โดยควบคุมอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ปั่นผสมด้วยความเร็วสูง 19,000 รอบต่อนาที ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์แกนหมุน (ULTRA-TURRAX รุ่น T 25 basic) จากนั้นลดอุณหภูมิลง แล้วนำไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมเข้า 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออก 100 องศาเซลเซียส (Hedayatnia, Simin 2016) จากนั้นการวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

การศึกษาคุณสมบัติกายภาพ

- 1) วัดค่าสี โดยใช้เครื่อง chromatometer (minolta; model - CR-400)
- 2) ความหนืด โดย brookfield viscometer
- 3) ความคงตัว (stability index)
- 4) ความสามารถในการละลาย ดัดแปลงวิธีการ Schoch 1964
- 5) ค่า water activity (a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่าอเตอร์แอคทีวิตี (water activity meter)

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี

- 1) ปริมาณความชื้น (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)
- 2) ปริมาณไขมัน (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)

3.3.3 การทดลองที่ 3 พัฒนาระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

จากการคัดเลือกปริมาณน้ำนมข้าวหอมมะลิ ปริมาณสารให้ความคงตัวที่เหมาะสมในการทดลองที่ 2 จะได้สูตรที่เหมาะสมและดีที่สุดเพียงสูตรเดียว จากนั้นนำสูตรที่เหมาะสม มาพัฒนาระบวนการที่เหมาะสม โดยใช้กระบวนการทำแห้งได้แก่ กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) และการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ดังนี้

กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งครีมเทียมที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งให้ความชื้น ไม่เกินร้อยละ 5 และค่า a_w ไม่เกินร้อยละ 0.6

การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ใช้อุณหภูมิในการทำแห้งครีมเทียม โดยอุณหภูมิลมเข้า 3 ระดับ คือ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออก 100 องศาเซลเซียส

จากนั้นคัดเลือกกระบวนการที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิจากการวิเคราะห์คุณภาพในการทดลองที่ 4 ต่อไป

3.3.4 การทดลองที่ 4 ประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

จากการคัดเลือกกระบวนการที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ในการทดลองที่ 3 นำมาวิเคราะห์คุณภาพต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงทางท้องตลาด ดังนี้

การศึกษาคุณสมบัติกายภาพ

1) วัดค่าสี โดยใช้เครื่อง chromatometer (Minolta; Model CR-400)

2) ค่า water activity (a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่าออสโมเตอร์แอคทีวิตี (water activity meter)

3) ความสามารถในการละลาย ดัดแปลงวิธีการ Schoch 1964

4) ความหนืด (brookfield viscometer)

5) ความคงตัว (stability index)

6) ความหนาแน่นบรรจุ (bulk density) ดัดแปลงวิธีการ Nezbed, R., & Zamzow 1973; Choi, et al. 1982 ; World Health Organization 2012

7) ขนาดของอนุภาค (particle size) ดัดแปลงวิธีการ สายพิณ ฐานชฌมาสัย และสิริชัย ส่งเสริมพงษ์ 2550

การศึกษาคุณสมบัติเคมี

- 1) ปริมาณความชื้น (ตามวิธีของ AOAC, 2000)
- 2) ปริมาณโปรตีน (ตามวิธีของ AOAC, 2000)
- 3) ปริมาณไขมัน (ตามวิธีของ AOAC, 2000)
- 4) ปริมาณเถ้า (ตามวิธีของ AOAC, 2000)
- 5) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ตามวิธีของ AOAC, 2000)
- 6) fatty acid โดยวิธี GC (Wanyo, *et al.* 2016)

การศึกษาคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

1) ทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีการทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale)

2) ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีการทดสอบแบบเชิงพรรณนา (descriptive test) คัดเลือกกลุ่มผู้ทดสอบที่จำนวน 30 คน ทดสอบคุณภาพด้านการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนา (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) โดยทำการทดสอบ ดังนี้

ตอนที่ 1 แบบประเมินทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 7 –point hedonic scaling เพื่อใช้ในการคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุด

ตอนที่ 2 ทดสอบทางประสาทสัมผัส scoring test แบบสอบถามเชิงพรรณนา

3.3.5 การทดลองที่ 5 การศึกษาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

จากการคัดเลือกผลิตภัณฑ์สุดท้าย ในการทดลองที่ 4 โดยการวิเคราะห์คุณภาพต่อผลิตภัณฑ์เพื่อคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงทางท้องตลาด จากนั้นทำการศึกษาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาในสภาวะเร่ง คือที่อุณหภูมิ 45 °C และ 55 °C เป็น เวลา 120 วัน เทียบกับสภาวะอุณหภูมิบรรยากาศ โดยทำการวัดทุก 10 วัน ตามวิธีของ (Decker *et al.*, 2010 and El-Magoli *et al.*, 1980) โดยวัดค่าสี (L*) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity, a_w) (AOAC, 2000) ไม่เกิน 0.6 (คุณสมบัติสำคัญและลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คืออาหารแห้ง เป็นอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ต่ำ (low water activity food) มีค่า water activity น้อยกว่า 0.6 เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ทั้งรา ยีสต์ และแบคทีเรีย (Jay M.James. 1998) ค่าการหืนโดยวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value,PV) ซึ่งมีค่าความเหม็นหืนอยู่ในระดับมาตรฐาน ค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน ร้อยละ 10 meq Oxygen / kg. ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำมันและไขมัน

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็นดังนี้

- 3.4.1 นำข้อมูลที่ได้มาหาค่า เฉลี่ยร้อยละและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- 3.4.2 สรุปผลการวิเคราะห์และรายงานในรูปตารางและกราฟ

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิจัยข้อมูลดังนี้

3.5.1 สถิติพื้นฐานได้แก่

3.5.1.1 ค่าเฉลี่ย

3.5.1.2 ร้อยละ

3.5.1.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.5.2 สถิติที่ใช้สำหรับผลข้อมูลการวิจัยทางกายภาพและเคมีวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด Completely Randomized Design (CRD) ส่วนข้อมูลทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกอย่างสมบูรณ์ Randomized Completely Block Design (RCBD) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range test (DMRT) ที่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p value < 0.05))



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

ผู้วิจัยได้เสนอการวิเคราะห์ข้อมูลและแปลความหมายของข้อมูลเป็นลำดับขั้นดังนี้

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.2 ลำดับขั้นในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

SD	แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard Deviation)
\bar{X}	แทนค่าเฉลี่ย
df	แทนระดับความเสรี (degrees of freedom)
F	แทนสถิติทดสอบที่ใช้พิจารณา F-distribution
P	แทนความน่าจะเป็นไปทางสถิติ (probability)

4.2 ลำดับขั้นในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการทดลองผู้ทดลองได้ดำเนินการเสนอผลการทดลองตามลำดับ ดังนี้

4.2.1 การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบหลัก และคุณภาพของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นตำหรับ

4.2.2 การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ศึกษาการเติมปริมาณข้าวหอมมะลิและปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน และพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสม โดยทำการหาปริมาณน้ำมันข้าวหอมมะลิ ปริมาณสารให้ความคงตัว วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design กำหนดปัจจัยประกอบด้วย โดยใช้ปริมาณน้ำมันข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 40-50 ร่วมกับสารให้ความคง 2 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน (carrageenan) ร้อยละ 0-5 และ พอลิซอร์เบต 60 (polysorbate 60) ร้อยละ 0 -5 ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ เลซิธิน ร้อยละ 0.5 สามารถในครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน

4.2.3 พัฒนาระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ โดยใช้กระบวนการทำแห้งได้แก่ กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air

oven) ใช้การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส และการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ใช้อุณหภูมิลมเข้า 3 ระดับ คือ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออก 100 องศาเซลเซียส

4.2.4 ประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

4.2.5 การศึกษาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาในสภาวะเร่ง คือที่อุณหภูมิ 45 °C และ 55 °C เป็น เวลา 120 วัน เทียบกับสภาวะอุณหภูมิบรรยากาศ

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบหลัก และคุณภาพของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นตำหรับ

4.3.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบหลัก (ข้าวหอมมะลิอินทรีย์)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ในข้าวหอมมะลิอินทรีย์ ประกอบด้วย ค่าสี (L^*, a^*, b^*) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และคุณสมบัติของข้าวสารหอมมะลิ โดยใช้เครื่อง ravid visco analyser (RVA)

ตาราง 4.8 คุณสมบัติกายภาพของข้าวหอมมะลิอินทรีย์

Parameters		
Water activity (a_w)		0.272±0.0
Color	L^*	94.4±0.1
	a^*	-4.85±0.12
	b^*	7.95±0.32

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตาราง 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพในข้าวหอมมะลิอินทรีย์ พบว่ามีค่าวอเตอร์แอกติวิตี a_w เท่ากับ 0.27 รวมไปถึงค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 94.39 ค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ -4.85 และค่าสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 7.95

ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งดิบ ได้แก่ ค่า peak viscosity, final viscosity, set back และ pasting temperature ดังนี้

ตาราง 4.9 ผลการวัดค่าความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ

Parameters	
Peak viscosity (RVU)	277.7±3.8
Final viscosity (RVU)	381.2±3.7
Set back (RVU)	174.2±4.9
Pasting temperature (°C)	88.0±1.9

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตาราง 4.9 final viscosity ความหนืดสุดท้ายของการวิเคราะห์ พบว่าแป้งข้าวหอมมะลิ มีค่าความหนืด เท่ากับ 381.24 มี set back หรือค่าความหนืดหลังแป้งคืนตัว เท่ากับ 174.19 และมี pasting temperature คืออุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดหรืออุณหภูมิการเกิดเจล ถึง 88 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ในข้าวหอมมะลินทรีย์ ประกอบด้วย ความชื้น ไขมัน เส้นใย โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต รวมทั้ง ดังนี้

ตาราง 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวหอมมะลินทรีย์

Parameters	
Moisture (g/100g)	2.13±0.02
Fat (g/100g)	1.09±0.13
Protein (g/100g)	6.28±0.16
Fiber (g/100g)	0.61±0.02
Ash (g/100g)	0.28±0.00
Carbohydrate (g/100g)	89.61±0.28
Phytosterol (µg/g DW)	
Octacosanol	5.28±0.47
Squalane	9.49±0.10
Campesterol	nd
Beta-Sitosterol	nd

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

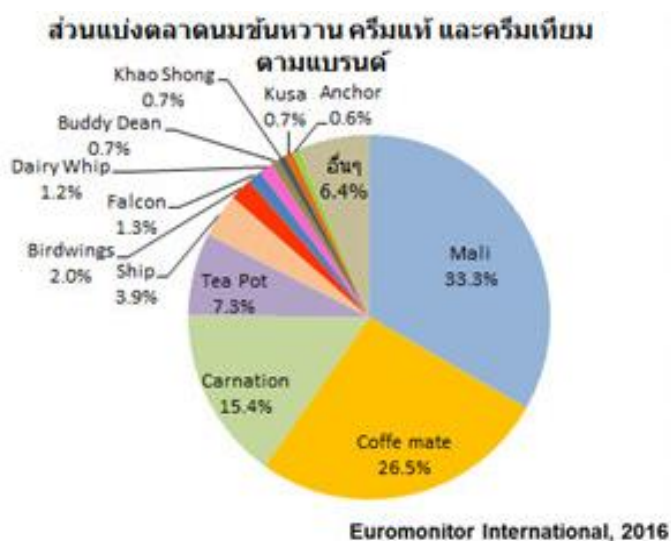
จากตาราง 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในข้าวหอมมะลิอินทรีย์ พบว่า ปริมาณความชื้น (moisture content) เท่ากับ 2.13 g/100g ไขมัน (fat) เท่ากับ 1.09 g/100g โปรตีน (protein) เท่ากับ 6.28 g/100g เส้นใย (fiber) เท่ากับ 0.61g/100g เถ้า (ash) เท่ากับ 0.28 g/100g และคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เท่ากับ 89.61g/100g รวมทั้งกลุ่มสารไฟโตสเตอรอล (phytosterols) พบชนิดของสาร ได้แก่ octacosanol เท่ากับ 5.28 µg/g DW และ squalane เท่ากับ 9.49 µg/g DW ตามลำดับ ซึ่งจากคำแนะนำสำหรับคณะกรรมการอาหารและยา ประเทศสหรัฐอเมริกาได้แนะนำปริมาณการบริโภคที่เหมาะสม ของสารกลุ่มสเตอรอลที่รับประทานพร้อม อาหารอยู่ที่ 2 กรัมต่อวัน พบว่ามีการลดลงของระดับ LDL cholesterol เพิ่มขึ้นจากการใช้ยาเพียง อย่างเดียว และควรแบ่งบริโภคย่อยเป็น 2-3 ส่วนต่อวันเพื่อป้องกันการขัดขวางการดูดซึมของ สารอาหารชนิดอื่น

4.3.1.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะทั่วไปของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

ผลการศึกษาคุณลักษณะทั่วไปของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ในปี 2559 ที่ผ่านมา ซึ่งจะเห็นได้ว่าในประเทศไทย ตลาดของผลิตภัณฑ์ครีมเทียม มีมูลค่าอยู่ ประมาณ 3,200 ล้านบาท มีการเติบโตเพิ่มขึ้น ร้อยละ 33.1 จากปีที่ผ่านมา จากการศึกษาส่วนแบ่ง การตลาดตามแบรนด์ ที่มีการบริโภคผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง ที่มีส่วนแบ่งการตลาดตามแบรนด์สูงสุด จำนวน 3 แบรนด์ ได้แก่ commercial 1, 2 และ commercial 3 (ข้อมูลจาก Euromonitor international 2016) นั่นคือผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมดื่มเครื่องดื่มที่มีรสชาติหวานมัน จึงมีการเติมครีม เทียม หรือแม้กระทั่งนมข้นหวานลงในเครื่องดื่ม เช่น ชา กาแฟ นม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม กระแส สำหรับคนรักสุขภาพมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ มีความใส่ใจในการเลือกรับประทานอาหารและมองหา สินค้าที่เสริมในเรื่องสุขภาพมากขึ้น โดยน้ำตาลเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่คุณบริโภคต้องการหลีกเลี่ยงและลด การบริโภคให้น้อยลง ดังนั้นผู้บริโภคจึงมีความสนใจที่จะเลือกหาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมที่มีความหวาน น้อย รวมทั้งไขมันต่ำ นั่นเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยและผู้ประกอบการเล็งเห็น โดยไม่มองข้ามกระแสความนิยมนี้ และมุ่งเน้นพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคมมากขึ้น แสดงในภาพประกอบ

4.2

พูน ปณ ทั โต ชีเว



ภาพประกอบ 4.2 ส่วนแบ่งตลาดชั้นหวาน ครีมเทียม และครีมเทียม ตามแบรนด์, 2016

ที่มา : <http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=157>

จากภาพประกอบ 4.2 นำผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ได้แก่ commercial 1, 2 และ commercial 3 มาวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

วิเคราะห์คุณสมบัติกายภาพ ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด จำนวน 3 แบรินด์ ได้แก่ commercial 1, 2 และ commercial 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด จำนวน 3 แบรินด์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) พบว่า แบรินด์ commercial 2 มีค่าสูงสุด รองลงมา คือแบรินด์ และ commercial 3 และ commercial 1 ตามลำดับ ประกอบด้วย ค่าสี (L^*, a^*, b^*) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และความสามารถในการละลาย

ตาราง 4.11 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

Commercial creamer	a_w	Color			Solubility ^{ns} %
		L^*	a^*	b^*	
Commercial 1	0.276±0.00 ^c	95.40±0.31 ^b	-5.58±0.09 ^a	13.91±0.11 ^b	94.53±1.53
Commercial 2	0.359±0.00 ^a	95.35±0.08 ^b	-5.97±0.03 ^b	19.27±0.24 ^a	93.33±1.15
Commercial 3	0.310±0.00 ^b	96.76±0.22 ^a	-5.64±0.03 ^a	12.52±0.14 ^c	94.00±1.00

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ^{a,b,c}...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ^{ns} ...อักษรที่ไม่มีความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเคมี ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด จำนวน 3 แบรินด์ ได้แก่ commercial 1 ,2 และ commercial 3 ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น พบว่า ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง แบรินด์ commercial 1 มีปริมาณความชื้นสูงเท่ากับ 4.86 (g/100g) รองลงมาคือ แบรินด์ commercial 3 เท่ากับ 4.45 (g/100g) และแบรินด์ที่มีปริมาณความชื้นต่ำสุดคือ commercial 2 เท่ากับ 2.37(g/100g) และมีไขมัน พบว่า แบรินด์ commercial 2 มีปริมาณสูงสุด เท่ากับ 44.16 (g/100g) รองลงมาคือ แบรินด์ commercial 1และแบรินด์ commercial 3 ตามลำดับแสดงดังตาราง 4.12

ตาราง 4.12 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

Commercial creamer	Moisture (g/100g)	Fat ^{ns} (g/100g)
Commercial 1	4.86±0.07 ^a	43.94±0.18
Commercial 2	2.37±0.04 ^c	44.16±1.12
Commercial 3	4.45±0.03 ^b	43.38±0.54

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ^{a,b,c}...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ^{ns}....อักษรที่ไม่มีความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด จำนวน 3 แบรินด์ ได้แก่ commercial 1 Commercial 2 และ Commercial 3 โดยใช้วิธีการทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale) ประกอบด้วย คุณลักษณะด้านสี (colour) กลิ่นรสชาติ (flavor/taste) ความมันวาว (oiliness) ความเป็นเนื้อเดียวกัน (smoothness) และความชอบโดยรวม (overall preference) พบว่า ทั้ง 3 แบรินด์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยจะเห็นได้ว่าแบรินด์ Commercial 1 ได้รับความชอบโดยรวมสูงสุด รองลงมาคือ แบรินด์ Commercial 3 และ Commercial 2 ตามลำดับ แสดงดังตาราง 4.13

ตาราง 4.13 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale)

Commercial creamer	Attribute ^{ns}				Overall Preference
	Colour	Flavor/ taste	oiliness	Smoothness	
Commercial 1	6.20±1.07	6.53±0.63	6.07±1.08	6.27±1.10	6.47±1.04
Commercial 2	6.07±1.09	6.20±0.93	6.00±1.05	6.27±1.20	6.27±1.26
Commercial 3	6.13±1.04	6.33±1.03	6.13±1.11	6.20±1.00	6.40±1.04

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ^{ns}อักษรที่ไม่มีความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้การทดสอบความชอบแบบการจัดลำดับ (ranking test) พบว่า แบรินด์ที่ได้รับจำนวนผู้ทดสอบเลือกเป็นลำดับที่ 1 คือแบรินด์ commercial 1 และ commercial 3 ซึ่งมีจำนวนผู้ทดสอบเท่ากัน จำนวน 16 คน และ commercial 2 มีจำนวนผู้ทดสอบเลือก จำนวนใกล้เคียงกันคือ 14 คน จากผู้ทดสอบ 30 คนแสดงดังตาราง 4.14-4.15

ตาราง 4.14 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ทดสอบความชอบแบบการจัดลำดับ (Ranking test)

Panelist	Commercial 1	Commercial 2	Commercial 3
P1	3	1	1
P2	1	1	1
P3	1	1	1
P4	1	1	1
P5	1	1	2
P6	1	1	2
P7	1	2	2
P8	3	2	1
P9	2	2	1
P10	1	2	1

ตาราง 4.15 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ทดสอบความชอบแบบการจัดลำดับ (Ranking test) (ต่อ)

Panelist	Commercial 1	Commercial 2	Commercial 3
P11	1	3	1
P12	2	1	1
P13	2	1	2
P14	1	1	2
P15	2	1	2
P16	2	2	2
P17	2	1	3
P18	1	3	1
P19	1	1	3
P20	1	2	2
P21	1	1	2
P22	1	1	1
P23	2	2	2
P24	2	2	3
P25	1	3	3
P26	1	3	1
P27	2	3	1
P28	2	3	1
P29	2	3	1
P30	2	3	1
Total	46	54	48

หมายเหตุ : P = Panelist ผู้ทดสอบชิม, 1 = First ลำดับที่หนึ่ง, 2 = Second ลำดับที่สอง, 3 = Third ลำดับที่สาม

ในการวิเคราะห์ผลของการจัดลำดับจะถูกนำมาเปลี่ยนเป็นคะแนนตามวิธีของ Fisher and Yates ในภาคผนวก จ.76 ตัวอย่างที่ได้ลำดับแรกจะมีค่าเป็น 0.85 ตัวอย่างที่ให้ลำดับรองลงมาจะมีค่าเป็น 0 และตัวอย่างที่ให้ลำดับสุดท้ายจะมีค่าเป็น -0.85

ตาราง 4.16 การเปลี่ยนข้อมูลการหาความแตกต่างโดยวิธี Ranking test ตามวิธีของ Fisher and Yates (1942)

Panelist	Commercial 1	Commercial 2	Commercial 3
P1	-0.85	+0.85	+0.85
P2	+0.85	+0.85	+0.85
P3	+0.85	+0.85	+0.85
P4	+0.85	+0.85	+0.85
P5	+0.85	+0.85	0
P6	+0.85	+0.85	0
P7	+0.85	0	0
P8	-0.85	0	+0.85
P9	0	0	+0.85
P10	+0.85	0	+0.85
P11	+0.85	-0.85	+0.85
P12	0	+0.85	+0.85
P13	0	+0.85	0
P14	+0.85	+0.85	0
P15	0	+0.85	0
P16	0	0	0
P17	0	+0.85	-0.85
P18	+0.85	-0.85	0.85
P19	+0.85	+0.85	-0.85
P20	+0.85	0	0
P21	+0.85	+0.85	0
P22	+0.85	+0.85	+0.85
P23	0	0	0
P24	0	0	-0.85
P25	+0.85	-0.85	-0.85
P26	+0.85	-0.85	+0.85
P27	0	-0.85	+0.85

ตาราง 4.17 การเปลี่ยนข้อมูลการหาความแตกต่างโดยวิธี Ranking test ตามวิธีของ Fisher and Yates (1942) (ต่อ)

Panelist	Commercial 1	Commercial 2	Commercial 3
P28	0	-0.85	+0.85
P29	0	-0.85	+0.85
P30	0	-0.85	+0.85
Total	+11.90	+5.10	+10.20
Average total	+0.39	+0.17	+0.34

ตัวอย่างที่ให้ลำดับแรก (first) = +0.85

ตัวอย่างที่ให้ลำดับสอง (second) = 0

ตัวอย่างที่ให้ลำดับสาม (third) = -0.85

คะแนนที่ได้จะนำ มาวิเคราะห์หว่าเรียนซ์

Correction factor (CF) = $27.20^2/90$

$$= 739.84/90$$

$$= 8.22$$

Samples SS

$$= [(11.90^2 + 5.10^2 + 10.20^2)]/30 - 8.22$$

$$= (271.66/30) - 8.22$$

$$= 0.83$$

Judges Sum of Square; JSS = $52.0^2/3 - 8.22$

$$= 9.12$$

Total SS

$$= [-0.85^2 + 0.85^2 + 0.85^2 + \dots + 0.85^2] - 8.22$$

$$= 35.13$$

ตาราง 4.18 การวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ของการทดสอบหาความแตกต่างโดยวิธี Ranking test

Source of variation	Df	SS	MS	F-test
Samples	2	8.22	4.11	13.40
Panelists	29	9.12	0.31	1.03
Error	58	17.79	0.31	
Total	89	35.13		

จากตาราง 4.18 พบว่าค่า df เท่ากับ 2 (numerator) และเท่ากับ 58 (denominator) ในตารางแสดงค่า F-value ในตารางภาคผนวก จ.77- จ.85 แสดงว่าค่า F-value จะต้องมากกว่า 3.16 จึงจะมีความแตกต่างที่ความเป็นไปได้ 0.05 ($P \leq 0.05$) และจะต้องมากกว่า 4.99 จึงจะมีความแตกต่างที่ความเป็นไปได้ 0.01 ($P \leq 0.01$) (ภาคผนวก จ.77- จ.85) และจากการคำนวณค่า F-value เป็น 13.40 ดังนั้นสิ่งทดลองที่ทำการศึกษา มีความแตกต่างที่ความเป็นไปได้ 0.01 ($P \leq 0.01$)

ดังนั้นหาความแตกต่างต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ โดยวิธีการทดสอบจะใช้ Tukey's test ดังนี้

คะแนนของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์

commercial 1	commercial 2	commercial 3
+11.9	+5.1	+10.2

คะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์

commercial 1	commercial 2	commercial 3
+0.39	+0.17	+0.34

คะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ถูกเรียงใหม่จากมากไปหาน้อย ดังนี้

commercial 1	commercial 3	commercial 2
+0.39	+0.34	+0.17

$$\begin{aligned} SE &= \sqrt{\text{Mean square of error} / \text{Number of judgments for each sample}} \\ &= \sqrt{0.306 / 30} \\ &= 0.101 \end{aligned}$$

ค่า the least significant difference สามารถใช้ได้จากรายการ 4.18 ภาคผนวก จ.86-จ.87 จากการวิเคราะห์ครั้งนี้ มีสิ่งทดลอง 3 สิ่งการทดลอง และมี df of error เป็น 58 ดังนั้นค่าที่ได้รับจากรายการ 4.18 ภาคผนวก จ.86-จ.87 เป็น 3.40 the least significant difference สามารถคำนวณได้จากการนำ 3.40 คูณด้วยค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ดังกล่าวข้างต้น $\text{least significant difference} = 3.40 \times 0.101 = 0.343$ ดังนั้นค่าที่สามารถเปรียบเทียบของตัวอย่างมีค่าความแตกต่างมากกว่าค่า 0.343 แสดงว่ามีความแตกต่างที่ความเป็นไปได้ 0.05

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ทั้ง 3 แบรินด์ ดังนี้

	commercial 1	commercial 3	commercial 2
	+0.39	+0.34	+0.17
C1-C2	0.39-0.17	= 0.23	<0.34
C1-C3	0.39-0.34	= 0.06	<0.34
C3-C1	0.39-0.17	= 0.17	<0.34

หมายเหตุ : C1= commercial 1, C2= commercial 2, C3= commercial 3

จากการคำนวณพบว่าผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ ทั้งที่ 3 ผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ได้รับการยอมรับ ทั้ง 3 แบรินด์ ซึ่งจะเห็นได้ว่า commercial 1 ได้รับค่าผลรวมเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ commercial 2 commercial 3 ตามลำดับ

ดังนั้น จากผลการศึกษาร่วมแบ่งการตลาดตามแบรินด์ที่มีการบริโภคผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีส่วนแบ่งการตลาดตามแบรินด์สูงที่สุด พบว่า แบรินด์ commercial 1 ร้อยละ 25 commercial 2 ร้อยละ 0.7 และ commercial 3 ร้อยละ 0.7 (ข้อมูลจาก Euromonitor international 2016) และผลการศึกษาคุณลักษณะทั่วไปของครีมเทียมผงที่มีจำหน่าย พบว่า แบรินด์ commercial 1 มี a_w ต่ำที่สุด และมีค่าการละลายสูงที่สุดถึง ร้อยละ 95 และเมื่อทำการทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale) และทดสอบความชอบแบบการจัดลำดับ (ranking test) พบว่าได้รับคะแนนความชอบโดยรวม และจำนวนเฉลี่ยผู้ทดสอบรวมสูงสุด (+0.39) และมีส่วนแบ่งการตลาดสูงถึง ร้อยละ 25 ท ดังนั้นจึงแบรินด์ที่คัดเลือกเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์สูตรต้นแบบต้น ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ คือ แบรินด์ commercial 1 โดยมีอ้างอิงร่วมกับงานวิจัย Hedayatnia, Simin 2016 สูตรเบื้องต้น แสดงในตาราง 4.19

พูน ปณ ทิโต ชีเว

ตาราง 4.19 สูตรต้นแบบเบื้องต้นที่เหมาะสม ผ่านการคัดเลือกของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงตาม
ท้องตลาด

Ingredients proportion (%)	
Water	34.82
Palm oil	34.23
Lecithin	0.5
Sodium caseinate	3.28
Maltodextrin	14.07
Inulin	2.34
Glucose syrup	7.03
Skim milk powder	2.34
Silicon dioxide	1

หมายเหตุ : สูตรเบื้องต้น ดัดแปลงร่วมกับงานวิจัย Hedayatnia, Simin 2016

4.3.2 ผลการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ศึกษาการเติมปริมาณข้าวหอมมะลิและปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน และพัฒนาผลิตภัณฑ์สูตรเป็นผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสม

วางแผนการทดลองโดยใช้ Mixture design แบบ user-defined design กำหนดปัจจัยประกอบด้วย โดยใช้ปริมาณข้าวหอมมะลิ (Hom Mali Rice) (X_1) ร้อยละ 40-50 ร่วมกับสารให้ความคง 2 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน (carrageenan) (X_2) ร้อยละ 0-5 และ พอลิซอร์เบต 60 (polysorbate 60) (X_3) ร้อยละ 0 -5 ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 13 สิ่งทดลอง (แสดงในตาราง 4.20) โดยเติมลงในครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน (แสดงในตาราง 4.19) แล้วคุณสมบัติกายภาพ ได้แก่ ความหนืด ความคงตัว (stability index) ความสามารถในการละลาย ค่าอวตอร์แอคติวิตี (a_w) ค่าสี (L^* , a^* , b^*) วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน และค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, PV.) ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว

ตาราง 4.20 แสดงปริมาณของส่วนผสมที่ใช้ในแต่ละการทดลอง

Treatments	Factor levels			Ingredient proportion (%)		
	X ₁	X ₂	X ₃	Hom Mali Rice	carrageenan	polysorbate 60
*1	1	0	0	50	0	0
2	0.95	0	0.05	47.5	0	2.5
3	0.95	0.05	0	47.5	2.5	0
4	0.93	0.03	0.05	46.3	1.3	2.5
5	0.93	0.05	0.03	46.3	2.5	1.3
6	0.90	0.05	0.05	45	2.5	2.5
7	0.90	0	0.1	45	0	5
8	0.90	0.1	0	45	5	0
9	0.88	0.05	0.08	43.8	2.5	3.8
10	0.88	0.08	0.05	43.8	3.8	2.5
11	0.85	0.1	0.05	42.5	5	2.5
12	0.85	0.05	0.1	42.5	2.5	5
13	0.80	0.1	0.1	40	5	5

หมายเหตุ : X₁ = ปริมาณข้าวหอมมะลิ, X₂ = ปริมาณคาร์ราจีแนน, X₃ = ปริมาณพอลิซอร์เบต 60,
*... = สูตรควบคุม

1) ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนืด ความคงตัว ความสามารถในการละลาย ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และค่าสี (L*, a*, b*) ทั้ง 13 สิ่งทดลอง พบว่า ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 425.00-3330.67 cp ค่าความคงตัวอยู่ในช่วง ร้อยละ 94.00-99.50 ความสามารถในการละลาย อยู่ในช่วง ร้อยละ 79.33 - 88.33 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) อยู่ในช่วง 0.250-0.348 และค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 83.38-93.25 ค่าสีแดง (a*) อยู่ในช่วง -0.05 - -0.61 และค่าสีเหลือง (b*) อยู่ในช่วง 10.17-16.72 ตามลำดับ แสดงดังตาราง 4.21

ตาราง 4.21 คุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design

Treatments	Ingredient proportion (%)			Parameters (n=3)						
	X ₁	X ₂	X ₃	viscosity (cp)	Stability (%)	Solubility (%)	a _w	L*	a*	b*
*1	50	0	0	425.00±2.00	98.00±0.00	86.51±1.16	0.306±0.00	92.55±0.49	-0.42±0.07	10.17±0.47
2	47.5	0	2.5	1071.89±1.02	97.67±0.58	85.33±0.58	0.302±0.00	89.89±0.89	-0.56±0.01	11.23±0.37
3	47.5	2.5	0	3036.00±1.00	98.50±0.00	79.33±0.58	0.324±0.00	91.94±0.42	-0.05±0.05	12.11±0.70
4	46.3	1.3	2.5	3330.67±2.08	99.17±0.29	88.33±1.16	0.381±0.00	91.90±0.37	-0.26±0.15	13.85±3.73
5	46.3	2.5	1.3	2213.78±1.07	98.00±0.00	87.67±0.58	0.314±0.03	90.10±0.58	-0.25±0.18	12.47±0.99
6	45	2.5	2.5	3223.33±2.52	99.50±0.00	84.33±0.95	0.279±0.00	88.37±1.21	-0.24±0.08	12.17±0.55
7	45	0	5	776.89±1.02	94.00±0.00	85.67±0.58	0.258±0.01	88.62±1.10	-0.61±0.06	13.91±0.90
8	45	5	0	3018.44±1.50	97.50±0.00	85.00±1.00	0.348±0.00	89.75±0.08	-0.15±0.04	13.59±0.24
9	43.8	2.5	3.8	1796.67±1.15	98.00±0.00	85.67±0.58	0.260±0.01	86.37±1.58	-0.22±0.09	12.01±1.10
10	43.8	3.8	2.5	1981.55±1.73	99.50±0.00	84.33±0.58	0.275±0.00	88.42±0.48	-0.18±0.05	13.88±0.60
11	42.5	5	2.5	2752.00±1.00	99.50±0.00	84.67±1.15	0.281±0.01	93.25±0.25	-0.24±0.05	10.65±0.43
12	42.5	2.5	5	1783.22±3.02	99.00±0.00	87.33±0.58	0.252±0.01	84.53±0.12	-0.08±0.07	14.28±1.08
13	40	5	5	3114.89±2.01	98.00±0.00	88.00±0.00	0.250±0.00	83.38±0.15	-0.15±0.13	16.72±1.07

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, X₁ = ปริมาณข้าวหอมมะลิ, X₂ = ปริมาณคารรัจี่แนน, X₃ = ปริมาณพอลิซอร์เบต 60, *... = สูตรควบคุม

เมื่อนำค่าค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนืด ความคงตัว ความสามารถในการละลาย ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และค่าสี (L^* , a^* , b^*) มาทำการสร้างสมการถดถอยเพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุดด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert 7 และอธิบายความสัมพันธ์ค่าคุณภาพกับ ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณข้าวหอมมะลิ (X_1) ปริมาณคาร์ราจีแนน (X_2) และปริมาณพอลิซอร์เบต 60 (X_3) จากผลการวิเคราะห์ค่าการถดถอยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองความสัมพันธ์ค่าคุณภาพกับปัจจัยที่ทำการศึกษา ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สูตรเป็นผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำข้อมูลมาทำการสร้างสมการถดถอยที่เหมาะสมมากที่สุด ได้แก่ รูปแบบสมการเชิงเส้นตรง (linear model) รูปแบบสมการเชิงกำลังสามแบบพิเศษ (special cubic model) รูปแบบสมการเชิงกำลังสามทั้งหมด (full cubic model) โดยพิจารณาจากค่า P-value ที่มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก และสรุปได้ว่ามีอย่างน้อยหนึ่งพารามิเตอร์ไม่เป็นศูนย์ นอกจากนี้ค่า R-squared (R^2) และ adjusted R-squared (Adj. R^2) มีค่าสูงและมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำข้อมูลมาทำการสร้างสมการถดถอยที่เหมาะสมมากที่สุด และนำแบบจำลองของมาสร้างภาพแสดงพื้นผิวตอบสนอง ดังนี้

ตาราง 4.22 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน

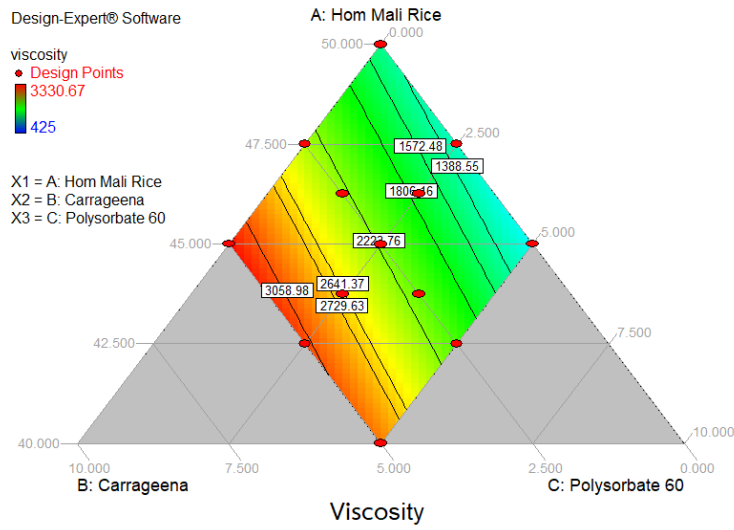
Parameters	Predicted model equations ^a	R^2	Adj. R^2	Model P-value
Viscosity	$Y1 = 1436.63X_1 + 5090.17X_2 + 813.26X_3$	0.4783	0.3739	0.0387*
Stability	$Y2 = 99.19X_1 + 88.56X_2 + 90.23X_3 + 13.81X_1X_2 - 0.62X_1X_3 + 35.19X_2X_3 + 28.80X_1X_2X_3$	0.8190	0.6897	0.0156*
Solubility	$Y3 = 84.04 X_1 + 83.52 X_2 + 90.29 X_3$	0.2493	0.0991	0.2384
a_w	$Y4 = 0.34X_1 + 0.31X_2 + 0.19 X_3$	0.5141	0.4169	0.0271*
L^*	$Y5 = 93.16X_1 + 89.21X_2 + 81.11X_3$	0.5973	0.5168	0.0106*

ตาราง 4.23 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง
สูตรมาตรฐาน (ต่อ)

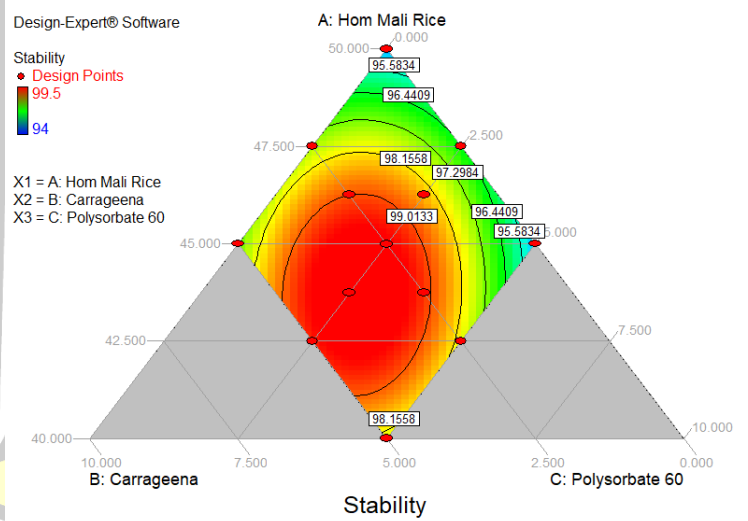
a*	$Y_6 = -0.41X_1 + 2.98X_2 - 1.62X_3 - 5.66X_1X_2 + 1.68X_1X_3 - 3.27X_2X_3 + 7.56X_1X_2X_3 + 5.69X_1X_2(X_1 - X_2) - 1.99X_1X_3(X_1 - X_3) - 9.49X_2X_3(X_2 - X_3)$	0.9253	0.8757	0.0398*
b*	$Y_7 = 9.89X_1 + 53.03X_2 + 64.47X_3 - 72.60X_1X_2 - 94.17X_1X_3 - 169.22X_2X_3 + 170.31X_1X_2X_3 + 59.16X_1X_2(X_1 - X_2) + 65.78X_1X_3(X_1 - X_3) - 32.27X_2X_3(X_2 - X_3)$	0.8849	0.5396	0.0625

หมายเหตุ : ^a สมการถดถอย: $Y_i = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_4X_1X_2 + \beta_5X_1X_3 + \beta_6X_2X_3$, Y_{1-3} = คุณสมบัติน้ำตาลในนม β = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอย โดย X_1 = ปริมาณข้าวหอมมะลิ, X_2 = ปริมาณคาร์ราจีแนน, X_3 = ปริมาณพอลิซอร์เบต 60 และ R^2 = สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ, *... = แบบจำลองสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ มีค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05

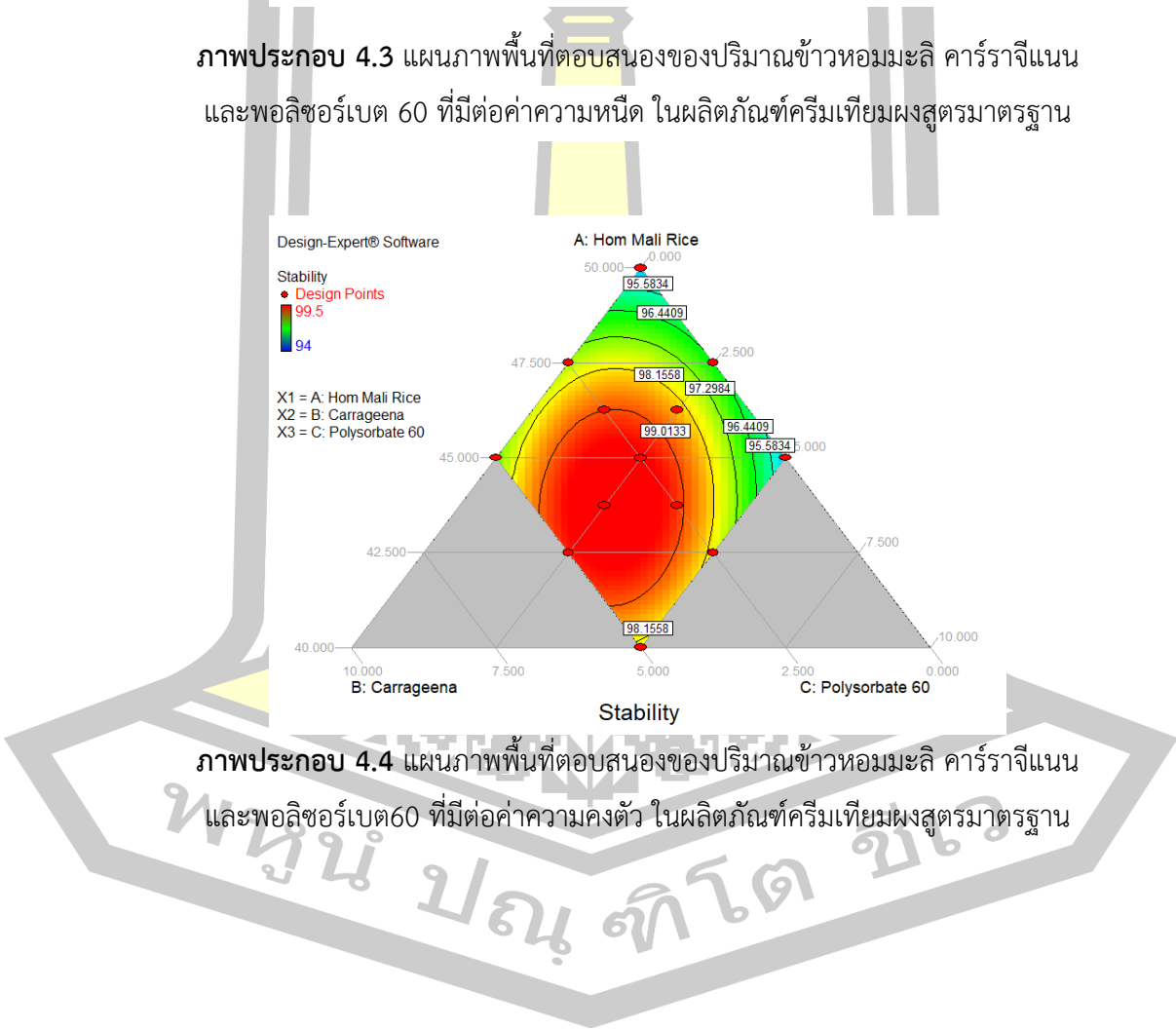
ผลการวิเคราะห์ค่าการถดถอยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาต่อความสามารถในการละลาย และค่าสีเหลือง (b*) ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ เนื่องจากแบบจำลอง มีค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 รวมทั้ง มีค่า R^2 (0.1199 และ 0.8849) และ Adj. R^2 (-0.0561 และ 0.5396) ซึ่งมีค่าที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของความสามารถในการละลาย และค่าสีเหลือง (b*) จึงไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ได้ ส่วนปัจจัยที่ศึกษาต่อค่าความหนืด ค่าความคงตัว ค่าออเตอร์แอคทีวิตี (a_w) และค่าสี (L* และ a*) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากแบบจำลอง มีค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 รวมทั้ง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.4783, 0.8190, 0.5141, 0.5973 และ 0.9253 รวมทั้งค่า Adj. R^2 เท่ากับ 0.3739, 0.6897, 0.4169, 0.5168 และ 0.8757 ซึ่งมีค่าสูงและมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด นั่นคือแบบจำลองของค่าความหนืด ค่าความคงตัว ค่าออเตอร์แอคทีวิตี (a_w) และค่าสี (L* และ a*) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ได้ดีถึง ร้อยละ 95 ดังแสดงใน ตาราง 4.18 และภาพแสดงพื้นผิวตอบสนอง ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3 ถึง 4.9

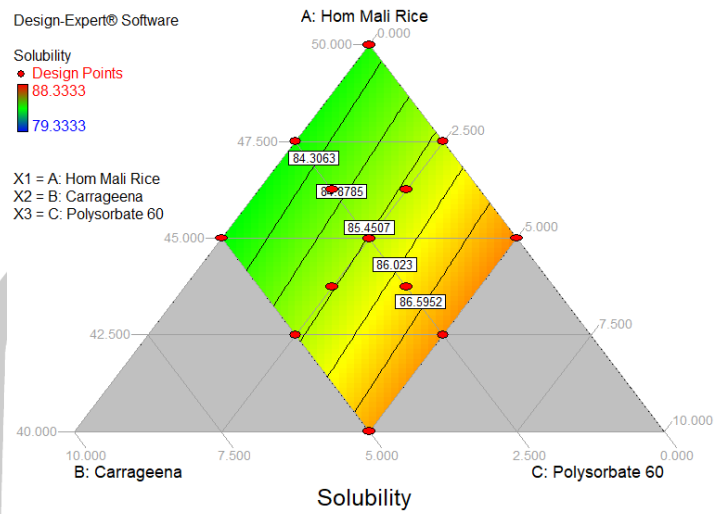


ภาพประกอบ 4.3 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่มีต่อค่าความหนืด ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน

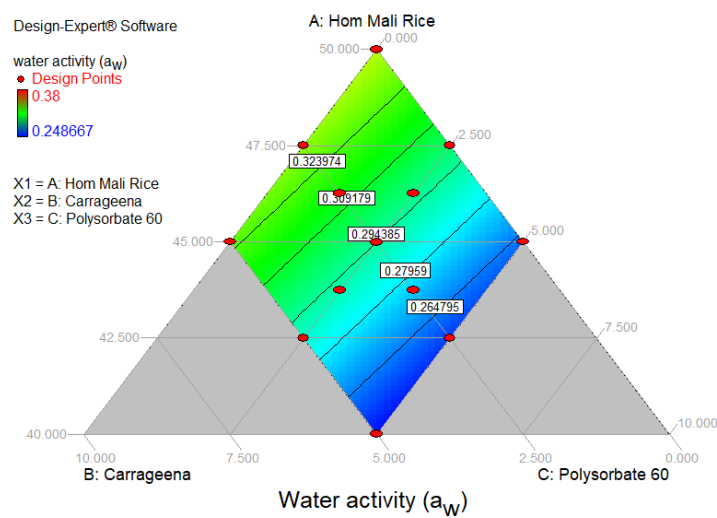


ภาพประกอบ 4.4 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต60 ที่มีต่อค่าความคงตัว ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน



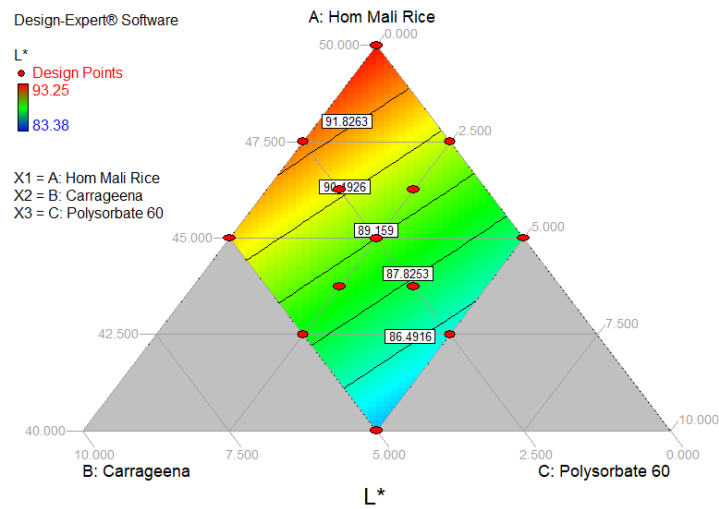


ภาพประกอบ 4.5 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่มีต่อความสามารถในการละลาย ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน

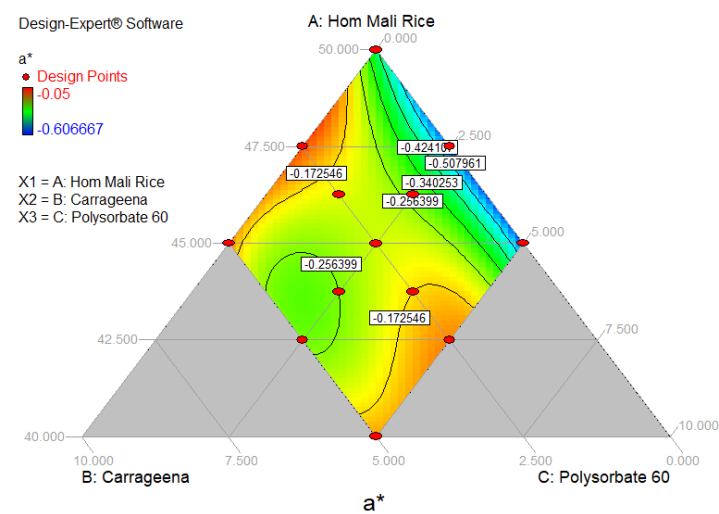


ภาพประกอบ 4.6 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่มีต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน

พหุ ประถม ชาติ ชีวะ

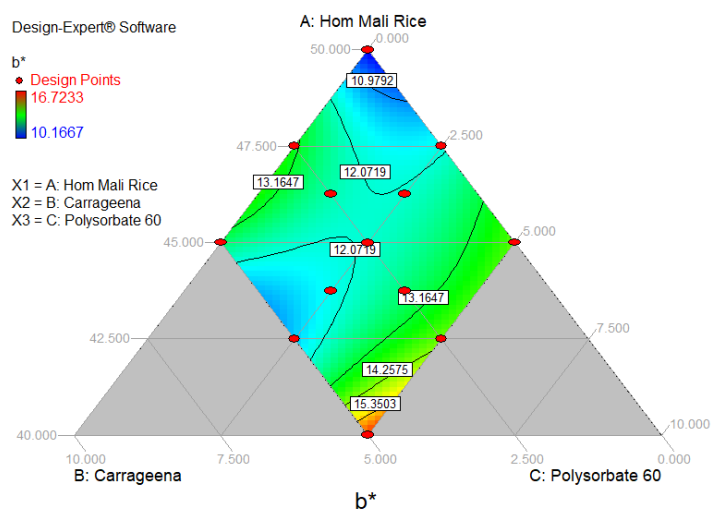


ภาพประกอบ 4.7 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต60 ที่มีต่อค่าความสว่าง (L^*) ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน



ภาพประกอบ 4.8 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต60 ที่มีต่อค่าสีแดง (a^*) ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน

พหุบัณฑิต ชีวะ



ภาพประกอบ 4.9 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต60 ที่มีต่อค่าค่าสีเหลือง (b^*) ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน

2) ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณความชื้น และค่าเปอร์ออกไซด์ ทั้ง 13 สิ่งทดลอง พบว่า ปริมาณไขมัน อยู่ในช่วง 31.42-37.40 (g/100g) ปริมาณความชื้น อยู่ในช่วง 0.48-2.26 (g/100g) และค่าเปอร์ออกไซด์ อยู่ในช่วง 1.25 -5.53 meq Oxygen /kg แสดงดังตาราง 4.24-4.25

ตาราง 4.24 คุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design

Treatments	Ingredient proportion (%)			Parameters (n=3)		
	X_1	X_2	X_3	Fat (g/100g)	Moisture (g/100g)	Peroxide value (meq O_2 / kg)
*1	50	0	0	32.91±0.04	0.66±0.05	2.94±0.74
2	47.5	0	2.5	31.42±1.34	0.58±0.03	2.49±0.98
3	47.5	2.5	0	31.96±0.65	1.48±0.60	3.44±1.84
4	46.3	1.3	2.5	35.59±0.28	1.15±0.00	1.49±0.98
5	46.3	2.5	1.3	35.44±0.18	1.44±0.00	4.02±1.57

ตาราง 4.25 คุณภาพทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลอง
โดยวิธี Mixture design (ต่อ)

Treatments	Ingredient proportion (%)			Parameters (n=3)		
	X ₁	X ₂	X ₃	Fat	Moisture	Peroxide value
				(g/100g)	(g/100g)	meq O ₂ / kg
6	45	2.5	2.5	35.24±0.66	0.63±0.17	4.49±1.72
7	45	0	5	33.62±0.50	0.79±0.02	1.25±1.14
8	45	5	0	35.53±0.26	2.26±0.06	3.01±0.74
9	43.8	2.5	3.8	34.37±0.56	0.48±0.01	4.57±0.95
10	43.8	3.8	2.5	35.24±0.62	0.84±0.05	5.53±1.98
11	42.5	5	2.5	37.40±0.62	1.56±0.04	2.85±1.18
12	42.5	2.5	5	34.36±0.17	0.91±0.02	3.01±1.16
13	40	5	5	31.66±0.48	0.96±0.01	2.28±1.12

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน X₁ = ปริมาณข้าวหอมมะลิ, X₂ = ปริมาณคาร์ราจีแนน, X₃ = ปริมาณพอลิซอร์เบต 60 *... = สูตรควบคุม

เมื่อนำค่าปริมาณไขมัน ปริมาณความชื้น และค่าเพอร์ออกไซด์ มาทำการสร้างสมการถดถอย เพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุดด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert 7 และอธิบายความสัมพันธ์ค่าคุณภาพกับ ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณข้าวหอมมะลิ (X₁) ปริมาณคาร์ราจีแนน (X₂) และ ปริมาณพอลิซอร์เบต 60 (X₃) จากผลการวิเคราะห์ค่าการถดถอยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองความสัมพันธ์ค่าคุณภาพกับปัจจัยที่ทำการศึกษา ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สูตรเป็นผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำข้อมูลมาทำการสร้างสมการถดถอยที่เหมาะสมมากที่สุด ได้แก่ รูปแบบสมการเชิงกำลังสามแบบพิเศษ (special cubic model) รูปแบบสมการเชิงกำลังสามทั้งหมด (full cubic model) โดยพิจารณาจากค่า P-value ที่มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก และสรุปได้ว่ามีอย่างน้อยหนึ่งพารามิเตอร์ไม่เป็นศูนย์ นอกจากนี้ค่า R-squared (R²) และ adjusted R-squared (Adj. R²) มีค่าสูงและมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำข้อมูลมาทำการสร้างสมการถดถอยที่เหมาะสมมากที่สุด และนำแบบจำลองของมาสร้างภาพแสดงพื้นผิวตอบสนอง ดังนี้

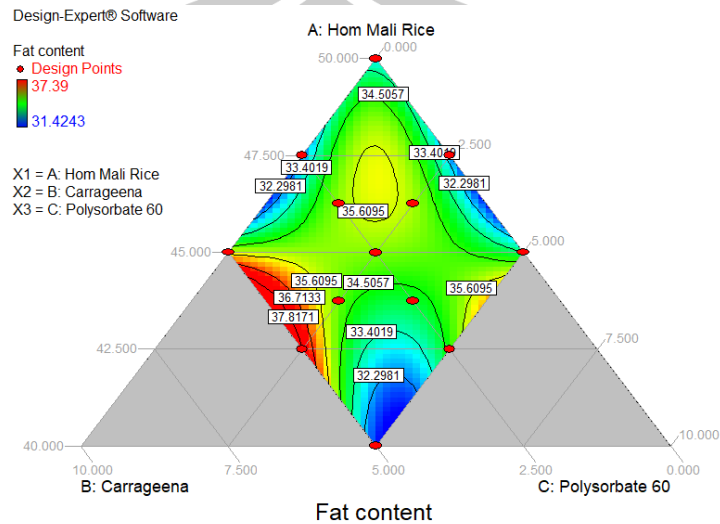
ตาราง 4.26 รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณสมบัติทางด้านเคมี ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผง
สูตรมาตรฐาน

Parameters	Predicted model equations ^a	R ²	Adj. R ²	Model P-value
Fat content	$Y_8 = 32.72X_1 + 157.94X_2 + 116.26X_3 - 239.94X_1X_2 - 164.24X_1X_2X_3 - 422.50X_2X_3 + 631.39X_1X_2X_3 + 142.21 X_1X_2(X_1-X_2) + 96.69X_1X_3(X_1 - X_3) - 18.84 X_2X_3(X_2-X_3)$	0.9713	0.8852	0.0355*
Moisture content	$Y_9 = 1.00X_1 + 2.59X_2 - 0.37X_3$	0.5764	0.4917	0.0136*
Peroxide value	$Y_{10} = -536.94X_1 - 5191.73X_2 - 6332.71 X_3 + 9591.61X_1X_2 + 11303.05X_1X_3 + 20898.51X_2X_3 + 64319.52 X_1X_2X_3$	0.4567	0.0866	0.5808

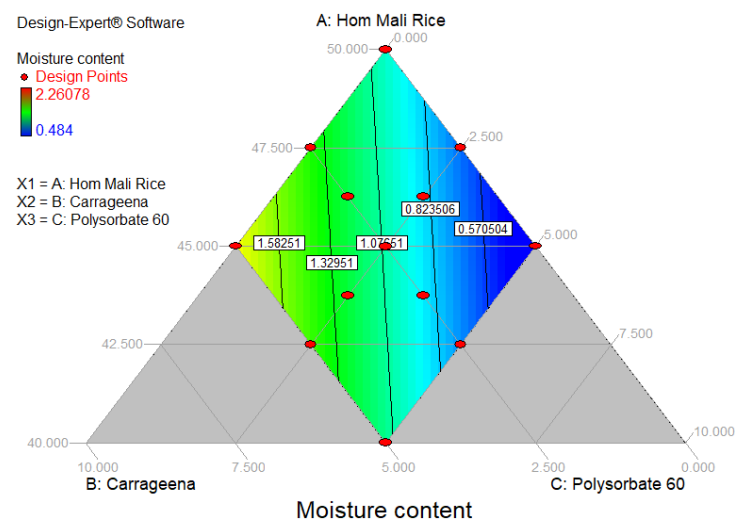
หมายเหตุ : ^a สมการถดถอย: $Y_i = \beta X_1 + \beta X_2 + \beta X_3 + \beta X_1X_2 + \beta X_1X_3 + \beta X_2X_3$, Y_{1-3} = คุณสมบัตินี้ทางด้านเคมี β = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถดถอย โดย X_1 = ปริมาณข้าวหอมมะลิ, X_2 = ปริมาณคาร์ราจีแนน, X_3 = ปริมาณพอลิซอร์เบต 60, R^2 = สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และ *ปัจจัยที่ทำการศึกษามีผลต่อค่าตอบสนองที่คำนวณได้จากแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$),

ผลการวิเคราะห์ค่าการถดถอยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาต่อปริมาณไขมัน สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากแบบจำลอง มีค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 รวมทั้ง มีค่า R^2 และ Adj. R^2 เท่ากับ 0.8852 และ 0.9713 ในทำนองเดียวกันปัจจัยที่ศึกษาต่อปริมาณความชื้น สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากแบบจำลอง มีค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 รวมทั้ง มีค่า R^2 และ Adj. R^2 เท่ากับ 0.5764 และ 0.4917 ซึ่งมีค่าสูงและมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด นั่นคือแบบจำลองของปริมาณไขมันและปริมาณความชื้น สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ได้ดีถึง ร้อยละ 95 แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาต่อค่าเพอร์ออกไซด์ ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ เนื่องจากแบบจำลอง มีค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 รวมทั้ง มีค่า R^2 และ Adj. R^2 ที่

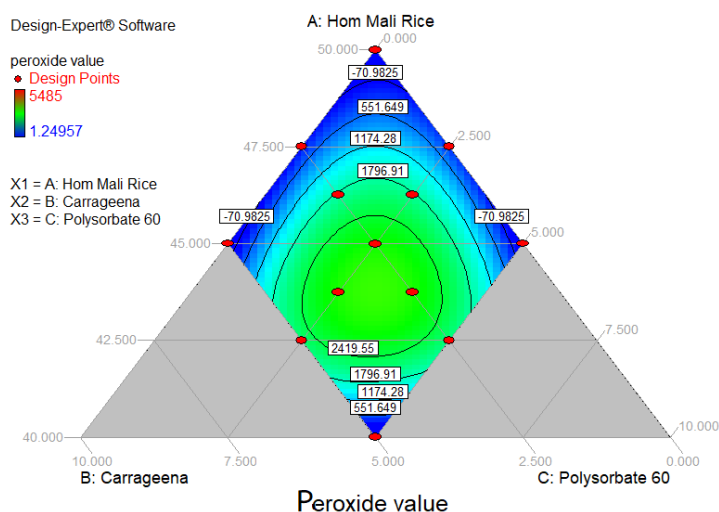
ต่ำ เท่ากับ 0.4567 และ 0.0866 นั่นคือแบบจำลองของค่าเพอร์ออกไซด์ จึงไม่สามารถสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ได้ ผลการทดลองดังแสดงใน ตาราง 4.26 และภาพแสดงพื้นที่ตอบสนอง ดังแสดงในภาพ 4.10 ถึง 4.12



ภาพประกอบ 4.10 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่มีต่อปริมาณไขมัน ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน



ภาพประกอบ 4.11 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่มีต่อปริมาณความชื้น ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน



ภาพประกอบ 4.12 แผนภาพพื้นที่ตอบสนองของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่มีต่อค่าเพอร์ออกไซด์ ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน

3) สภาวะที่เหมาะสม

การทำนายหาสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 สำหรับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ให้มีคุณภาพทางกายภาพและเคมีที่ดี จากผลการวิเคราะห์ค่าการถดถอยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาต่อปริมาณไขมัน ปริมาณความชื้น ค่าความหนืด ความคงตัว (stability index) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และค่าสี (L^* และ a^*) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ได้ดีถึง ร้อยละ 95 โดยในการคัดเลือกปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมใช้เกณฑ์พิจารณาแสดงในตาราง 4.20 จึงนำสร้างแผนภาพกราฟคอนทัวร์ (contour plot) จากการใช้เทคนิคการซ้อนทับพื้นที่ของคุณภาพทางกายภาพและเคมี ได้พื้นที่ซึ่งแสดงถึงขอบเขตของช่วงปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสม แสดงดังตาราง 4.27 และ ดังภาพประกอบ 4.13

พูน ปณ ทิโต ชีเว

ตาราง 4.27 สภาวะที่ใช้สำหรับการคัดเลือกปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่เหมาะสมสำหรับสูตรเป็นผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

Name	Goal
Hom Mali Rice	maximize
Carrageena	is in range
Polysorbate 60	is in range
viscosity	is in range
Stability	maximize
Solubility	none
water activity (a_w)	minimize
L^*	is in range
a^*	maximize
b^*	none
Fat content	minimize
Moisture content	minimize
Peroxide value	none

ตาราง 4.28 ปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่เหมาะสม สำหรับสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ที่ได้จากการทำนายโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางกายภาพและเคมี

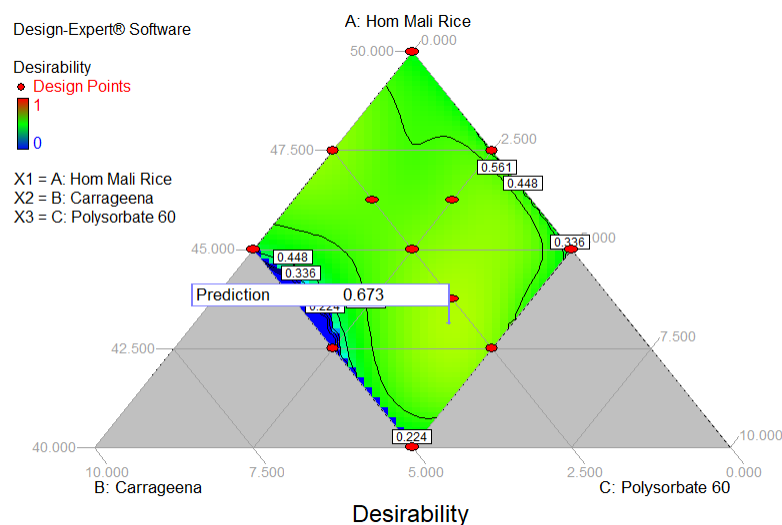
Parameters	Predicted values
Hom Mali Rice	43.18%
Carrageena	2.85%
Polysorbate 60	4.02%
Fat content	33.07 (g/100g)
Moisture content	0.91 (g/100g)
Viscosity	2226.48
Stability	99.17 %
Water activity (a_w)	0.270

ตาราง 4.29 ปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่เหมาะสม สำหรับสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ที่ได้จากการทำนายโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางกายภาพและเคมี (ต่อ)

Parameters	Predicted values
L*	87.20
a*	-0.16
Desirability	0.673 Selected

ผลของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ที่เหมาะสม สำหรับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ที่ได้จากการทำนายโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคุณภาพทางกายภาพและเคมี โดยสร้างแผนภาพกราฟคอนทัวร์ (contour plot) จากการใช้เทคนิคการซ้อนทับพื้นที่ของคุณภาพทางกายภาพและเคมี ได้พื้นที่ซึ่งแสดงถึงขอบเขตของช่วงปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสม โดยพบว่าครอบคลุมสูตรที่ 3 5 6 และสูตรที่ 9 ซึ่งมีปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนักของข้าวหอมมะลิ อยู่ระหว่าง ร้อยละ 43.8-46.8 คาร์ราจีแนน อยู่ระหว่าง ร้อยละ 2.50-5 และพอลิซอร์เบต 60 อยู่ระหว่าง ร้อยละ 2.50-5.00 ตามลำดับ และจากการทวนสอบสมการ โดยการคัดเลือกสูตรบริเวณจุดกึ่งกลางในพื้นที่ซ้อนทับซึ่งแสดงขอบเขตที่เหมาะสม จำนวน 1 สูตร ประกอบด้วย ข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 43.14 คาร์ราจีแนน ร้อยละ 2.85 และพอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 4.02 โดยมีค่า desirability เท่ากับ 0.673 มีปริมาณไขมัน 33.69 (g/100g) ปริมาณความชื้นต่ำ 0.91 (g/100g) ค่าความหนืด 2226.48 cp ค่าความคงตัว ร้อยละ 99.17 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ต่ำ 0.270 และค่าความสว่าง(L*) 87.20 และค่าสีแดง (a*) -0.16 ดังแสดงในตาราง 4.28-4.29 และภาพประกอบ 4.13

พูน ปณ ทิโต ชีเว



ภาพประกอบ 4.13 แผนภาพคอนทัวร์ของสภาวะที่เหมาะสม ต่อปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 สำหรับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

ตาราง 4.30 ปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

Ingredients proportion	Formula (%)	
	Standard	Optimum
Hom Mali Rice	-	43.37
Carrageenan	-	2.65
Polysorbate 60	-	3.97
Water	34.82	34.82
Palm oil	34.23	-
Rice bran oil	-	34.23
Lecithine	0.5	0.5
Sodium caseinate	3.28	3.28
Maltoclextrin	14.07	14.07
Inulin	2.34	2.34
Skim milk powder	2.34	-
Soy protein	-	2.34
Corn syrup	7.03	7.03
Silicon dioxide	1.0	1.0

4.3.3 ผลการพัฒนากระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

จากผลการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ศึกษาการเติมปริมาณข้าวหอมมะลิและปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสม โดยวางแผนการทดลองโดยใช้ Mixture design ข้างต้น ได้ส่วนผสมแสดงตาราง 4.30 จากนั้นทำการศึกษากระบวนการทำแห้งได้แก่ กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ใช้การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ใช้อุณหภูมิที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งให้ความชื้น ไม่เกินร้อยละ 5 และค่า a_w ไม่เกินร้อยละ 0.6 และการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ใช้อุณหภูมิลมเข้า 3 ระดับ คือ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออก 90-100 องศาเซลเซียส แล้ววิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ประกอบด้วยค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ค่าสี (L^*, a^*, b^*) ค่าความหนืด และค่าความคงตัว พบว่าการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) พบว่ากระบวนการทำแห้งทั้งสองกระบวนการส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในขณะที่การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งกลับส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทั้งสองกระบวนการมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.22-0.37 ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามรายงานของ Jay M. James. 1998 และหนังสือบรรจุกฎอาหาร 2554 ระบุไว้ว่าคุณสมบัติสำคัญและลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คืออาหารแห้ง เป็นอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำ (low water activity food) มีค่า water activity น้อยกว่า 0.6 เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ทั้งรายีสต์และแบคทีเรีย ส่วนค่าสี โดยใช้เครื่อง colorimeter เมื่อ L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ค่าสี a^* คือ ค่าสีแดง เมื่อ a^* มีค่าบวกเป็นสีแดง เมื่อ a^* มีค่าลบเป็นสีเขียว ค่าสี b^* คือ ค่าสีเขียว มีค่าบวกเป็นสีเหลือง เมื่อ b^* มีค่าลบเป็นสีน้ำเงิน จากการวัดค่าสี L^* ค่าสี a^* และค่าสี b^* ซึ่งกระบวนการทำแห้งทั้งสองกระบวนการที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่าค่าความสว่าง (L^*) มีค่าความสว่างที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าอยู่ในช่วง 89.19-96.19 นั่นคือส่วนที่เป็นน้ำมันผสมในทุกตัวอย่างจึงอยู่ในสภาพของเหลวที่มีสีเหลืองอ่อนเหมือนกัน จึงให้ค่าความสว่างไม่แตกต่างกันจากการสังเกตด้วยตา แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำแห้งสูงขึ้นส่งผลให้น้ำที่อยู่ในตัวผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำออกจากตัวผลิตภัณฑ์และทำให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์นั้นลดลง (ความชื้นลดลง) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน 2004)

และเมื่อทำแห้งนานขึ้นหรือใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) กับกรดแอมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยานี้ขึ้น จึงทำให้ค่าความสว่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการสังเกตด้วยตาจะเห็นได้ว่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันของความขาว จากการทดลองของของ Gruetymacher and Bradlez 1991 ซึ่งสามารถมองเห็นความแตกต่างของความขาวได้ก็ต่อเมื่อค่า L^* ที่วัดได้มีค่าต่างกันประมาณ 1 หน่วยขึ้นไป ในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเขียว (b^*) มีค่าที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งสูงขึ้น อาจส่งผลให้ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเขียว (b^*) ต่างกัน ซึ่งค่า a^* และ b^* ที่ได้แปรผันตามอุณหภูมิการทำแห้ง คือเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า a^* และ b^* มีค่าลดลงด้วย รวมทั้งค่าความหนืด มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น และความสามารถคงตัว โดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส และกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิเข้า 170 องศาเซลเซียส มีค่าการละลายสูงสุดและมีค่าความคงตัว ถึง ร้อยละ 99.8 และ 99.7 ซึ่งความสามารถคงตัวที่สูง เนื่องจากมีความสามารถดูดซับบริเวณผิวร่วมของน้ำกับอนุภาคน้ำมันได้มาก จึงรักษาน้ำมันให้อยู่ในสภาพอิมัลชันของครีมเทียมได้ดีกว่าความสามารถในการดูดซับบริเวณผิวของน้ำกับอนุภาคน้ำมันที่ต่ำ ส่งผลให้อิมัลชันที่ได้ยังมีความคงตัวน้อย อิมัลชันไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และเกิดการแยกชั้นกันของน้ำและน้ำมันขึ้น และเมื่อการผ่านกระบวนการผลิตที่มีอุณหภูมิสูงอาจส่งผลต่อการทำหน้าที่ของอิมัลซิไฟเออร์ เนื่องจากอุณหภูมิสูงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการอิมัลซิไฟน์น้ำมันของอิมัลซิไฟเออร์ลดลง McClements 2015 นอกจากนี้ Kolar, *et al.* 1979 ระบุว่าอิมัลชันของครีมเทียมชนิดแช่แข็งจะทำให้คงตัวใน สารละลายกาแฟได้ยากกว่าชนิดเหลว คือต้องเป็นอิมัลชันที่คงตัวมาก เพราะต้องผ่านการแช่แข็ง และทำละลาย (freeze-thaw) ก่อนนำไปเติมในกาแฟ ส่วนครีมเทียมที่ผ่านการทำให้แห้งผ่าน สภาวะรุนแรงมากกว่าครีมเทียมชนิดแช่แข็งและชนิดเหลว เพราะต้องผ่านการเอาน้ำออก (dehydration) และเติมน้ำเข้าอีกครั้ง (rehydration) หรือทำให้กลับสู่อิมัลชันอีกครั้ง ความคงตัวของ ครีมเทียมในสารละลายขึ้นกับความสามารถในการรักษาความคงตัวของอิมัลซิไฟเออร์ แต่จากการทดลองเมื่อนำครีมเทียมผงมาทดลองละลายใน เมื่ออุณหภูมิสูงและใช้เวลานาน ซึ่งเป็นสภาวะรุนแรงที่ทำลาย ความคงตัวของอิมัลชัน ทำให้คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และอิมัลซิไฟเออร์บางส่วนหลุดออกจากอนุภาคน้ำมัน อนุภาคน้ำมันบางส่วนจึงหลอมรวมกัน และเกิดเป็นชั้นครีมบาง ๆ บนผิวหน้าของของสารละลายครีมเทียม และมีการตกตะกอนของเม็ดแป้งข้าวหอมมะลิแสดงในตาราง 4.31

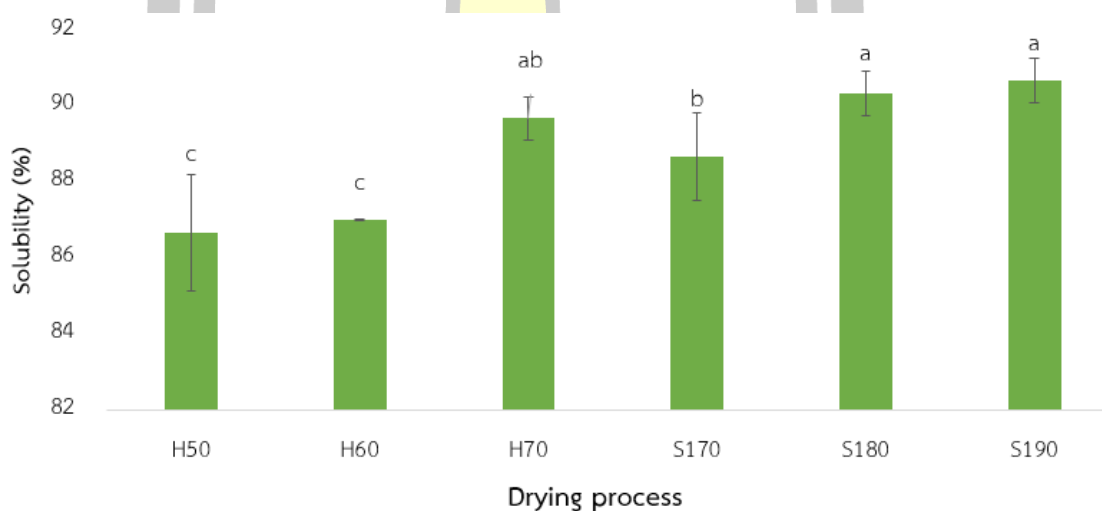
ตาราง 4.31 คุณสมบัตินิพัตของผลผลิตครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

Drying process	Parameters (n=3)					
	a _w	color			Viscosity (cp)	Stability ^{ns} %
		L*	a*	b*		
H50	0.33±0.00 ^c	94.38±0.22 ^b	0.36±0.03 ^c	11.33±0.68 ^c	2747.67±6.66 ^c	99.76±0.23
H60	0.37±0.00 ^a	93.73±0.49 ^{bc}	0.23±0.06 ^{cd}	13.47±0.76 ^b	2776.00±6.08 ^b	99.70±0.17
H70	0.34±0.00 ^b	89.19±0.54 ^e	1.77±0.07 ^a	18.78±0.40 ^a	2794.67±4.51 ^a	99.80±0.26
S170	0.29±0.00 ^d	96.75±0.43 ^a	0.17±0.13 ^d	6.10±0.73 ^d	1890.33±4.16 ^e	99.70±0.17
S180	0.25±0.00 ^e	93.26±0.59 ^c	0.25±0.12 ^{cd}	11.79±0.19 ^c	1881.67±5.03 ^e	99.33±0.28
S190	0.22±0.01 ^f	91.01±0.07 ^d	0.79±0.05 ^b	14.65±0.13 ^b	1929.33±5.51 ^d	99.58±0.14

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ^{a,b,c,d,e,f}...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ^{ns} อักษรที่ไม่มี ความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$), Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมินั้น ๆ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส), Sx คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่อุณหภูมิขาเข้านั้น ๆ (170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส)

จากภาพประกอบ 4.14 ความสามารถในการละลายของครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิเมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง ได้แก่ การอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าทั้งสองกระบวนการมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการละลายของครีมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความสามารถในการละลาย อยู่ในช่วง ร้อยละ 86.7 - 90.67 อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการละลายอยู่ในช่วงเป็นที่ยอมรับสำหรับผลิตภัณฑ์กลุ่มครีมเทียมผงทั่วไป จะเห็นได้ว่าความสามารถในการละลายลดลง ของครีมเทียมผงที่ ทดลองขึ้น อาจเป็นเพราะครีมเทียมมีขนาดของอนุภาคใหญ่ ความพรุนสูง และปริมาณความชื้นที่ต่ำเมื่อเทียบกับครีม

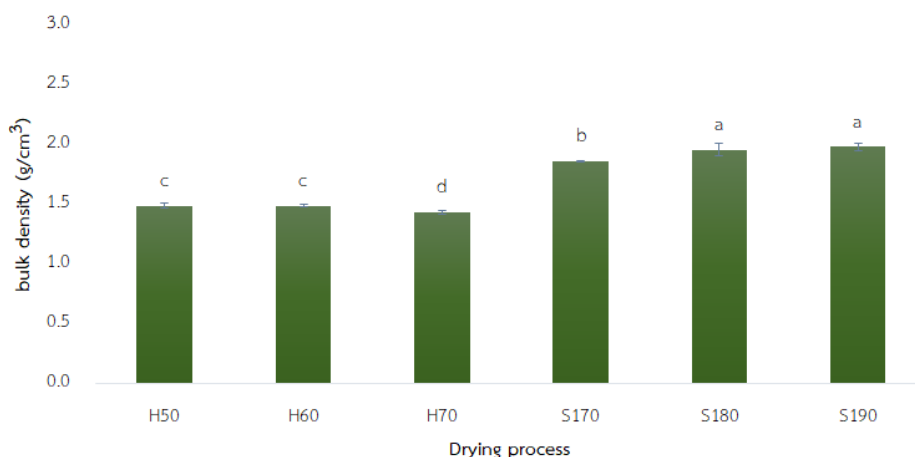
ทั่วไป ซึ่งตามระบุของงานวิจัยของ กัลยาณี ระบุว่ากล้วยหอมผงที่มีค่าการละลายที่ดี จะมีการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำดีและรวดเร็วเมื่อทดสอบที่ระยะเวลาเท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ระบุของ Peleg and Bagley 1983 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้การละลายเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอาหารผงที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะมีลักษณะทรงกลม และมี wet surface ซึ่งถ้าหากมี wet surface อยู่ในปริมาณมากจะทำให้ในบริเวณดังกล่าวเกิดการดึงดูดกันเป็นอนุภาคผงเข้ามารวมกันเป็นก้อน ซึ่งเมื่อนำไปละลายน้ำส่งผลให้ความสามารถในการละลายลดลง และจากงานวิจัยที่ระบุไว้โดย Goula and Adamopoulos 2008 อนุภาคขนาดใหญ่ที่มีความพรุนสูงมักจะละลายได้ง่ายกว่าอนุภาคขนาดเล็ก นี่เป็นเพราะอนุภาคขนาดเล็กมีลักษณะเป็น "ฝุ่น" มากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ อนุภาคขนาดเล็กจะลอยอยู่ในน้ำทำให้น้ำไม่สามารถแทรกตัวหรือทำให้เกิดการเปียกน้ำได้ อาจเป็นไปได้ว่าหลังจากเสริมข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 44 มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูงและมีองค์ประกอบอื่น ๆ เมื่อเติมเข้าไปในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมทำให้เกิดการละลายต่ำ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้การละลายลดลง อาจเป็นไปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ไขมันมีการแตกตัวได้ดีและเกิดการรวมตัวขององค์ประกอบอื่น ๆ ได้ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้การละลายลดลง



ภาพประกอบ 4.14 ความสามารถในการละลายของครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง

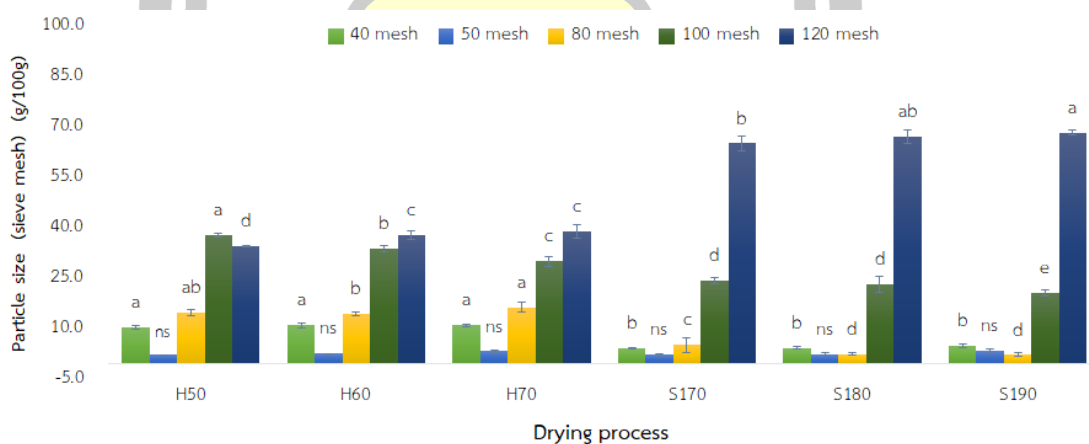
หมายเหตุ : ^{a,b,c}...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ^{ns}...อักษรที่ไม่มีความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$), Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมินั้น ๆ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส), Sx คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่อุณหภูมิเข้านั้น ๆ (170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส)

จากภาพประกอบ 4.15 ความหนาแน่นบรรจุของครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง ได้แก่ การอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าทั้งสองกระบวนการมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่ได้จากการทดลองมีอนุภาคขนาดเล็กและมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.93-1.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิเข้า 190 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นสูง และกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นบรรจุต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิในการทำแห้งทั้งสองกระบวนการ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นบรรจุลดลง จะเห็นได้ว่าครีมเทียมผงที่มีความหนาแน่นต่ำ จะมีขนาดของอนุภาคขนาดใหญ่ มีรูพรุนมาก ส่งผลให้ละลายได้ดีกว่าครีมเทียมผงที่มีความหนาแน่นสูง เนื่องจากครีมเทียมที่มีความหนาแน่นต่ำมีโพรงอากาศมาก ทำให้น้ำดูดซึมเข้าสู่อนุภาคได้รวดเร็วกว่าครีมเทียมที่มีความหนาแน่นสูงจึงจมตัวได้เร็วกว่า และถ้าจมตัวเร็วขณะที่เครื่องตียังมีอุณหภูมิสูง ไขมันในครีม เทียมจะละลายได้ดีไม่เกิดฝ้า ดังนั้นการใช้สภาวะการผลิตให้ได้ลักษณะของครีมเทียมที่มีความหนาแน่นต่างกัน จะส่งผลต่อการจมตัวซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการละลายของครีมเทียม ถ้าจมตัวเร็ว หรือดูดซับน้ำได้เร็วจึงช่วยให้เกิดการละลายเร็วขึ้น นอกจากนี้ ไพโรจน์ วิริยจารี 2535 ระบุว่าสามารถทำให้อนุภาคของครีมเทียมมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการนำครีมเทียมผงจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยไป เข้าเครื่อง fluidized bed การเป่าครีมเทียมให้ลอยตัวขึ้นทำให้เกิดรวมตัวเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งงานผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ และคณะ 2545 ระบุว่าเมื่อนำน้ำผลไม้รวมอบแห้งแบบพ่นกระชายและไมโครเวฟสุญญากาศ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเข้ามีผลต่อความหนาแน่นบรรจุ ในผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้สภาวะดังกล่าวยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรูพรุนอยู่ภายในมากขึ้นทำให้มีความหนาแน่นปรากฏลดลง และจากการรายงานวิจัยของ Onwulata 2005 ระบุว่าความหนาแน่นของอาหารผงเป็นคุณสมบัติที่มีความซับซ้อนขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ในกรณีของครีมเทียมมีลักษณะเป็นผงที่มีการจับตัวกัน (cohesive powders) เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กและมีปริมาณไขมันสูง ทำให้เกิดการจับตัวกันได้ง่าย ยิ่งอยู่ในสภาวะการเก็บที่มีอุณหภูมิสูง ยิ่งทำให้อนุภาคเกาะกันแน่น จึงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ความสามารถในการกระจายตัวในสารละลายลดลง



ภาพประกอบ 4.15 ความหนาแน่นบรรจุของครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง

หมายเหตุ : ^{a,b,c}...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ^{ns}...อักษรที่ไม่มีความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$), Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมินั้น ๆ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส), Sx คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่อุณหภูมิเข้านั้น ๆ (170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส)



ภาพประกอบ 4.16 ขนาดของอนุภาคของครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง

หมายเหตุ : ^{a,b,c}...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ^{ns}...อักษรที่ไม่มีความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$), Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมินั้น ๆ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส), Sx คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่อุณหภูมิเข้านั้น ๆ (170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส)

จากภาพประกอบ 4.16 ขนาดของอนุภาคของครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง ได้แก่ การอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าทั้งสองกระบวนการมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ขนาดของอนุภาคเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีขนาดของอนุภาค ที่ 40 mesh อยู่ในช่วง 4.47-11.31 กรัม ที่ 50 mesh ในช่วง 1.34-3.52 กรัม ที่ 80 mesh ในช่วง 2.43-16.66 กรัม ที่ 100 mesh ในช่วง 20.81-37.99 กรัม และที่ 120 mesh ในช่วง 34.68-68.43 กรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเข้าสูงขึ้น พบว่า ขนาดของอนุภาคเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ประกอบด้วยปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งจากการทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อน และกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่ามีปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน และปริมาณคาร์โบไฮเดรต เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทำแห้งที่ต่างกันส่งผลให้มีการลดลงขององค์ประกอบต่าง ๆ อาจเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิการทำแห้งแบบลมร้อน ช่วยสามารถรักษาปริมาณโปรตีนเถ้า และคาร์โบไฮเดรต กว่าการทำงานแบบพ่นฝอยในขณะเดียวกันเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเมื่อมีการให้อุณหภูมิสูงขึ้น จะเร่งให้เกิดการแตกตัวของเม็ดไขมันเร็วขึ้น และอาจจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) ได้เร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ จะเห็นได้ว่าการทำแห้งแบบลมร้อนจะมีปริมาณไขมันที่ต่ำกว่ากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบพ่นฝอยสามารถลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจาก การทำแห้งแบบพ่นฝอย มีการให้อุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็วจึงสามารถดึงน้ำออกจากตัวผลิตภัณฑ์ในระยะเวลาสั้นๆ ทำให้ค่าความชื้นลดลงตามอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ และคณะ 2545 รายงานว่า เมื่อนำน้ำผลไม้รวมอบแห้งแบบพ่นกระจายและไม่โครเวฟสุญญากาศ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลต่อปริมาณความชื้น ในผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกอย่างรวดเร็ว โดยกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีปริมาณความชื้น (1.02 g/100g) และโปรตีน (10.76 g/100g) สูงที่สุด และพบว่าการทำงานแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิเข้าที่ 180 องศาเซลเซียส มีคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด เท่ากับ 58.36 g/100g ส่วนไขมัน (fat) และเถ้า (ash) พบว่ากระบวนการทำแห้งทั้งสองกระบวนการ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ไขมัน มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยการทำงานแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิเข้าที่ 190 องศาเซลเซียส มีไขมันสูง

ที่สุด 36.75 g/100g และเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่ามีไขมันต่ำที่สุด 29.57 g/100g และเมื่อเทียบกับกระบวนการทำแห้งแบบผึ่งอบที่มีไขมันต่ำกวาร้อยละ 8 และถ้าพบว่าผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิในทุกกระบวนการมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงดังตาราง 4.32

ตาราง 4.32 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

	Parameters (g/100g) (n=3)				
	Moisture content ^{ns}	Fat content	Protein content	Ash content ^{ns}	Carbohydrate content ^{ns}
H50	0.88±0.13	29.57±1.54 ^c	6.61±0.00 ^a	1.40±0.02	61.54±1.50
H60	0.83±0.11	32.37±2.91 ^{bc}	6.61±0.39 ^a	1.38±0.01	58.79±2.56
H70	1.02±0.18	33.75±2.84 ^{ab}	6.87±0.22 ^a	1.33±0.13	57.00±3.33
S170	0.88±0.02	34.78±1.07 ^{ab}	4.93±0.22 ^b	1.32±0.04	58.09±0.20
S180	0.72±0.20	35.45±1.41 ^{ab}	4.15±0.22 ^c	1.31±0.01	58.36±0.41
S190	0.64±0.09	36.75±1.87 ^a	3.63±0.22 ^d	1.40±0.17	57.58±2.07

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ^{a,b,c}...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), nsอักษรที่ไม่มีความหมายความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$), : Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมินั้น ๆ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส), Sx คือ การอบแห้งแบบผึ่งอบ (spray drying) ที่อุณหภูมิขาเข้านั้น ๆ (170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส)

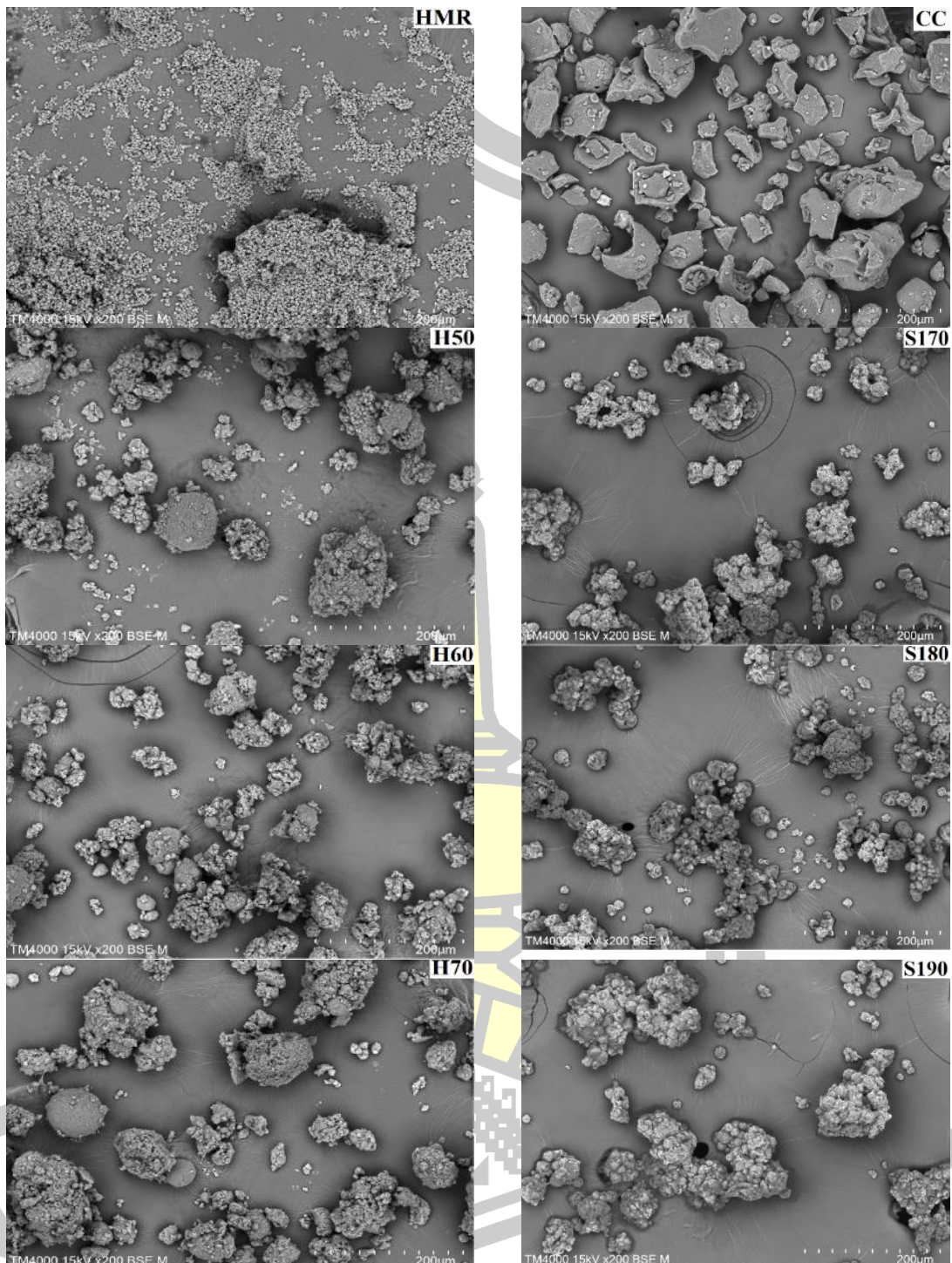
ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale) พบว่าทุกคุณลักษณะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

และกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิขาเข้า 170 องศาเซลเซียส ได้คะแนนคุณลักษณะด้านความชอบรวม สูงสุด จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้คุณลักษณะทุกด้านสูงขึ้นเช่นกัน (แสดงในตาราง 4.33)

ตาราง 4.33 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงเข้มข้นต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale)

Drying process	Attributes ^{ns}					Overall preference
	Colour	Flavor/taste	Oiliness	Smoothness		
H50	6.23±1.04	5.37±1.40	4.97±1.63	5.00±1.15		5.57±1.43
H60	6.07±1.14	5.27±1.25	4.87±1.31	5.23±1.36		5.50±1.61
H70	6.10±1.12	5.83±1.02	5.17±1.23	5.17±1.49		5.53±1.14
S170	6.43±1.07	4.73±1.78	5.20±1.52	5.30±1.69		5.83±1.24
S180	6.27±1.26	5.23±1.96	5.60±1.40	5.53±1.76		5.90±1.21
S190	6.00±1.49	4.97±2.08	5.87±1.80	5.30±1.99		5.78±1.48

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ^{a,b,c} ...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมินั้นๆ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส), Sx คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่อุณหภูมิเข้านั้นๆ (170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส)

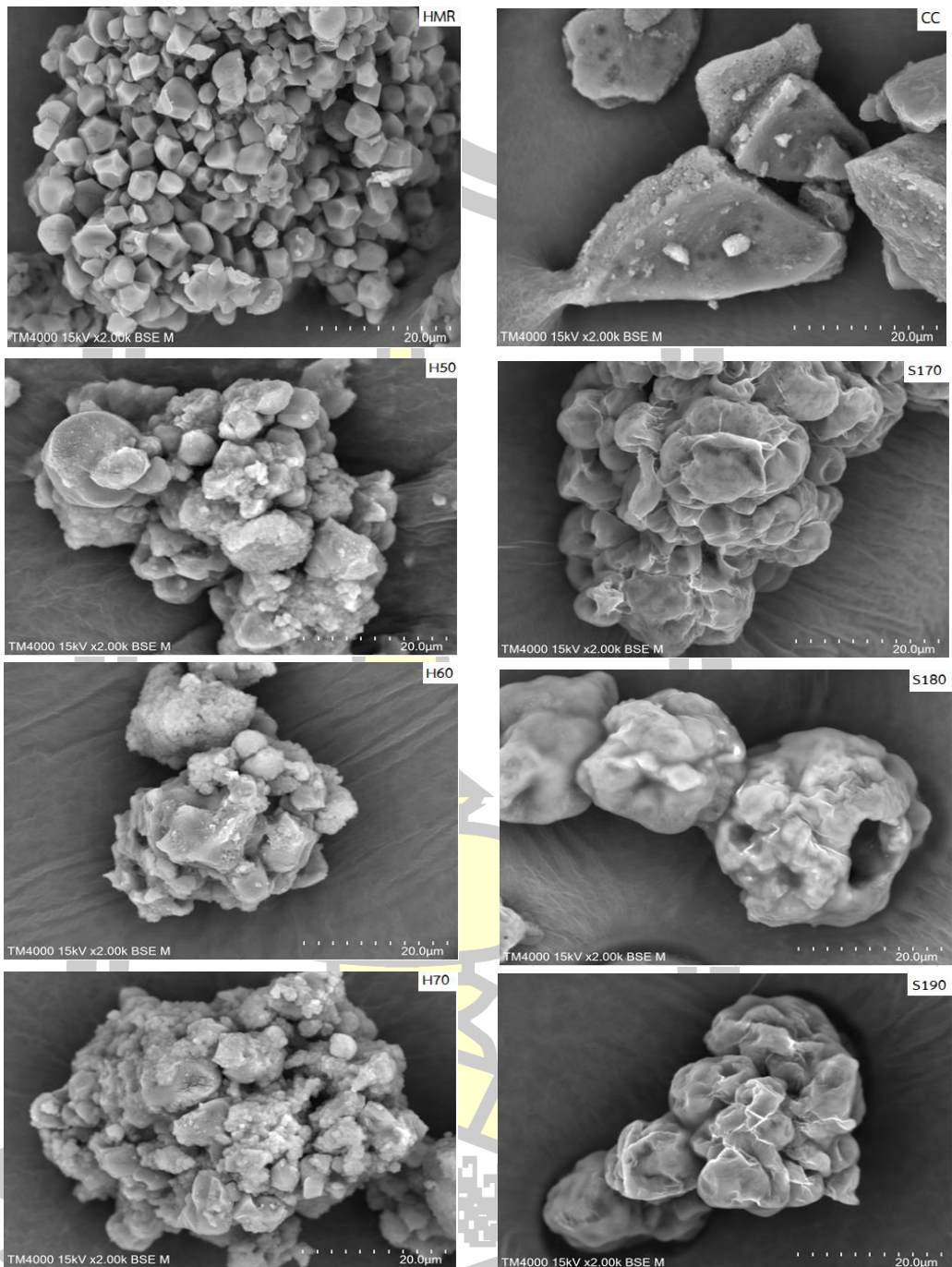


ภาพประกอบ 4.17 ภาพถ่าย SEM ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ
เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้ง กำลังขยาย 200k

หมายเหตุ :CC คือ ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์, HMR คือ ข้าวหอมมะลิ, Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมินั้น ๆ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส), Sx คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่อุณหภูมิเข้านั้น ๆ (170,180 และ 190 องศาเซลเซียส)

จากภาพประกอบ 4.17 ภาพถ่าย SEM ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยถ่ายที่ กำลังขยาย 200k พบว่าครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วย กระบวนการอบแห้ง ได้แก่ การอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบพ่นฝอย มีอนุภาคขนาดเล็ก กว่าครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า ซึ่งสามารถเห็นความแตกต่างได้ด้วยสายตา และเมื่อส่องภาพถ่าย SEM กำลังขยายเท่ากัน 2000k พบว่าขนาดครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทน ด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งทั้งสองกระบวนการ พบว่า มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันจากการ มองเห็นด้วยตา จากภาพจะเห็นได้ว่าครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ที่ผ่าน กระบวนการทำแห้งทั้งสองกระบวนการ มีอนุภาคค่อนข้างกลม มีขนาดเล็ก เกะตัวกัน เป็นกลุ่ม พื้นผิวเรียบ ในขณะที่ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม มีขนาดใหญ่กว่า ไม่เกาะกลุ่มกัน และมีความเป็นรูพรุนกัน ซึ่งครีมผงเชิงพาณิชย์ผ่านกระบวนการแอกโกลเมอเรชัน (agglomeration) หรือการทำให้ อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น การนำครีมเทียมผงไปทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเป็น การพ่นลม ร้อนจากด้านล่าง ด้วยความเร็วสูง ทำให้อนุภาคเกิดการขยายตัว อนุภาคเล็ก ๆ หลาก อนุภาคสัมผัสกัน และเกาะตัวกัน เมื่ออนุภาคขนาดเล็กเกาะตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้อ อนุภาคมีรูพรุนมากขึ้น สารละลายสามารถซึมเข้าสู้อนุภาคได้ง่าย ครีมเทียมผงจึงจมตัวและละลายได้ ดี (Nezbed, R., & Zamzow 1973 ;Choi, *et al.* 1982 and Westergaard 2004) ซึ่งจากการวิจัย ของ Onwulata 2005 ระบุว่าอาหารผงที่มี อนุภาคขนาดเล็กหรือเป็นผงละเอียด เมื่อผ่านการแอก โคลเมอเรชันแล้ว ทำให้มีขนาดอนุภาค ประมาณ 100 ไมครอน แสดงดังภาพประกอบ 4.18





ภาพประกอบ 4.18 ภาพถ่าย SEM ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้ง กำลังขยาย 2000k

หมายเหตุ :CC คือ ครีมเทียมผง เจริญพาณิชย์, HMR คือ ข้าวหอมมะลิ, Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมินั้น ๆ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส), Sx คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่อุณหภูมิเข้านั้น ๆ (170,180 และ 190 องศาเซลเซียส)

จากภาพประกอบ 4.19 อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง ได้แก่ การอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบพ่นฝอย จากรายงานของ รัชณี ตัณฑะพานิชกุล (2544) โดยใช้รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดรังสีอินฟราเรดจำแนกออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ย่านอินฟราเรดใกล้ ($\bar{\nu}$ 4,000-12,800 cm^{-1}) ย่านอินฟราเรดกลาง ($\bar{\nu}$ 200-4,000 cm^{-1}) และย่านอินฟราเรดไกล ($\bar{\nu}$ 10-200 cm^{-1}) เมื่อสารอินทรีย์ดูดกลืนรังสีย่านอินฟราเรดกลางโดยเฉพาะช่วงความยาวคลื่น 2,500-15,000 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น ($\bar{\nu}$) 667-4,000 cm^{-1} เรียกว่าความถี่ ทำให้เกิดแทรนซิชัน การสั่นพร้อมกับแทรนซิชันการหมุน เรียกเทคนิคนี้ว่า อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ซึ่งแทรนซิชันการสั่นนี้ จะทราบชนิดหมู่ทำหน้าที่ เช่น พันธะคู่ พันธะสาม หมู่คาร์บอนิล หมู่ไฮดรอกซิล และหมู่อะมิโน เป็นต้น ภายในโครงสร้างของสารอินทรีย์ที่มีความถี่ของการสั่นของสารอินทรีย์ ที่สำคัญดังนี้

- 1) แอลเคน พันธะ C-H (แบบยืด) ที่ช่วงความถี่ 2,853-2,962 cm^{-1} และพันธะ C-H (แบบงอ) ที่ช่วงความถี่ 1,365-1,395 cm^{-1} ซึ่งมีลายบ่งชี้เฉพาะของหมู่ไอโซโพรพิลและหมู่เทอเพอียรี-บิวทิล
- 2) แอลคีน พันธะ =C-H (แบบยืด) ที่ช่วงความถี่ 3,000-3,100 cm^{-1} และพันธะ =C-H (แบบงอ) ที่ช่วงความถี่ 650-1,000 cm^{-1} มีลายบ่งชี้เฉพาะบอกจำนวนหมู่แทนที่บนพันธะคู่
- 3) แอลไคน์ พันธะ \equiv C-H (แบบยืด) ที่ช่วงความถี่ 3,333-3,627 cm^{-1} เฉพาะแอลไคน์ที่มีพันธะสามตรงปลายโซ่ และพันธะ $\text{C}\equiv\text{C}$ (แบบยืด) ที่ช่วงความถี่ 2,100-2,260 cm^{-1}
- 4) แอลโรแมติกไฮโดรคาร์บอน พันธะ =C-H (แบบยืด) ที่ช่วงความถี่ 3,000-3,100 cm^{-1} พันธะ =C-H (แบบงอ) ที่ช่วงความถี่ 675-900 cm^{-1} และแถบความถี่เกินที่ช่วงความถี่ 1,667-2,000 cm^{-1} มีลายบ่งชี้เฉพาะบอกจำนวนและรูปแบบการแทนที่บนเบนซีน
- 5) แอลกอฮอล์และฟีนอล พันธะ O-H (แบบยืด) ที่ช่วงความถี่ 3,200-3,500 cm^{-1} กรณีตัวอย่างเข้มข้น จะเกิดพีกกว้างเนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจน ส่วนสารละลายเจือจางจะเกิดพีกแหลม และพันธะ C-O (แบบยืด) ที่ช่วงความถี่ 1,000-1,410 cm^{-1} กรณีฟีนอลจะปรากฏแถบความถี่เกินที่ช่วงความถี่ 1,667-2,000 cm^{-1}
- 6) อีเทอร์ พันธะ C-O (แบบยืด) ที่ช่วงความถี่ 1,000-1,300 cm^{-1}
- 7) คีโตนอิมตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยืด) ที่ความถี่ \sim 1,715 cm^{-1}
- 8). แอลดีไฮด์อิมตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยืด) ที่ความถี่ \sim 1,725 cm^{-1} และพันธะ C-H (แบบยืด) ที่ความถี่ 2,750 และ 2,850 cm^{-1}
- 9) เอสเทอร์อิมตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยืด) ที่ความถี่ \sim 1,735 cm^{-1} และพันธะ C-O (แบบยืด) ที่ช่วงความถี่ 1,000-1,300 cm^{-1}

10) กรดคาร์บอกซิลิกอิ้มตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยึด) ที่ความถี่ $\sim 1,710 \text{ cm}^{-1}$ และพันธะ O-H (แบบยึด) ที่ช่วงความถี่ $2,400-3,400 \text{ cm}^{-1}$ แถบกว้าง

11) แอลกอฮอล์อิ้มตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยึด) ที่ช่วงความถี่ $1,800-1,850$ และ $1,740-1,790 \text{ cm}^{-1}$

12) แอลไมด์อิ้มตัวโซ่เปิด พันธะ C=O (แบบยึด) ที่ช่วงความถี่ $1,640-1,690 \text{ cm}^{-1}$ และพันธะ N-H (แบบยึด) ที่ช่วงความถี่ $3,100-3,500 \text{ cm}^{-1}$ มีลายบ่งชี้เฉพาะบอกชนิดแอลไมด์

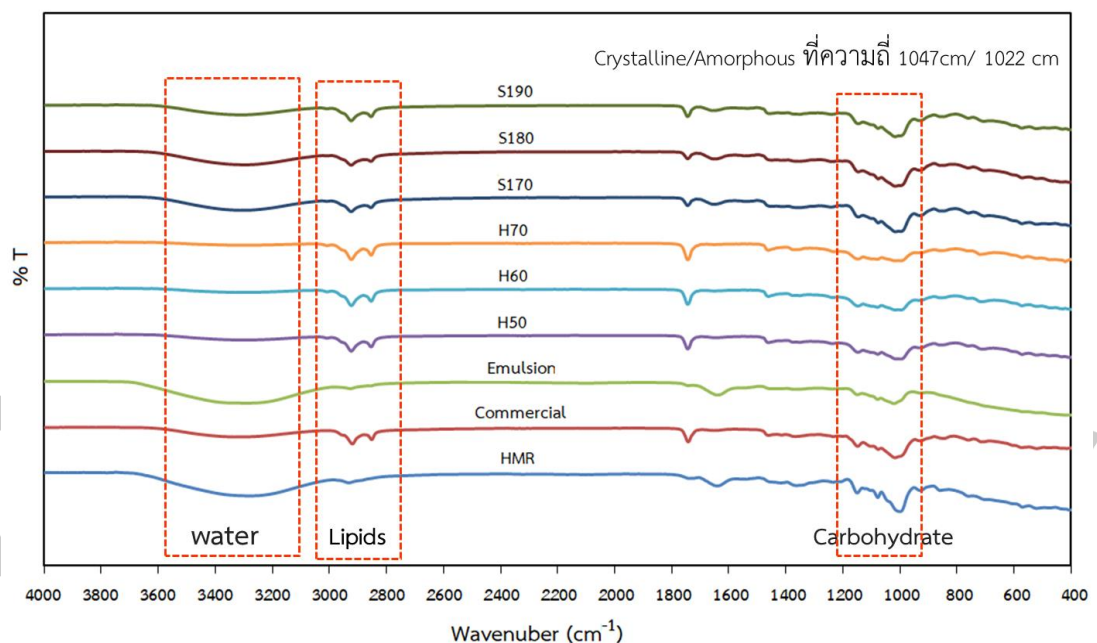
13) แอลซิคคลอไรด์ ที่ช่วงความถี่ $1,780-1,850 \text{ cm}^{-1}$

14) แอลมีน ที่ช่วงความถี่ $3,300-3,500 \text{ cm}^{-1}$ มีลายบ่งชี้เฉพาะบอกชนิดแอลมีน

15) ไนไตรล์อิ้มตัว พันธะ $\text{C}\equiv\text{N}$ (แบบยึด) ที่ความถี่ $\sim 2,250 \text{ cm}^{-1}$

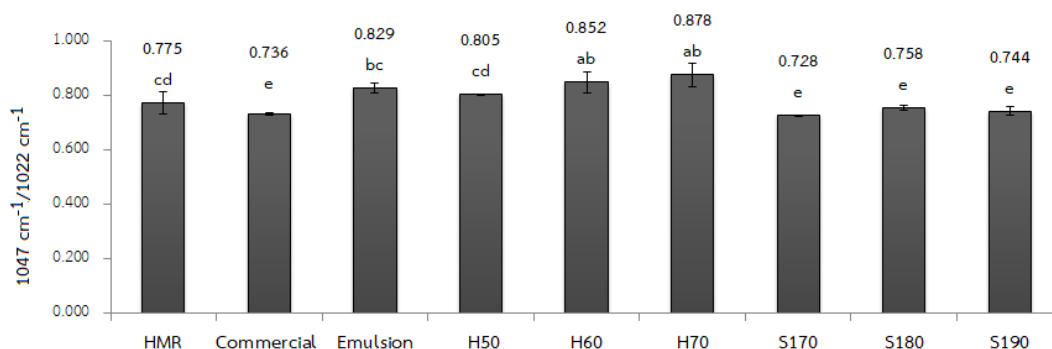
16) สารประกอบไนโตร พันธะ NO_2 ที่ช่วงความถี่ $1,300-1,390$ และ $1,500-1,600 \text{ cm}^{-1}$

โดยสเปกตรัม FT-IR ของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่ต่างกัน พบว่า ที่ความยาวคลื่น 3350 cm^{-1} เป็นพีกของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (OH) และพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (OH) มีค่าลดลง เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความยาวคลื่น $2916-1920 \text{ cm}^{-1}$ และ $2850-2852 \text{ cm}^{-1}$ ตามลำดับ เป็นพีกของหมู่ฟังก์ชัน CH_2 asymmetric และ symmetric ในตัวอย่างแบ่ง ดังนี้



ภาพประกอบ 4.19 อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง ได้แก่ การอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบพ่นฝอย

หมายเหตุ : commercial คือ ครีมเทียมผง เชิงพาณิชย์, HMR คือ ข้าวหอมมะลิ, emulsion คือ ครีมเทียมชั้นตอนอิมัลชัน, Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมินั้น ๆ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส), Sx คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่อุณหภูมิเข้านั้น ๆ (170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส)



ภาพประกอบ 4.20 อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง

หมายเหตุ : commercial คือ ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์, HMR คือ ข้าวหอมมะลิ, emulsion คือ ครีมเทียมชั้นตอนอิมัลชัน, Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมินั้น ๆ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส), Sx คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่อุณหภูมิเข้านั้น ๆ (170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส)

จากภาพประกอบ 4.20 ผลอินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง พบว่าจากพีคความยาวคลื่น 1022 cm^{-1} และ 1047 cm^{-1} เพื่อศึกษาอัตราส่วนควาที่เป็นผลึกของแป้งข้าว ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ ซึ่งกระบวนการทำแห้งทั้งสองกระบวนการมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า crystalline ต่อ amorphous ที่ความถี่ 1047 cm^{-1} ต่อ 1022 cm^{-1} เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อนส่งผลมีค่าอัตราส่วนในการตกผลึก (ยัติเกาะกัน) สูงกว่ากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย รวมทั้งมีค่าสูงกว่าครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ และในวัตถุดิบข้าวหอมมะลิ นั่นคือเมื่อค่าอัตราส่วน crystalline ต่อ amorphous ที่สูงขึ้นส่งผลให้ต้องใช้แรงในการทำลายสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่ได้จากการทดลองขึ้น และส่งผลให้การละลายของตัวอย่างลดลง ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่า crystalline ต่อ amorphous ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จะเห็นได้ว่าเมื่อตัวอย่างผ่านกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70

องศาเซลเซียส มีความเป็นผลึกมากที่สุด และมีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่แป้งดิบเริ่มเกิดการเจลาติไนซ์ (การสุกของแป้ง) อยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ratsewoa J., *at al.* 2019 รายงานว่าเมื่อเพิ่มความร้อนสูงขึ้น ส่งผลให้แป้งเกิดเจล น้ำแป้งเกิดความหนืดมากขึ้นเนื่องจากการลดลงของโมเลกุลน้ำทำให้เม็ดแป้งมีการเคลื่อนไหวได้จำกัด เม็ดแป้งเกิดการพองตัวจนถึงจุดสูงสุด และเกิดความหนืดสูงสุด และเม็ดแป้งก็เกิดการแตกตัวออก ส่งผลให้ใช้ความเป็นผลึกลดลงตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์กรดไขมันจากตัวอย่าง แสดงดังตาราง 4.34 โดยทั่วไปในข้าวหอมมะลิที่จะใช้นำมาทดแทนไขมันการผลิตครีมเทียม มีกรดไขมันเด่นที่สุดคือกรดไขมันอิ่มตัว เช่น กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่น กรดโอเลอิก (C18:1) นอกจากนี้ยังพบ กรดลิโนเลอิก (C18:2) และกรดอัลฟาไลโนเลนิก (C18:3n-3) อีกด้วย เมื่อวิเคราะห์อิมัลชัน(ก่อนนำไปทำแห้งด้วยความร้อน) จากการทดแทนไขมันด้วยแป้งจากข้าวหอมมะลิในรูปแบบ พบว่ามี กรดสเตียริก และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่น กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก และกรดอัลฟาไลโนเลนิก และเมื่อนำอิมัลชันนี้มาผ่านการทำแห้งเพื่อเป็นครีมเทียมผงด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนและสเปรตทรายพบว่า กรดไขมันทั้งหมดลดลงเมื่อผ่านการอบแห้งทั้งสองวิธี จากผลการศึกษาพบว่ากรดไขมันจำเป็นทั้งสองตัว กรดลิโนเลอิก และกรดอัลฟาไลโนเลนิกคงอยู่ในปริมาณสูงสุดที่ตัวอย่าง S180 ขณะที่กรดไขมันกรดสเตียริก และโอเลอิก พบมากที่สุดในตัวอย่าง S170 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทางการค้าพบว่าตัวอย่างทางการค้าปรากฏเพียงกรดปาล์มมิติก เท่านั้น ซึ่งตัวอย่างทางการค้าใช้กรดปาล์มมิติกเป็นไขมันในส่วนผสม แต่ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไม่พบอาจเนื่องมาจากปริมาณข้าวมีกรดปาล์มมิติกปริมาณไม่มากและอาจจะถูกทำลายด้วยความร้อนจากการอบแห้งอบแห้ง (Wanyo, *at el.* 2016)



ตาราง 4.34 ผลการวิเคราะห์กรดไขมันในตัวอย่าง และผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยไขมันอิ่มตัวไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง

Samples	Fatty acid (mg/100g)					
	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3n-3
	Palmitic acid	Palmitoleic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	Alpha-linolenic acid
HMR	66.35±0.25 ^b	ND	235.12±7.18 ^c	235.82±10.65 ^d	86.13±9.41 ^d	25.91±9.41 ^h
Emulsion	ND	ND	354.73±23.89 ^a	618.24±14.33 ^a	722.97±28.67 ^a	368.24±23.89 ^a
H50	ND	ND	85.12±2.68 ^e	158.45±4.98 ^e	138.21±4.67 ^c	168.66±4.48 ^c
H60	ND	ND	73.24±3.98 ^e	147.75±9.94 ^e	99.29±4.40 ^d	141.79±5.75 ^d
H70	ND	ND	45.75±2.00 ^f	109.43±8.00 ^f	ND	72.64±6.67 ^f
S170	ND	ND	260.00±15.71 ^b	531.11±25.14 ^b	270.47±11.72 ^b	202.59±10.99 ^b
S180	ND	ND	102.85±2.56 ^d	293.01±6.96 ^c	100.00±9.43 ^d	95.56±9.43 ^e
S190	ND	ND	35.31±7.51 ^s	49.90±2.80 ^s	73.54±0.29 ^e	69.58±4.71 ^s
Commercial	529.59±24.53 ^a	ND	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ND คือ ไม่พบสาร, commercial คือ ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์, HMR คือ ไขมันอิ่มตัว, emulsion คือ ครีมเทียมชั้นตอนอิมัลชัน, Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส, Sx คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่อุณหภูมิเข้าชั้น (170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส)

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) ทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale) พบว่าทุกคุณลักษณะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งการทำแห้งทั้งสองกระบวนการไม่มีความแตกต่างกับครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ แม้ว่าครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ จะได้รับคะแนนความชอบสูงกว่าครีมเทียมผงที่พัฒนาขึ้นในทุกคุณลักษณะ แต่อย่างไรก็ตามก็ผู้ทดสอบยังให้ระดับความชอบของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำที่พัฒนาขึ้น อยู่ในช่วงคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะอยู่ในระดับปานกลางถึงดี ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วง 5.7-6.4 (แสดงในตาราง 4.35)

ตาราง 4.35 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) ทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale)

	Attributes ^{ns}				
	Colour	Flavor/taste	Oiliness	Smoothness	Overall preference
CC	6.30±1.18	6.67±1.03	6.43±1.31	6.50±1.14	6.57±1.13
H50	6.07±1.20	6.23±1.10	6.40±1.07	5.97±1.29	6.03±1.24
S170	6.10±1.09	6.13±1.28	6.17±1.09	6.10±1.21	6.23±1.01

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ^{a,b,c}...อักษรที่แตกต่างกันในแถวแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), CC คือ ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ H50 คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, S170 คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่อุณหภูมิเข้า 170 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส Scoring Test จากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน พบว่า มีจำนวนผู้ทดสอบในด้านลักษณะปรากฏ ได้ระดับการยอมรับปานกลางถึงดีมาก ด้านกลิ่นรสชาติได้ระดับการยอมรับ ต่ำน้อยถึงดีมากดี ด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน ได้ระดับการยอมรับไม่ต่ำถึงดีมาก และด้านยอมรับรวม อยู่ในระดับการยอมรับถึงยอมรับดีมากแสดงดังตาราง 4.36 และตาราง 4.37

ตาราง 4.36 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส Scoring Test (n=30)

คุณลักษณะ		จำนวนผู้ทดสอบ (คน)		
		CC	H50	S170
ลักษณะปรากฏ	ดีมาก	17	5	5
	ดี	7	16	18
	(ลักษณะปรากฏที่ท่าน	ปานกลาง	8	7
	สามารถมองเห็นด้วย	ไม่ดี	1	0
	ตาเปล่า)	ไม่ดีมาก	0	0
สรุปเหตุผล	-			
กลิ่นรสชาติ	มีกลิ่นรสชาติ ดีมาก	27	11	15
	มีกลิ่นรสชาติ ดีปานกลาง	3	9	7
	มีกลิ่นรสชาติ ดี		4	5
	มีกลิ่นรสชาติ ต่ำน้อย		5	3
	มีกลิ่นรสชาติ ต่ำน้อยมาก		1	0
สรุปเหตุผล	-			
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความเป็นเนื้อเดียวกันดีมาก	30	15	18
	ความเป็นเนื้อเดียวกันดี		6	5
	ความเป็นเนื้อเดียวกันปานกลาง		6	5
	ความเป็นเนื้อเดียวกันไม่ดี		2	1
	ความเป็นเนื้อเดียวกันไม่ดีมาก		1	1
สรุปเหตุผล	-			

ตาราง 4.37 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส Scoring Test

(n=30) (ต่อ)

คุณลักษณะ		จำนวนผู้ทดสอบ (คน)		
		CC	H50	S170
ยอมรับรวม	ยอมรับดีมาก	25	10	14
	ยอมรับได้	4	15	15
	ยอมรับ	1	4	1
	ไม่ยอมรับ		1	0
	ไม่ยอมรับมาก		0	0
สรุปเหตุผล	-			

คำนวณต้นทุนการผลิต ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ใน ส่วนวัตถุดิบของสูตรผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ในส่วนวัตถุดิบของสูตรผลิตภัณฑ์สุดท้าย) โดยทำการคำนวณการบริโภค เป็น 4 ขนาดบรรจุ ได้แก่ 1000กรัม 200 กรัม 15 กรัม และ 3 กรัม พบว่ามีต้นทุนเท่ากับ 157.18 บาท 33.09 บาท 2.48 บาท และ 0.50 บาท ตามลำดับ แสดงดังตาราง 4.38-4.39

ตาราง 4.38 ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

Ingredients	Optimum Formula			
	100 g	1 g	Cost/kg	cost/unit 1 kg
Hom Mali Rice	43.37	0.432	40	18.21
Carrageenan	2.65	0.026	1032	28.70
Polysorbate 60	3.97	0.040	500	20.83
Water	14.9	0.149	0.5	0.08
Rice bran oil	17	0.170	125	21.62
Lecithin	0.3	0.003	4000	12.21
Sodium caseinate	1.5	0.015	660	10.07

ตาราง 4.39 ต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ(ต่อ)

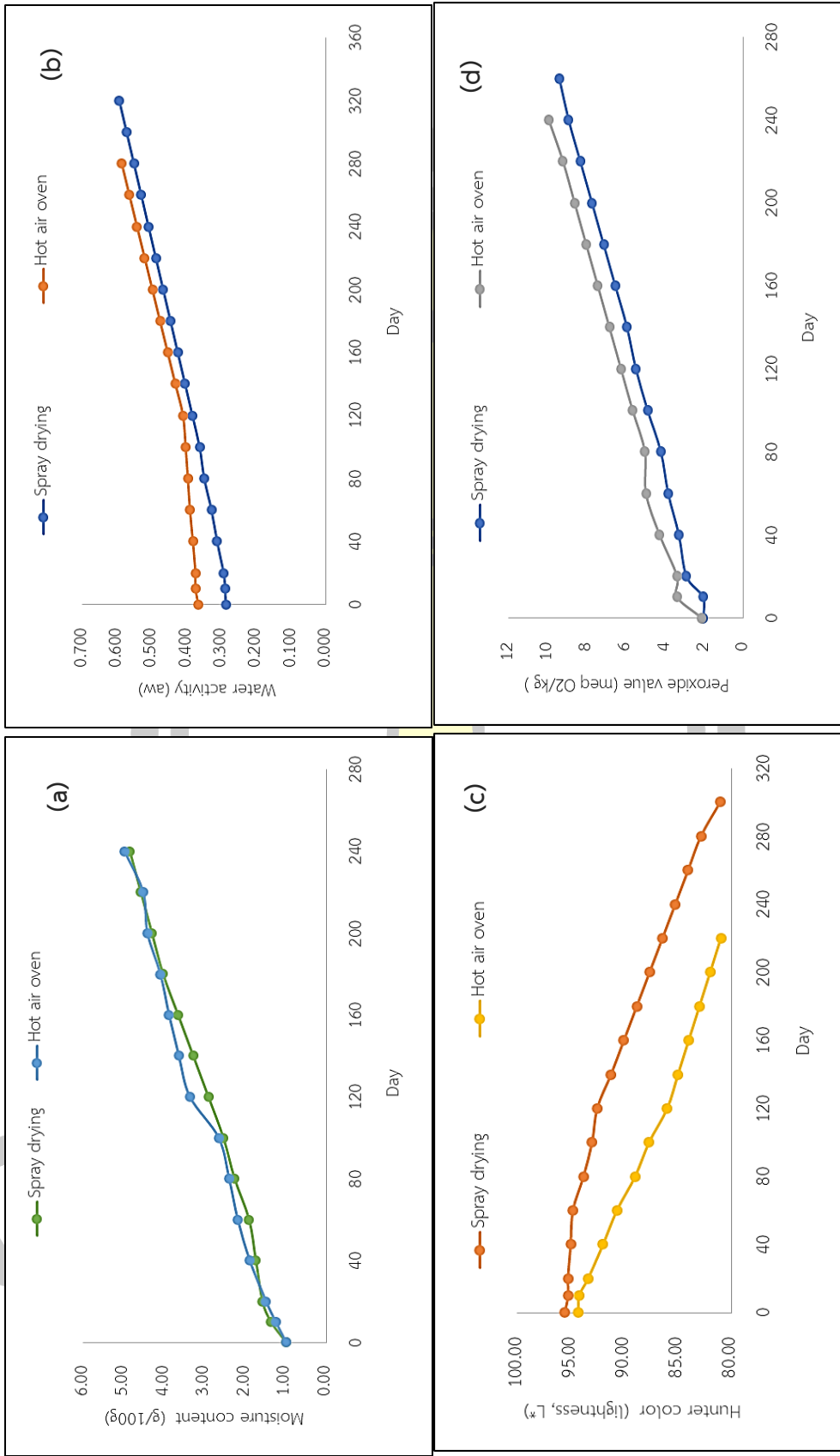
Ingredients	Optimum Formula			
	100 g	1 g	Cost/kg	cost/unit 1 kg
Maltodextrin	8	0.080	480	39.07
Inulin	0.5	0.005	418	2.13
Soy protein	0.1	0.001	173	0.18
Corn syrup	7	0.070	36	2.56
Silicon dioxide	1	0.010	149	1.52
Total	100	1	8332.50	157.18
	: Cost 1000 g		157.18 baht	
	Cost/200 g		33.09 baht	
	Cost/15 g		2.48 baht	
	Cost/3 g		0.50 baht	

4.4 การศึกษาอายุการเก็บ

ผลการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) จากการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ค่าความสว่าง (L^*) และค่าเพอร์ออกไซด์ ซึ่งกำหนดค่าคุณสมบัติสำคัญและลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คือความชื้น จะต้องไม่ค่าไม่เกิน ร้อยละ 5 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) น้อยกว่า 0.6 ของน้ำหนักแห้ง เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ทั้งรา ยีสต์ และแบคทีเรีย (Jay M. James. 1998 และหนังสือบรรจุภัณฑ์อาหาร 2554) ค่าความสว่าง (L^*) ไม่น้อยกว่า 80 และค่าการหืนโดยวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (peroxide value, PV) ซึ่งมีค่าความเหม็นหืนอยู่ในระดับมาตรฐาน ค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน ร้อยละ 10 meq Oxygen / kg. ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 พ.ศ. 2543 เรื่อง น้ำมันและไขมัน โดยทำการศึกษา 2 วิธี คือ การคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยศึกษาอันดับ และอัตราเร็วของปฏิกิริยา และการคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยใช้สภาวะเร่ง ดังนี้

ตาราง 4.40 ผลของอายุการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น ค่าแอกติวิตี (a_w) ค่าความสว่าง (L*) และค่าเปอร์ออกไซด์ (อนุมูลมีทั้งอง)

Day	Moisture content (g/100g)		Water activity (a _w)		Hunter color (lightness, L*)		Peroxide value (meq O ₂ /kg)	
	Hot air oven	Spray drying	Hot air oven	Spray drying	Hot air oven	Spray drying	Hot air oven	Spray drying
0	0.99	0.99	0.368	0.289	94.33	95.60	2.16	2.06
10	1.25	1.36	0.376	0.291	94.24	95.27	3.42	2.09
20	1.48	1.57	0.376	0.295	93.41	95.29	3.41	2.93
40	1.89	1.74	0.384	0.314	92.01	95.04	4.30	3.32
60	2.19	1.91	0.392	0.330	90.71	94.83	5.00	3.86
80	2.40	2.27	0.398	0.351	89.01	93.83	5.05	4.23
100	2.66	2.54	0.404	0.364	87.71	93.03	5.68	4.92
120	3.37	2.91	0.412	0.385	86.00	92.56	6.27	5.51
140	3.64	3.29	0.434	0.406	85.00	91.26	6.87	5.97
160	3.89	3.66	0.456	0.427	84.00	90.06	7.46	6.56
180	4.10	4.03	0.478	0.448	83.00	88.86	8.05	7.16
200	4.42	4.31	0.500	0.469	82.00	87.66	8.64	7.76
220	4.53	4.58	0.522	0.490	81.00	86.46	9.24	8.35
240	4.99	4.86	0.544	0.511		85.26	9.97	8.95
260			0.566	0.532		84.06		9.43
280			0.588	0.553		82.86		
300				0.574		81.06		
320				0.595				



ภาพประกอบ 4.21 (a) ความชื้น, (b)ค่าออกเทอร์แอคทิวิตี (a_w), (c)ค่าความสว่าง (L^*) และ (d)ค่าเปอร์ออกไซด์ เก็บที่อุณหภูมิห้อง

จากผลของอายุการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี (a_w) ค่าความสว่าง (L^*) และค่าเพอร์ออกไซด์ เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความชื้น ค่าความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี (a_w) ค่าความสว่าง (L^*) และค่าเพอร์ออกไซด์ ระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรง ดังภาพประกอบ 4.21 แสดงว่าดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ สามารถคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

$$\text{จากสมการ } C_t = C_0 + k(t - t_0)$$

$$k = (C_t - C_0)/(t - t_0)$$

ดังนั้น

Hot air oven

$$\text{ค่าความชื้น} = (4.99 - 0.99)/(240 - 0)$$

$$= 0.01665$$

ดังนั้น

$$5 = 0.99 + 0.01665(t - 0)$$

$$t = (5 - 0.99) / 0.01665$$

$$= 240.85 \text{ วัน (8.03 เดือน)}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 7.22 เดือน

$$\text{ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี } (a_w) = (0.588 - 0.368)/(280 - 0)$$

$$= 0.00079$$

ดังนั้น

$$0.60 = 0.368 + 0.00079(t - 0)$$

$$t = (0.60 - 0.368) / 0.00079$$

$$= 295.27 \text{ วัน (9.84 เดือน)}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 8.86 เดือน

$$\text{ค่าความสว่าง } (L^*) = (81.00 - 94.33)/(220 - 0)$$

$$= -0.06059$$

ดังนั้น

$$80 = 94.33 + (-0.06059)(t - 0)$$

$$t = (80 - 94.33) / (-0.06059)$$

$$= 236.55 \text{ วัน (7.86 เดือน)}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 7.10 เดือน

$$\text{ค่าเพอร์ออกไซด์} = (9.97 - 2.16)/(240 - 0)$$

$$= 0.03253$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad 10 &= 2.16 + 0.03253 (t - 0) \\ t &= (10 - 2.16) / 0.03253 \\ &= 241.08 \text{ วัน (8.04 เดือน)} \end{aligned}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 7.23 เดือน

Spray drying

$$\begin{aligned} \text{ค่าความชื้น} &= (4.86 - 0.99) / (240 - 0) \\ &= 0.01611 \\ \text{ดังนั้น} \quad 5 &= 0.99 + 0.01611 (t - 0) \\ t &= (5 - 0.99) / 0.01611 \\ &= 248.89 \text{ วัน (8.30 เดือน)} \end{aligned}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 7.47 เดือน

$$\begin{aligned} \text{ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w)} &= (0.595 - 0.289) / (320 - 0) \\ &= 0.00096 \\ \text{ดังนั้น} \quad 0.60 &= 0.289 + 0.00096 (t - 0) \\ t &= (0.60 - 0.289) / 0.00096 \\ &= 325.24 \text{ วัน (10.84 เดือน)} \end{aligned}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 9.76 เดือน

$$\begin{aligned} \text{ค่าความสว่าง (L^*)} &= (81.06 - 95.60) / (300 - 0) \\ &= -0.04846 \\ \text{ดังนั้น} \quad 80 &= 95.60 + (-0.04846) (t - 0) \\ t &= (80 - 95.60) / (-0.04846) \\ &= 321.83 \text{ วัน (10.73 เดือน)} \end{aligned}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 9.66 เดือน

$$\begin{aligned} \text{ค่าเพอร์ออกไซด์} &= (9.43 - 2.06) / (260 - 0) \\ &= 0.02834 \\ \text{ดังนั้น} \quad 10 &= 2.06 + 0.02834 (t - 0) \\ t &= (10 - 2.06) / 0.02834 \\ &= 280.28 \text{ วัน (9.34 เดือน)} \end{aligned}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 8.41 เดือน

ตาราง 4.41 ผลของอายุการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น ค่าแอกติวิตี (a_w) ค่าความสว่าง (L*) และค่าเพอร์ออกไซด์ (สภาวะแรง)

Day	Moisture content (g/100g)		Water activity (a _w)		Hunter color (lightness, L*)				Peroxide value (meq O ₂ /kg)								
	Hot air oven		Hot air oven		Hot air oven		Hot air oven		Hot air oven		Hot air oven		Hot air oven				
	55 °C	45 °C	55 °C	45 °C	55 °C	45 °C	55 °C	45 °C	55 °C	45 °C	55 °C	45 °C	55 °C				
0	0.99	0.99	0.99	0.99	0.368	0.368	0.368	0.289	0.289	94.33	94.33	95.60	95.60	2.16	2.16	2.06	2.06
10	1.34	1.45	1.50	1.63	0.383	0.367	0.287	0.292	0.292	94.11	94.02	95.52	95.32	2.66	2.91	2.27	2.45
20	1.75	1.99	1.61	1.84	0.387	0.387	0.301	0.298	0.298	93.90	91.38	95.69	94.77	2.98	3.66	3.35	3.31
40	2.08	2.68	1.95	2.07	0.392	0.392	0.336	0.330	0.330	93.36	90.16	94.78	94.22	3.95	4.41	3.76	4.09
60	2.45	3.08	2.00	2.29	0.417	0.399	0.359	0.347	0.347	91.70	89.20	94.23	93.33	4.53	5.16	3.91	4.90
80	2.81	3.49	2.29	2.50	0.475	0.436	0.406	0.392	0.392	89.97	87.97	93.48	92.05	5.10	5.91	4.66	5.70
100	3.18	3.89	2.90	2.94	0.503	0.483	0.459	0.449	0.449	88.91	86.57	92.10	90.16	5.68	6.67	4.80	6.51
120	3.54	4.14	3.26	3.32	0.530	0.552	0.492	0.506	0.506	87.51	85.38	90.71	88.88	6.25	7.42	5.73	7.31
140	3.80	4.37	3.52	3.64	0.557	0.592	0.505	0.563	0.563	86.11	84.18	89.33	87.61	7.13	8.17	6.66	8.12
160	4.06	4.50	3.78	3.95	0.585	0.585	0.518	0.518	0.518	84.71	82.99	87.94	86.33	8.01	8.92	7.59	8.92
180	4.32	4.63	4.04	4.16	0.368	0.368	0.551	0.551	0.551	83.32	81.80	86.56	85.05	8.88	9.67	8.53	9.73
200	4.58	4.76	4.30	4.38	0.584	0.584	0.584	0.584	0.584	81.92	81.92	85.17	83.78	9.76	9.76	9.46	9.46
220	4.85	4.99	4.56	4.59								83.79	82.50				
240			4.82	4.91								82.40	81.22				
260												81.01					

คำนวณหาอายุการเก็บต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี้ (a_w) ค่าความสว่าง (L^*) และค่าเพอร์ออกไซด์ (สภาวะแรง) ดังนี้

Hot air oven

ค่าความชื้น

จากสมการ Q_{10} = อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

จะได้ว่า Q_{10} = 220/220 วัน

$$= 1.00$$

$$Q_1 = Q_{10}^{0.1}$$

$$= 1.0000^{0.1}$$

$$= 1.0000$$

และจาก $Q_1^{\Delta T}$ = อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

$$Q_1^{55-30} = 1.0000^{55-30} = \theta_s(30) / \theta_s(55)$$

$$= \theta_s(30)/220$$

$$\theta_s(30) = 1.0000^{25} * 220 \text{ วัน}$$

$$= 220 \text{ วัน (7.33 เดือน)}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 6.60 เดือน

ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี้ (a_w)

จากสมการ Q_{10} = อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

จะได้ว่า Q_{10} = 180/140 วัน

$$= 1.2857$$

$$Q_1 = Q_{10}^{0.1}$$

$$= 1.2857^{0.1}$$

$$= 1.0255$$

และจาก $Q_1^{\Delta T}$ = อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

$$Q_1^{55-30} = 1.0255^{55-30} = \theta_s(30) / \theta_s(55)$$

$$= \theta_s(30)/140$$

$$\theta_s(30) = 1.0255^{25} * 140 \text{ วัน}$$

$$= 262.42 \text{ วัน (8.75 เดือน)}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 7.87 เดือน

ค่าความสว่าง (L*)

จากสมการ $Q_{10} =$ อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

จะได้ว่า $Q_{10} = 200/180$ วัน

$$= 1.1111$$

$$Q_1 = Q_{10}^{0.1}$$

$$= 1.1111^{0.1}$$

$$= 1.0106$$

และจาก $Q_1^{\Delta T} =$ อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

$$Q_1^{55-30} = 1.0106^{55-30} = \theta_s(30) / \theta_s(55)$$

$$= \theta_s(30)/180$$

$$\theta_s(30) = 1.0106^{25} * 180 \text{ วัน}$$

$$= 260.27 \text{ วัน (8.68 เดือน)}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 7.81 เดือน

ค่าเพอร์ออกไซด์

จากสมการ $Q_{10} =$ อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

จะได้ว่า $Q_{10} = 200/180$ วัน

$$= 1.1111$$

$$Q_1 = Q_{10}^{0.1}$$

$$= 1.1111^{0.1}$$

$$= 1.0106$$

และจาก $Q_1^{\Delta T} =$ อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

$$Q_1^{55-30} = 1.0106^{55-30} = \theta_s(30) / \theta_s(55)$$

$$= \theta_s(30)/180$$

$$\theta_s(30) = 1.0106^{25} * 180 \text{ วัน}$$

$$= 234.24 \text{ วัน (7.81 เดือน)}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 7.03 เดือน

Spray dryingค่าความชื้น

จากสมการ Q_{10} = อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

จะได้ว่า Q_{10} = 240/240 วัน

$$= 1.00$$

$$Q_1 = Q_{10}^{0.1}$$

$$= 1.0000^{0.1}$$

$$= 1.0000$$

และจาก $Q_1^{\Delta T}$ = อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

$$Q_1^{55-30} = 1.0000^{55-30} = \theta_s(30) / \theta_s(55)$$

$$= \theta_s(30)/240$$

$$\theta_s(30) = 1.0000^{25} * 240 \text{ วัน}$$

$$= 240 \text{ วัน (8 เดือน)}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 7.0 เดือน

ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w)

จากสมการ Q_{10} = อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

จะได้ว่า Q_{10} = 200/140 วัน

$$= 1.4286$$

$$Q_1 = Q_{10}^{0.1}$$

$$= 1.4286^{0.1}$$

$$= 1.0363$$

และจาก $Q_1^{\Delta T}$ = อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

$$Q_1^{55-30} = 1.0363^{55-30} = \theta_s(30) / \theta_s(55)$$

$$= \theta_s(30)/140$$

$$\theta_s(30) = 1.0363^{25} * 140 \text{ วัน}$$

$$= 341.49 \text{ วัน (11.38 เดือน)}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 10.25เดือน

ค่าความสว่าง (L^*)

จากสมการ Q_{10} = อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

จะได้ว่า Q_{10} = 260/240 วัน

$$= 1.0833$$

$$Q_1 = Q_{10}^{0.1}$$

$$= 1.0833^{0.1}$$

$$= 1.0080$$

และจาก $Q_1^{\Delta T} =$ อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

$$Q_1^{55-30} = 1.0080^{55-30} = \theta_s(30) / \theta_s(55)$$

$$= \theta_s(30)/240$$

$$\theta_s(30) = 1.0080^{25} * 240 \text{ วัน}$$

$$= 293.17 \text{ วัน (9.77 เดือน)}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 8.79 เดือน

ค่าเพอร์ออกไซด์

จากสมการ $Q_{10} =$ อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 45 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

จะได้ว่า $Q_{10} = 200/180 \text{ วัน}$

$$= 1.1111$$

$$Q_1 = Q_{10}^{0.1}$$

$$= 1.1111^{0.1}$$

$$= 1.0106$$

และจาก $Q_1^{\Delta T} =$ อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 30 °C / อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55 °C

$$Q_1^{55-30} = 1.0106^{55-30} = \theta_s(30) / \theta_s(55)$$

$$= \theta_s(30)/180$$

$$\theta_s(30) = 1.0106^{25} * 180 \text{ วัน}$$

$$= 234.24 \text{ วัน (7.81 เดือน)}$$

เมื่อคิด safety factor ที่ 10% จะได้อายุการเก็บเท่ากับ 7.03 เดือน

จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) ผลการคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยศึกษาอันดับศูนย์ และอัตราเร็วของปฏิกิริยาผลิตภัณฑ์ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) พบว่า ค่าความชื้น ค่าออเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ค่าความสว่าง (L^*) และค่าเพอร์ออกไซด์ เมื่อคิด Safety factor ที่ 10% สามารถเก็บได้ 8.03 9.84 7.86 และ 8.04 เดือน ตามลำดับ กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) สามารถเก็บได้ 8.30 10.84 10.73 และ 9.34 เดือน ตามลำดับ ส่วน

การคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยใช้สภาวะเร่ง เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) พบว่า เมื่อคิด safety factor ที่ 10% สามารถเก็บได้ 7.22 8.86 7.10 และ 7.23 เดือน ตามลำดับ กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) สามารถเก็บได้ 7.47 9.76 9.66 และ 8.41 เดือน ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) ทั้งสองกระบวนการ มีอายุการเก็บรักษาโดยการคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยศึกษาอันดับ และอัตราเร็วของปฏิกิริยา เมื่อคิด safety factor ที่ ร้อยละ 10 มีอายุการเก็บรักษาไม่น้อยกว่า 7 เดือน มี โดยสามารถลดควบคุมความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 และมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำ (a_w) ไม่เกิน 0.6 ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติสำคัญและลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง (Jay M.James. 1998 และหนังสือบรรจุกฎหมายอาหาร 2554) และมีค่าความสว่าง (L^*) ไม่ต่ำกว่า 80 และค่าเพอร์ออกไซด์ อยู่ในระดับมาตรฐาน มีค่าไม่เกิน ร้อยละ 10 meq Oxygen / kg. ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 พ.ศ.2543 เรื่อง น้ำมันและไขมัน



บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ขั้นตอนแรกทำการศึกษาคูณสมบัติของวัตถุดิบหลัก และคุณภาพของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นตำหรับ แล้วทำการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ศึกษาการเติมปริมาณข้าวหอมมะลิ และปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน และพัฒนาผลิตภัณฑ์สูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสม โดยทำการหาปริมาณน้ำนมข้าวหอมมะลิ ปริมาณสารให้ความคงตัว วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design กำหนดปัจจัยประกอบด้วย โดยใช้ปริมาณน้ำนมข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 40-50 ร่วมกับสารให้ความคง 2 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน (carrageenan) ร้อยละ 0-5 และ พอลิซอร์เบต 60 (polysorbate 60) ร้อยละ 0 -5 ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ เลซิธิน ร้อยละ 0.5 สามารถในครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน จากนั้นพัฒนากระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ โดยใช้กระบวนการทำแห้งได้แก่ กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ใช้การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ใช้อุณหภูมิที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งให้มีความชื้น ไม่เกินร้อยละ 5 และค่า a_w ไม่เกินร้อยละ 0.6 และการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ใช้อุณหภูมิลมเข้า 3 ระดับ คือ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออก 90-100 องศาเซลเซียส รวมทั้งประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส และศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

5.1 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

5.2 สมมติฐานของงานวิจัย

5.3 สรุปผล

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.1 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

5.1.1) เพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นตำหรับ

5.1.2) เพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

5.1.3) เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

5.1.4) เพื่อประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

สุดท้าย

5.1.5) เพื่อศึกษาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

5.2 สมมติฐานของการวิจัย

5.2.1) ข้าวหอมมะลิบดละเอียดสามารถทดแทนไขมัน ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงได้

5.2.2) ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสามารถลดปริมาณไขมันได้

5.3 สรุปผล

ตอนที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบหลัก และคุณภาพของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดเพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นตำหรับ

ผลการทดลองวิเคราะห์หิวเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพในข้าวหอมมะลินทรีย์ พบว่า มีค่าค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ a_w เท่ากับ 0.27 รวมไปถึงค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 94.39 ค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ -4.85 และค่าสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 7.95 ค่าความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ final viscosity ความหนืดสุดท้ายของการวิเคราะห์ พบว่า มีค่าความหนืด เท่ากับ 381.24 มี set back หรือค่าความหนืดหลังแป้งคืนตัว เท่ากับ 174.19 และมี pasting temperature คืออุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดหรืออุณหภูมิการเกิดเจล ถึง 88 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ปริมาณความชื้น (moisture content) เท่ากับ 2.13 g/100g ไขมัน (fat) เท่ากับ 1.09 g/100g โปรตีน (protein) เท่ากับ 6.28 g/100g เส้นใย (fiber) เท่ากับ 0.61g/100g เถ้า (ash) เท่ากับ 0.28 g/100g และคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เท่ากับ 89.61g/100g ตามลำดับ

ผลการศึกษาลักษณะทั่วไปของครีมเทียมผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด จากการศึกษาส่วนแบ่งการตลาดตามแบรนด์ที่มีการบริโภคผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่มีส่วนแบ่งการตลาดตามแบรนด์สูงสุด พบว่า แบรนด์ commercial 1 ร้อยละ 25 commercial 2 ร้อยละ 0.7 และ commercial 3 ร้อยละ 0.7 (ข้อมูลจาก Euromonitor international 2016) และผลการศึกษาลักษณะทั่วไปของครีมเทียมผงที่มีจำหน่าย พบว่า แบรนด์ commercial 1 มี a_w ต่ำที่สุด คือ 0.276 รองลงมาคือแบรนด์ commercial 3 เท่ากับ 0.310 และแบรนด์ commercial 2 เท่ากับ 0.359 ตามลำดับ รวมไปถึงค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุดคือแบรนด์ commercial 3 เท่ากับ 96.76 รองลงมาคือแบรนด์ commercial 1 เท่ากับ 95.40 และแบรนด์ commercial 2 เท่ากับ 95.35 ตามลำดับ ค่าสีแดง (a^*) สูงที่สุดคือแบรนด์ commercial 1 เท่ากับ -5.58 รองลงมาคือแบรนด์ commercial 3 เท่ากับ -5.64 และแบรนด์ commercial 2 เท่ากับ -5.97 ตามลำดับ และค่าสีเหลือง (b^*) สูงที่สุดคือแบรนด์ commercial 2 เท่ากับ 19.27 รองลงมาคือแบรนด์ commercial 1 เท่ากับ 13.91 และแบรนด์

commercial 3 เท่ากับ 12.52 ตามลำดับ รวมไปถึงมีค่าการละลายสูงที่สุดแบรนด์ commercial 1 ร้อยละ 94.53 รองลงมาคือ แบรนด์ commercial 3 ร้อยละ 94.00 และแบรนด์ commercial 2 ร้อยละ 93.33 ดังนั้นจึงแบรนด์ที่คัดเลือกเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์สูตรต้นแบบต้น ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ คือ แบรนด์ commercial 1 โดยมีสูตรเบื้องต้นโดยอ้างอิงร่วมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง Hedayatnia, Simin 2016 มีส่วนประกอบดังนี้ น้ำมันปาล์มร้อยละ 34.23 เลซิตินร้อยละ 0.5 โซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 3.28 โมลโทเดกซ์ทริน ร้อยละ 14.07 อินนูลิน ร้อยละ 2.34 กลูโคสซีรัป ร้อยละ 7.03 นมขาดมันเนย ร้อยละ 2.34 และ ซิลิกอนไดออกไซด์ ร้อยละ 1 ตามลำดับ

ตอนที่ 2 การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ศึกษาการเติมปริมาณข้าวหอมมะลิและปริมาณสารให้ความคงตัว ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน และพัฒนาผลิตภัณฑ์สูตรผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิที่เหมาะสม โดยวางแผนการทดลองด้วย Mixture design โดยใช้ปริมาณน้ำมันข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 40-50 ร่วมกับสารให้ความคง 2 ชนิด คือ คาร์ราจีแนน (carrageenan) ร้อยละ 0-5 และพอลิซอร์เบต 60 (polysorbate 60) ร้อยละ 0-5 ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ เลซิติน ร้อยละ 0.5 ตามลำดับ แล้ววิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว

ผลการทดลอง โดยวางแผนการทดลองด้วย Mixture design พบว่า แผนการทดลองแบบ user-defined design กำหนดปัจจัยประกอบด้วย ปริมาณข้าวหอมมะลิ (Hom Mali Rice) (X_1) ร้อยละ 40-50 คาร์ราจีแนน (carrageenan) (X_2) ร้อยละ 0-5 และ พอลิซอร์เบต 60 (polysorbate 60) (X_3) ร้อยละ 0-5 ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 13 สิ่งทดลอง

ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนืด ความคงตัว ความสามารถในการละลาย ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) และค่าสี (L^* , a^* , b^*) ทั้ง 13 สิ่งทดลอง พบว่า ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 376.89 - 3330.67 cp ค่าความคงตัวอยู่ในช่วง ร้อยละ 94.00-99.50 ความสามารถในการละลาย อยู่ในช่วง ร้อยละ 79.33-90.00 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) อยู่ในช่วง 0.250-0.348 และค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 83.38-93.25 ค่าสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง -0.05 - -0.61 และค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 10.17-16.72 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ค่าการถดถอยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาต่อความสามารถในการละลาย และค่าสีเหลือง (b^*) ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ เนื่องจากแบบจำลอง มีค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 รวมทั้ง มีค่า R^2 (0.1199 และ 0.8849) และ Adj. R^2 (-0.0561 และ 0.5396) ซึ่งมีค่าที่ต่ำ ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ได้ ส่วนปัจจัยที่ศึกษาต่อ

ค่าความหนืด ค่าความคงตัว ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และค่าสี (L^* และ a^*) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากแบบจำลอง มีค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 รวมทั้ง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.4783, 0.8190, 0.5141, 0.5973 และ 0.9253 รวมทั้งค่า Adj. R^2 เท่ากับ 0.3739, 0.6897, 0.4169, 0.5168 และ 0.8757 ซึ่งมีค่าสูงและมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ได้ดีถึง ร้อยละ 95

ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณความชื้น และค่าเพอร์ออกไซด์ ทั้ง 13 สิ่งทดลอง พบว่า ปริมาณไขมัน อยู่ในช่วง 31.42-39.40 (g/100g) ปริมาณความชื้น อยู่ในช่วง 0.24-2.23 (g/100g) และค่าเพอร์ออกไซด์ อยู่ในช่วง 1.25 -9.49 meq Oxygen / kg

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ค่าการถดถอยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาต่อปริมาณไขมัน และปริมาณความชื้น สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากแบบจำลอง มีค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 รวมทั้ง มีค่า R^2 (0.8852 และ 0.5764) และ Adj. R^2 (0.9713 และ 0.4917) ซึ่งมีค่าสูงและมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด นั่นคือแบบจำลองของปริมาณไขมัน และปริมาณความชื้น สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต ได้ดีถึง ร้อยละ 95 แต่แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาต่อค่าเพอร์ออกไซด์ ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ เนื่องจากแบบจำลอง มีค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 รวมทั้ง มีค่า R^2 และ Adj. R^2 ที่ต่ำ เท่ากับ 0.4567 และ 0.0866 นั่นคือแบบจำลองของค่าเพอร์ออกไซด์ ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 ได้

การทำนายหาสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต 60 สำหรับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ จากผลการวิเคราะห์ค่าการถดถอยแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาต่อปริมาณไขมัน ปริมาณความชื้น ความหนืด ความคงตัว (stability index) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และค่าสี (L^* และ a^*) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณข้าวหอมมะลิ คาร์ราจีแนน และพอลิซอร์เบต ได้ดีถึง ร้อยละ 95 จากการสร้างแผนภาพกราฟคอนทัวร์ (contour plot) เพื่อได้พื้นที่ซึ่งแสดงถึงขอบเขตของช่วงปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสม พบว่า ครบคลุมสูตรที่ 3 5 6 และสูตรที่ 9 ซึ่งมีปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนักของข้าวหอมมะลิ อยู่ระหว่าง ร้อยละ 43.8-46.8 คาร์ราจีแนน อยู่ระหว่าง ร้อยละ 2.50-5 และพอลิซอร์เบต 60 อยู่ระหว่าง ร้อยละ 2.50-5.00 ตามลำดับ และจากการทวนสอบสมการ โดยการคัดเลือกสูตรบริเวณจุดกึ่งกลางในพื้นที่ซ้อนทับซึ่งแสดงขอบเขตที่เหมาะสม จำนวน 1 สูตร ประกอบด้วย ข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 43.14 คาร์ราจีแนน ร้อยละ 2.85 และพอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 4.02 โดยมีค่า desirability เท่ากับ 0.673 มีปริมาณไขมัน 33.69 (g/100g) ปริมาณความชื้นต่ำ 0.91

(g/100g) ค่าความหนืด 2226.48 cp ค่าความคงตัว ร้อยละ 99.17 ค่าอวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) 0.270 ต่ำและค่าความสว่าง(L^*) 87.20 และค่าสีแดง (a^*) -0.16 ตามลำดับ ตามลำดับ

ตอนที่ 3 และ ตอนที่ 4 พัฒนากระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ โดยใช้กระบวนการทำแห้งได้แก่ กระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ใช้การอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) ใช้อุณหภูมิที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งให้มีความชื้น ไม่เกินร้อยละ 5 และค่า a_w ไม่เกินร้อยละ 0.6 และการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ใช้อุณหภูมิลมเข้า 3 ระดับ คือ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออก 90-100 องศาเซลเซียส และประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ มีค่าอวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ในการทำแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) พบว่า เมื่อใช้ อุณหภูมิที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่า a_w เท่ากับ 0.33, 0.37 และ 0.34 ตามลำดับ ค่าสี (L^*, a^*, b^*) พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 94.38, 93.73 และ 89.19 ตามลำดับ ค่าความสีแดง (a^*) เท่ากับ 0.36, 0.23 และ 1.77 ตามลำดับ และค่าความสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 11.33, 13.47 และ 18.78 ตามลำดับ รวมทั้งค่าความหนืด เท่ากับ 2743.00, 2779.00 และ 2797.67 cp ตามลำดับ ค่าความคงตัว เท่ากับ ร้อยละ 99.76, 99.70 และ 99.80 ตามลำดับ ความสามารถในการละลาย เท่ากับ ร้อยละ 86.67, 87.00 และ 89.67 ตามลำดับ ความหนาแน่นบรรจุ เท่ากับ 1.49, 1.49 และ 1.43 (g/cm^3) ตามลำดับและมีขนาดของอนุภาคครีมเทียมผงที่ทดลอง คิดเป็นน้ำหนักที่ติดค้างตะแกรงร้อนที่ 40 mesh เท่ากับ 10.79, 11.31 และ 11.25 กรัม ตามลำดับ ที่ 50 mesh เท่ากับ 2.49, 2.89 และ 3.52 กรัม ตามลำดับ ที่ 80 mesh เท่ากับ 14.9, 214.50 และ 16.66 กรัม ตามลำดับ ที่ 100 mesh เท่ากับ 38.00, 33.97 และ 30.24 กรัม ตามลำดับ และที่ 120 mesh เท่ากับ 34.69, 38.01 และ 39.21 กรัม ตามลำดับ ส่วนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) พบว่า เมื่อใช้ อุณหภูมิเข้าที่ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส มีค่า a_w เท่ากับ 0.29, 0.25 และ 0.22 ตามลำดับ ค่าสี (L^*, a^*, b^*) พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 96.75, 93.26 และ 91.01 ตามลำดับ ค่าความสีแดง (a^*) เท่ากับ 0.17, 0.25 และ 0.79 ตามลำดับ และค่าความสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 6.10, 11.79 และ 14.65 ตามลำดับ รวมทั้งค่าความหนืด เท่ากับ 1889.00, 1888.67 และ 1929.00 cp ตามลำดับ และค่าความคงตัว เท่ากับ ร้อยละ 99.70, 99.33 และ 99.58 ตามลำดับความสามารถในการละลาย เท่ากับ ร้อยละ 88.67, 90.33 และ 90.67 ตามลำดับ ความหนาแน่นบรรจุ เท่ากับ 1.86, 1.96 และ 1.98 (g/cm^3) ตามลำดับ โดยมีขนาดของอนุภาคครีมเทียมผงที่ทดลอง คิดเป็นน้ำหนักที่ติดค้างตะแกรงร้อนที่ 40 mesh เท่ากับ 4.47, 4.54 และ 5.21 กรัม ตามลำดับ ที่ 50 mesh เท่ากับ 2.44, 2.71 และ 3.74 กรัม ตามลำดับ ที่ 80 mesh เท่ากับ 5.45, 2.76 และ 2.43 กรัม ตามลำดับ ที่

100 mesh เท่ากับ 24.61, 23.51 และ 20.81 กรัม ตามลำดับ และที่ 120 mesh เท่ากับ 65.27, 67.33 และ 68.43 กรัม ตามลำดับ

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ทดสอบแบบการให้คะแนน (7-point hedonic scale) พบว่าทุกคุณลักษณะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อน มีคะแนนความชอบด้านสี (colour) อยู่ในช่วง 6.00 - 6.43 กลิ่นรสชาติ (flavor/taste) อยู่ในช่วง 4.73 - 5.83 ความมันวาว (oiliness) อยู่ในช่วง 4.87-5.87 ความเป็นเนื้อเดียวกัน (smoothness) อยู่ในช่วง 5.00-5.53 และความชอบโดยรวม (overall preference) อยู่ในช่วง 5.50-5.90 ตามลำดับ

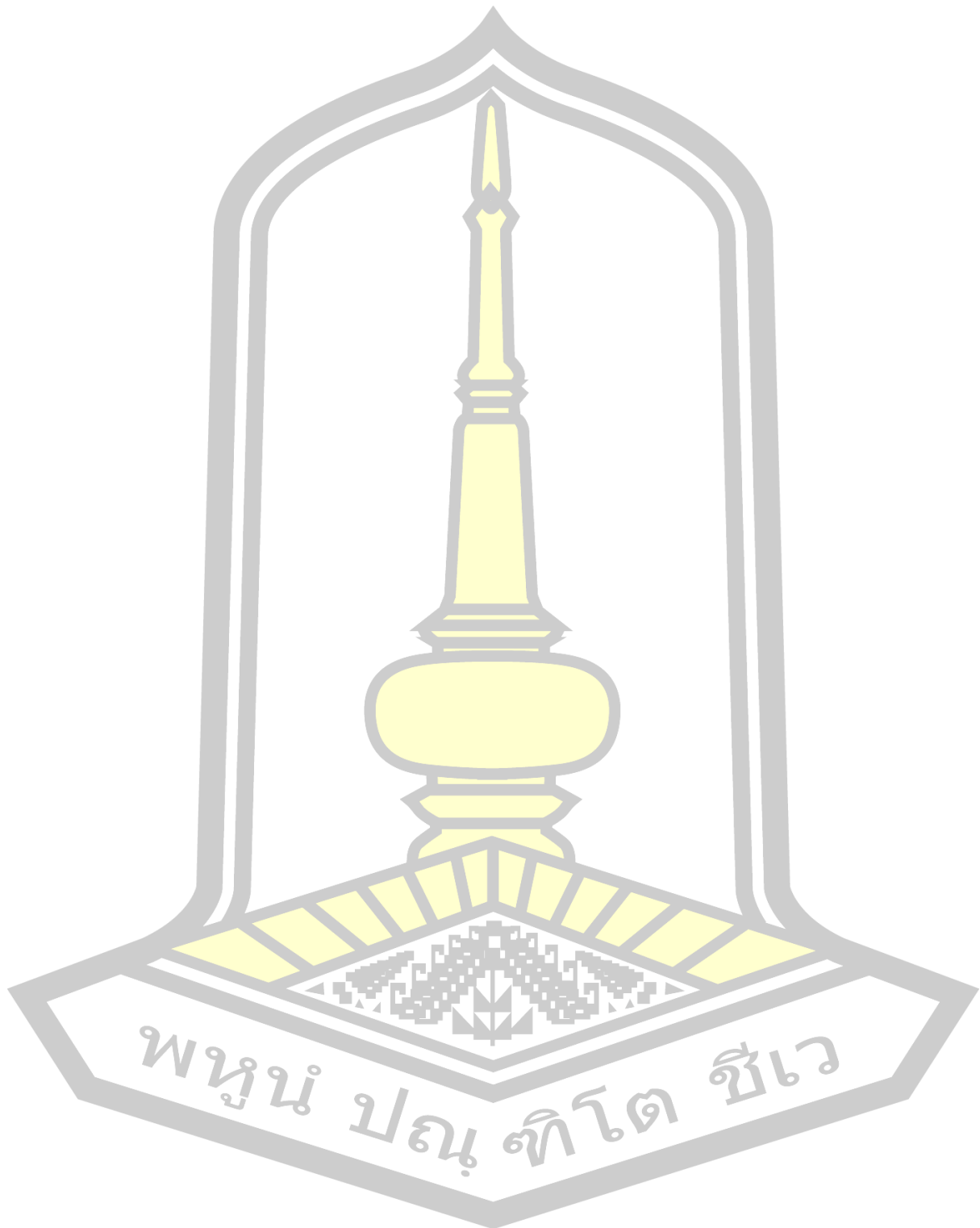
ผลของภาพถ่าย SEM ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้ง ที่กำลังขยาย 200k และ 2000k พบว่า มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันจากการมองเห็นด้วยสายตา จากภาพจะเห็นได้ว่าครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งทั้งสองกระบวนการ มีอนุภาคค่อนข้างกลม มีขนาดเล็ก เกาะตัวกัน เป็นกลุ่ม และพื้นผิวเรียบ

ผลอินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง พบว่ากระบวนการทำแห้งทั้งสองกระบวนการมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่า crystalline ต่อ amorphous ที่ความถี่ 1047 cm^{-1} ต่อ 1022 cm^{-1} เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อนส่งผลมีค่าอัตราส่วนในการตกผลึก (ยึดเกาะกัน) สูงกว่ากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย รวมทั้งมีค่าสูงกว่าครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ และในวัตถุดิบข้าวหอมมะลิ

ตอนที่ 5 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

ผลการคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยศึกษาอันดับศูนย์ และอัตราเร็วของปฏิกิริยาผลิตภัณฑ์ เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) พบว่าค่าความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ค่าความสว่าง (L^*) และค่าเพอร์ออกไซด์ เมื่อคิด Safety factor ที่ 10% สามารถเก็บได้ 8.03 9.84 7.86 และ 8.04 เดือน ตามลำดับ กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) สามารถเก็บได้ 8.30 10.84 10.73 และ 9.34 เดือน ตามลำดับ ส่วนการคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยใช้สภาวะเร่ง เมื่อทำแห้งด้วยกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (hot air oven) พบว่า เมื่อคิด safety factor ที่ 10% สามารถเก็บได้ 7.22 8.86 7.10 และ 7.23 เดือน ตามลำดับ กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) สามารถเก็บได้ 7.47 9.76 9.66 และ 8.41 เดือน ตามลำดับ

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2004. *ตอนที่ 4 บทที่ 4 การอนุรักษ์พลังงานในระบบอื่น ๆ ใน ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโส (ผอส.) ด้านความร้อน*. กรุงเทพมหานคร.
- กระทรวงสาธารณสุข. 2543. *ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 208. (พ.ศ. 2543). เรื่อง ครีမ် ลงวันที่ 4 มีนาคม 2523*. นนทบุรี.
- บุญรักษา กาญจนวรรณิชย์. 2561. “การหาสภาวะการวิเคราะห์หาขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเถ้าและแกลบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง.” *15 พฤศจิกายน 2561*.
<https://www.mtec.or.th/post-knowledges/2799/>.
- จิตอาสา พลังแผ่นดิน (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, สสส.). 2012. “ไขมันดี (HDL) และไขมันไม่ดี (LDL) มีความสัมพันธ์ชัดเจนกับการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด.” *15 พฤศจิกายน 2561*.
[https://www.thaihealth.or.th/blog/myblog/topic/308/108health/348/All/884/ldl,+hdl+\(+ไขมันดีและไขมันไม่ดี+\)/](https://www.thaihealth.or.th/blog/myblog/topic/308/108health/348/All/884/ldl,+hdl+(+ไขมันดีและไขมันไม่ดี+)/).
- ปริญญา จิยพงศ์. 2552. “นางปริญญา จิยพงศ์.” มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ ศิริพร ขำเลิศ และสุจิตรา บุญพิมพ์. 2556. “การศึกษาสมบัติของสารให้ความคงตัวและสารอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม จากข้าวและการนำไปใช้ประโยชน์ในอาหาร.” In กรุงเทพฯ: วารสารการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 8 ฉบับที่ 1.
- นราธิป เตียวนิช. 2539. *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย.
- นราพร ดาลัย. 2553. “การเก็บรักษาและการใช้ความร้อนขึ้นต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวและ แป้งข้าว.” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. *เคมีอาหาร*. โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ
- บุญรักษา กาญจนวรรณิชย์. “การหาสภาวะการวิเคราะห์หาขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเถ้าแกลบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง.” *15 พฤศจิกายน 2561*.
<https://www.mtec.or.th/post-knowledges/2799/>.
- พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ มณฑิรา นพรัตน์ ดวงพร ตั้งบำรุงพงษ์ และ สุเทพ อภินันท์จารุพงศ์. 2545. “กระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายและไมโครเวฟสุญญากาศ.” In กรุงเทพฯ: ห้องสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 257–75.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานพนธ์. “ครีมเทียม.” 15 พฤศจิกายน 2561.

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3636/>.

ไพโรจน์ วิริยจारी. 2535. *เครื่องดื่ม*. : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจारी. 2545. *การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)*. : คณะ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

ไพโรจน์ วิริยจारी สุทัศน์ สุระวัง และจิตรา กลิ่นหอม. 2542. *การพัฒนากระบวนการและสูตร การผลิตชาชงพีชสมุนไพรจากเลมอนทาย์ม เลมอนบาล์ม และคาร์โบมาย*. กรุงเทพฯ.

มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2544. “ข้าวหอมมะลิ.” 15 พฤศจิกายน 2561.

รัชณี ตันตะพานิชกุล. 2544. *ปฏิบัติการบทที่ 3 อินฟาเรดสเปกโทรสโกปี*. กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนานพนธ์. 2548. *วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน*. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

<http://catalog-lib.psru.ac.th/ULIB6/>.

วนิดา เทวารุทธิ์ และ ประจเวท สาตมาลี. 2554. “สเตอรอลจากพีช.” In *สเตอรอลจากพีช*,
กรุงเทพฯ: วารสารอาหาร 16(2), 141-45.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2560. “ข้าวหอมมะลิ.” *วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี*. 15 พฤศจิกายน 2561.

<https://th.wikipedia.org/wiki/ข้าวหอมมะลิ>.

วิภรณ์ กรองทอง. 2559. *รู้จักอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน
นิง*. ปทุมธานี.

วิสิฐ จະวะสิต. 2535. “รู้จักอาหารจากฉลากเรื่อง ครีมเทียม.” *นิตยสารหมอชาวบ้าน*: 163. 25
มกราคม 2019. <https://www.doctor.or.th/article/detail/3204>.

ศรัทธนันท์ คงวรรณ ศรีเวียง ทิพกานนธ์ จิรัชฌา ศุภชูชัย และ ภาณุสรณ์ ชูสุข. 2560. “การศึกษา
อิทธิพลของส่วนผสมต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่จากผงนํ้านม ข้าวกล้องงอกด้วยวิธีพื้นผิว
ตอบสนอง.” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานีบุรี.

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2003. “Water Activity กับอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์
อาหาร.” 25 มกราคม 2019. <http://www.phtnet.org/2003/09/26/>.

สสส. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. 2556. “ครีมเทียม” ใสมากเกินไป..อันตราย
กว่าที่คิด!!” *สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ*. 25 มกราคม 2019.

<http://www.thaihealth.or.th/Content/7106->“ครีมเทียม. ใสมากเกินไป..อันตรายกว่าที่
คิด!!..html ลงวันที่.

สายพิน ธานีฉมาลัย และสิริชัย ส่งเสริมพงษ์. 2550. *เอกสารคำสอนปฏิบัติการวิชา 052331 หลัก
วิศวกรรมอาหาร 1*. กรุงเทพฯ.

- สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2001. *ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย โดยกองโภชนาการ*. กรุงเทพฯ. 25 มกราคม 2019.
http://nutrition.anamai.moph.go.th/images/file/nutritive_values_of_thai_foods.pdf.
- สุนีย์ เสริมสิริโสภณ. 2546. “ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี กายภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- _____. *Particle-Size Distribution*. Retrieved November 15, 2018, from https://en.wikipedia.org/wiki/Particle-size_distribution.
- Aisbitt, B., & Buttriss, J. L. 2006. *Trans Fats – Should We Be Worried?* Nutrition Bulletin.
- American Dairy Products Institute. 1992. *Standards for Grades of Dry Milk Including Methods of Analysis*.
- Anonymous. 2006. “Nondairy Creamer.” *Wikipedia*. <http://en.wikipedia.org/wiki/>.
- AOAC. 2000. *Official Method of Analysis 17th Ed., Association of Official Analytical Chemist*. Washington, D.C.
- AOAC. 2012. *AOAC. Official Methods of Analysis 19th Ed. Gaithersburg Maryland: Association of Official Chemists International*.
- Baker, D.B.and V. Hulett. 1988. “Low Fat Coffee Whitener and Method for Making Low Fat Coffee Whitener. U.S. Patent. 4,784,865.”
- Björn Bergenståhl. 1997. *Physicochemical Aspects of an Emulsifier Functionality*. New York.: Food Emulsifiers and Their Applications.
- Chen, X. D., & Mujumdar, A. S. (Eds.). 2009. *Drying Technologies in Food Processing* (p. 55). John Wiley & Sons.
- Choi, Y. R., E. W. Lusas, and K. C. Rhee. 1982. *Formulation of Nondairy Coffee Whiteners with Cottonseed Protein Isolates*. Journal of the American Oil Chemists’ Society.
- Chusak Kererat. 2006. *Lab 5: Sieve Analysis ASTM D 2217-85 Particle for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constant*. Prachuap Khiri Khan.

- David Stirling Gardiner, Cornhill-on-Tweed, England. 1977. "Non-Dairy Creamer Compositions U.S. Patent No. 4,046,926." : 4,046,926.,1-4.
- Euromonitor international. 2016. "ส่วนแบ่งการตลาดของผลิตภัณฑ์นมชั้นหวาน ครีมแท้ และ ครีมเทียม." 15 พฤศจิกายน 2561.
<http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=157>.
- Gardiner, D.S. 1977. "Nondairy Creamer Composition. U.S Patent. 4,046,926."
- Golde, A. E., and K. A. Schmidt. 2005. *Quality of Coffee Creamers as a Function of Protein Source*. Call Hall.
- Gruetzmacher, Thomas J., and R. L. Bradley Jr. 1991. "Acid Whey as a Replacement for Sodium Caseinate in Spray-Dried Coffee Whiteners." *Journal of Dairy Science* 74(9): 2838–49.
- Gupta, A. K., et al. 2011. *Role of Phytosterols in Lipid-Lowering: Current Perspectives*. London: An International Journal of Medicine 104.4.
- Healthy. 2551. "สุขภาพดี ด้วยสเตอรอลจากพืช." 26 กุมภาพันธ์ 2562.
<http://dmw2439933.blogspot.com/>.
- Hedayatnia, Simin, et al. 2016. "Effect of Different Fat Replacers and Drying Methods on Thermal Behaviour, Morphology and Sensory Attributes of Reduced-Fat Coffee Creamer." *LWT - Food Science and Technology* 72: 330–42.
- Herbs & Info. For Health. 2554. "เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับ ไฟโตสเตอรอล กับโคเลสเตอรอล." 26 กุมภาพันธ์ 2562. <http://www.facebook.com/notes/herbs-info-for-health/253732361334271?ref=nf>.
- J. Ratseewoa, F.J. Warrenb, S. Siriamornpuna, *. 2019. "The Influence of Starch Structure and Anthocyanin Content on the Digestibility of Thai Pigmented Rice." *Food Chemistry* 298(124949).
- Jay M.James. 1998. *Modern Food Microbiology, An Aspen Publication*.
- Kelly, P. M., Oldfield, D. J., and O’Kennedy, B. T. 1999. "The Thermostability of Spray Dried Imitation Coffee Whiteners." *International Journal of Dairy Technology* 52(3): 107–13.
- Lewicki, P. P. 2004. "Water as the Determinant of Food Engineering Properties. A Review." *Journal of Food Engineering* 61(4): 483–495.

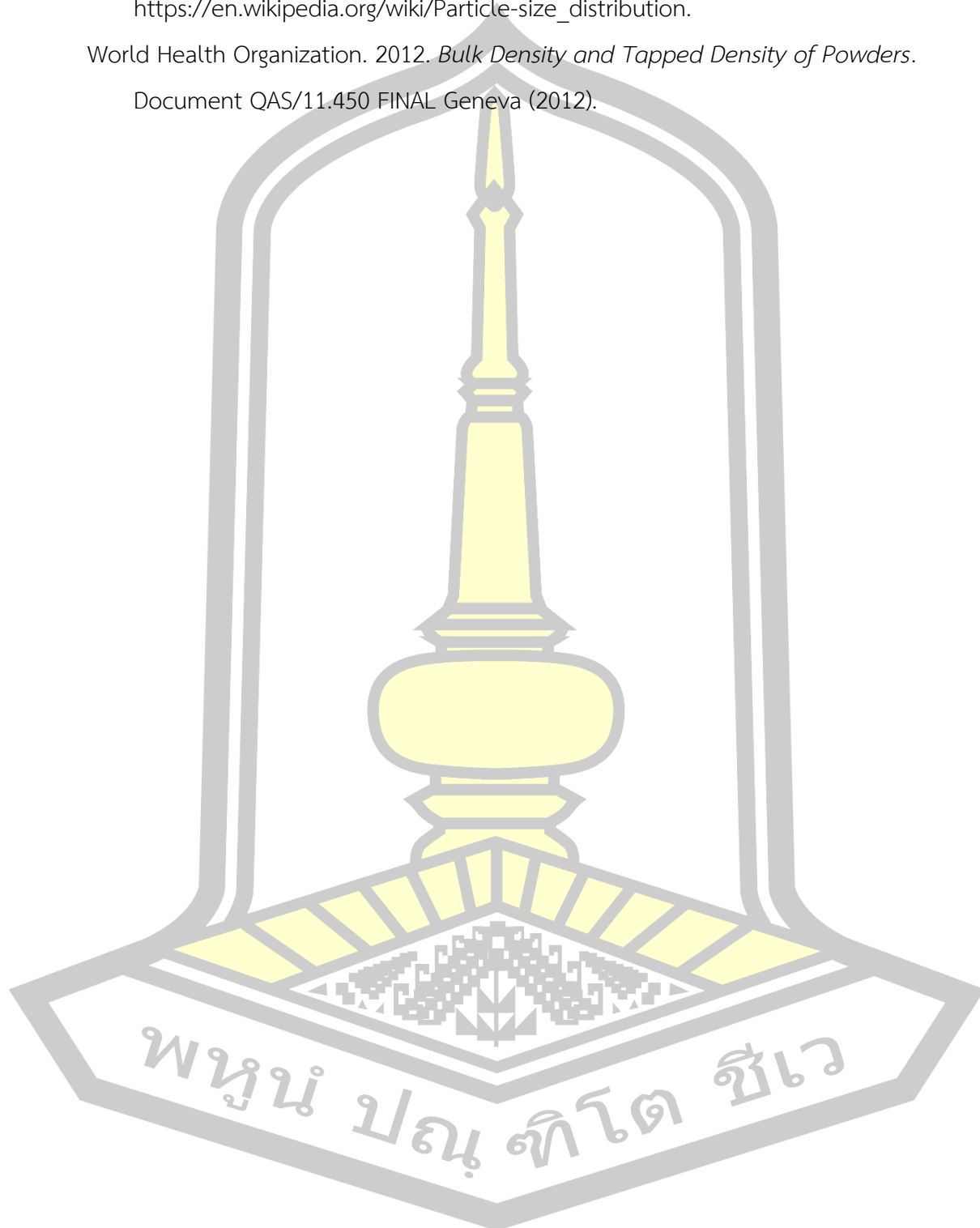
- Maa, Y. F., Nguyen, P. A., Sit, K., & Hsu, C. C. 1998. "Spray-Drying Performance of a Bench-Top Spray Dryer for Protein Aerosol Powder Preparation." *Biotechnology and Bioengineering* 60(3): 301–9.
- McClements, D. J. 2015. *Principles, Practices, and Techniques*. 3rd Edition. Food Emulsion, CRC Press LLC., Florida.
- Nezbed, R., & Zamzow, W. 1973. "Method for Spray Drying Coffee Whitener." U.S. Patent No. 3,738,412."
- Nollet, L. M. 2004. *Handbook of Food Analysis, -3 Volume Set*. CRC Press.
- Onwulata, C. 2005. *Encapsulated and Powdered Food*. New York: CRC Press.
- P.M. Kelly. 1998. *Coffee-Stability of Agglomerated Whole Milk Powder and Other Dairy Creamer Emulsions*. The Dairy Products Research Centre Moorepark, Fermoy, Co. Cork.
- Porody, W.T. 1994. "Low Fat, Low Cholesterol, and Low Calorie Dairy Creamer . U.S Patent. 5,366,751."
- Schoch, T. J. 1964. (28) *Swelling Power and Solubility of Granular Starches*. ed. Academic Press. New York : London: Methods in carbohydrate chemistry, Vol. IV: starch.
- Spiller, G.A. 1996. *Lipids in Human Nutrition*. New York.: CRC Press.
https://books.google.co.th/books?hl=th&lr=&id=wWHnyDcfscQC&oi=fnd&pg=PA11&dq=+Lipids+in+Human+Nutrition.&ots=lhNEvzpR6i&sig=mksb5j6hAhjD_wZpNleHwKNOODE&redir_esc=y#v=onepage&q=Lipids in Human Nutrition.&f=false
- Stauffer, C.E. 1996. *Fats and Oils*. Eagan Press. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9705349>.
- Turchiuli, C., Eloualia, Z., El Mansouri, N., & Dumoulin, E. 2005. "Fluidised Bed Agglomeration: Agglomerates Shape and End-Use Properties." *Powder Technology* 157(1–3): 168–75.
- Wanyo, P., Meeso, N., Kaewseejan, N., & Siriamornpun, S. 2016. "Effects of Drying Methods and Enzyme Aided on the Fatty Acid Profiles and Lipid Oxidation of Rice By-Products." *Drying Technology* 34(8): 953–61.
- Westergaard, V. A. G. N. 2004. *Milk Powder Technology Evaporation and Spray Drying*. Niro A/S. Copenhagen. Denmark. Fifth edition.

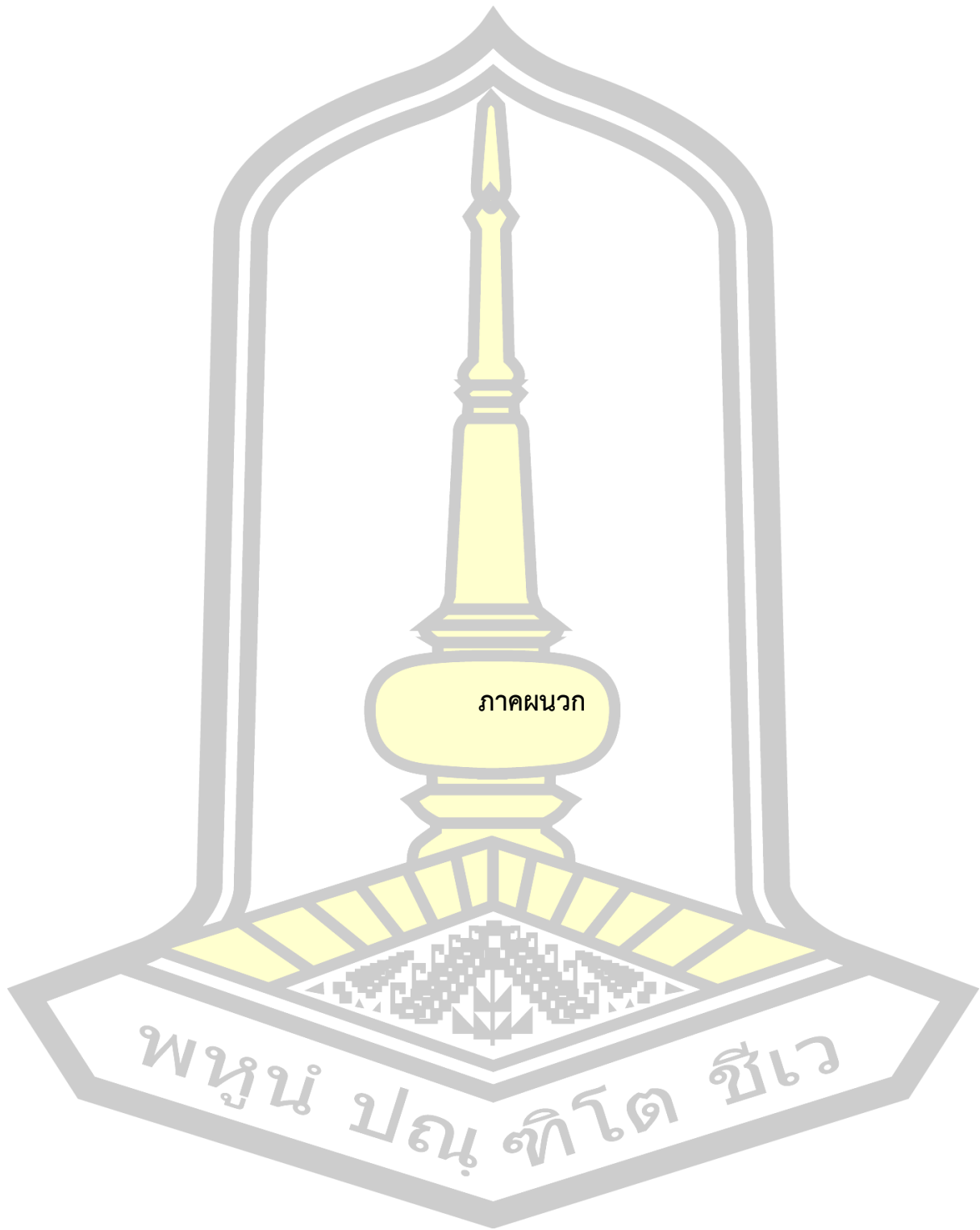
Wikipedia. "Particle Size Distribution." 15 พฤศจิกายน 2561.

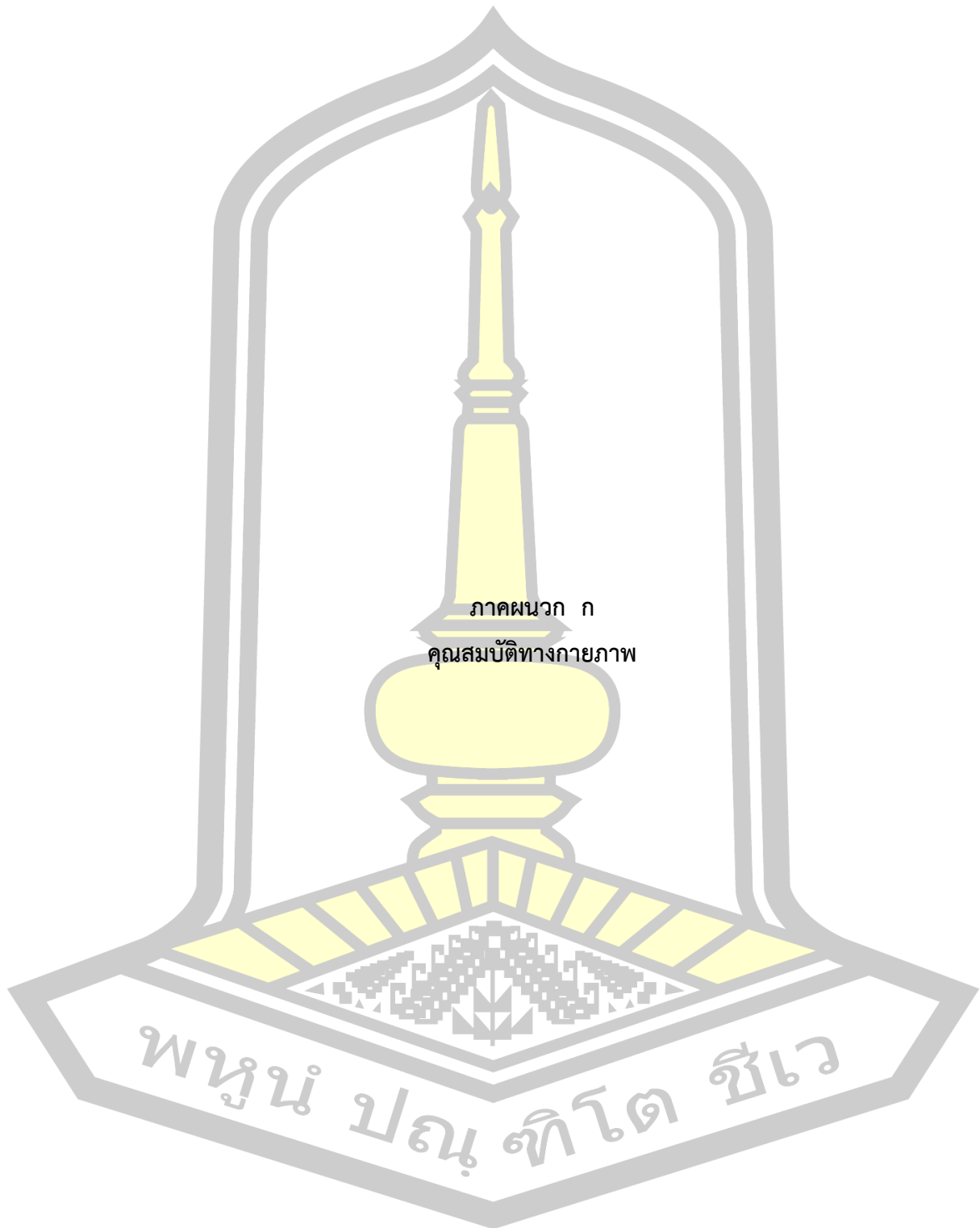
https://en.wikipedia.org/wiki/Particle-size_distribution.

World Health Organization. 2012. *Bulk Density and Tapped Density of Powders*.

Document QAS/11.450 FINAL Geneva (2012).







ภาคผนวก ก
คุณสมบัติทางกายภาพ

พหุมนุ ปณุ ทิโต ชีเว

ก.1 การวัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Colorimeter

วัดโดยใช้เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Minottra รุ่น CR-400 เปิดเครื่องวัดสี ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะให้มีความสูง 1 เซนติเมตร เคลือบผิวหน้าตัวอย่างให้เรียบ ใช้หัววัดสีวางทาบลงบนตัวอย่างในแนวตั้งฉากและอ่านค่า แสดงผลการวัดในระบบ L^* a^* และ b^* โดยการวัดค่าสีสุ่มวัดบนตัวอย่างละ 3 ตำแหน่ง ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

เมื่อ L^* คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

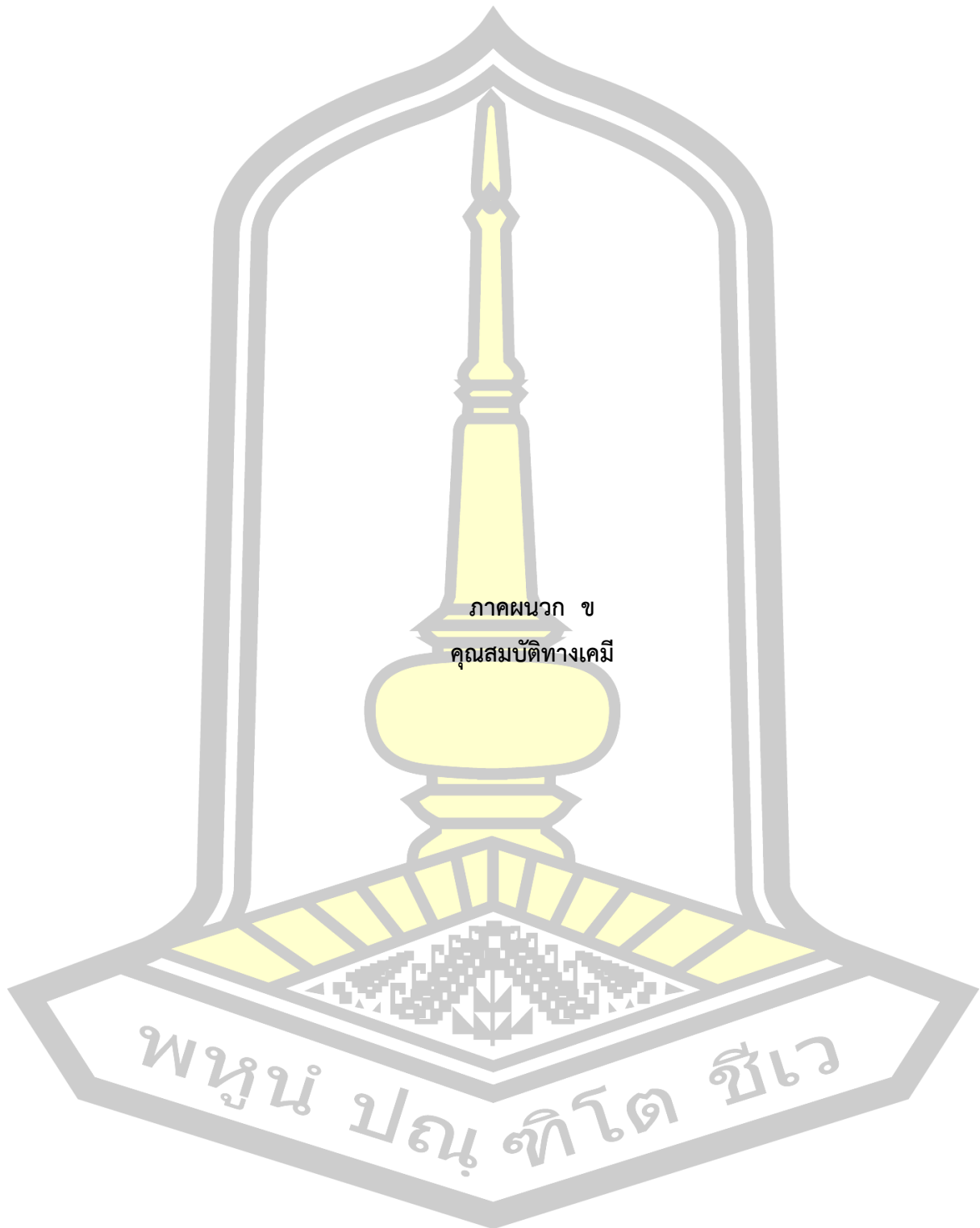
a^* คือ ค่าสีแดง เมื่อ a^* มีค่าบวก เป็นสีแดง เมื่อ a^* มีค่าลบ เป็นสีเขียว

b^* คือ ค่าสีเหลือง เมื่อ b^* มีค่าบวก เป็นสีเหลือง เมื่อ b^* มีค่าลบ เป็นสีน้ำเงิน

ก.2 ความหนาแน่นจำเพาะ

นำตัวอย่างมาชั่ง 20 กรัม แล้วใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าเล็กน้อยให้ได้ปริมาตรประมาณ 20 มิลลิลิตร เทตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณตามสูตร





ข.1 การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity, a_w)

เปิดเครื่องวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ โดยเปิดเครื่องทิ้งไว้ 30 นาทีก่อนใช้งาน จากนั้นใส่ตัวอย่างที่บดละเอียดไม่เกินครึ่งหนึ่งของตลับพลาสติกและต้องครอบคลุมพื้นที่ของกันตลับพลาสติก ทำความสะอาดบริเวณด้านนอกของตลับพลาสติกให้สะอาด ใส่ตลับพลาสติกลงในช่องใส่ตัวอย่าง แล้วกดปุ่มสตาร์ทค้างไว้ แล้วรอจนกระทั่งเครื่องวิเคราะห์เสร็จจะส่งสัญญาณเสียงดังขึ้น

ข.2 ปริมาณความชื้น

นำชุด moisture can เข้าอบในตู้อบ hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 °c นาน 30 นาที นำมาใส่ desicator ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่ง moisture can พร้อมฝาบนเครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึงหน่วยมิลลิกรัม นำตัวอย่างใส่ moisture can ประมาณ 3.000–5.000 กรัม แล้วปิดฝานำไปชั่งน้ำหนักอย่างรวดเร็ว บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน หลังจากนั้นนำ moisture can เปิดฝาใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °c เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำ moisture can ออกจากตู้อบ ปิดฝาใส่ desicator นาน 30 นาทีหรือจนกระทั่งเย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณความชื้น

$$\text{ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละ} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ข.3 ปริมาณเถ้า

นำถ้วย crucible ก่อนใส่ตัวอย่างเผาในเตาเผา muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 °c นาน 30 นาที แล้วนำ crucible ใส่ใน desicator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่งตัวอย่างบนเครื่องชั่งละเอียดถึงหน่วยมิลลิกรัมประมาณ 5.000 กรัม ลงในถ้วย crucible เเผาเถ้าให้เป็นถ่านสีดำด้วย hot plate ในตู้ควีนโดยเพิ่มอุณหภูมิทีละน้อยจนควันหมด จากนั้นเผาต่อในเตาเผา muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 °c นานข้ามคืน (อย่างน้อย 16 ชั่วโมง) แล้วนำเถ้าที่ได้ทิ้งให้เย็นใน desicator แล้วนำไปชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{S}$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักถ้วย crucible

W_2 คือ น้ำหนักถ้วย crucible และน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

S คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

ข.3 ปริมาณโปรตีน

ขั้นตอนการย่อย

ซึ่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1.000–3.000 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 5 กรัม แล้วเติมกรดซัลฟูริก ปริมาณ 20 มิลลิลิตร วางหลอดย่อยในตัวอย่างย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ต่าง และเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย เปิดสวิทช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 °C นาน 30 นาทีจากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 °C ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส ปล่อยให้เย็น

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น แล้วนำขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (เข้มข้นร้อยละ 4) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอสังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น กลั่นให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 125 มิลลิลิตร แล้วไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{1.4007 \times N \times (A-B) \times F}{W}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับ Blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ ค่าคงที่สำหรับอาหารหรือตัวอย่างอื่นๆ ที่ไม่ระบุเฉพาะ (6.25)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

ข.4 ปริมาณไขมัน

นำขวดกลมสำหรับการหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้า ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ซึ่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก 3-5 กรัม ปล่อยให้มันติดใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง จากนั้นนำหลอดตัวอย่างใส่ลงใน soxhlet เติมน้ำมันตัวทำละลายปิโตรเลียม อีเทอร์ ลงในขวดหาไขมันประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตา ประกอบอุปกรณ์ชุดกลั่นไขมัน

พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิตซ์ให้ความร้อน ปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลาย กลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่ออนาที เมื่อครบ 6 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจาก soxhlet ที่ให้ตัวทำละลายไหลจาก soxhlet ลงในขวดก้นกลมจนหมด ระบายตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ แล้วนำขวดหาไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนแห้ง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{W_2 \times 100}{W_1}$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักขวดตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักขวดตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ข.5 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

ชั่งตัวอย่างใส่ในถ้วยแก้วแล้ว นำถ้วยแก้วใส่ในเครื่องวิเคราะห์เส้นใยอาหารทุกหลุม เติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในถ้วยแก้วให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที กรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในถ้วยแก้วให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที กรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร และกรองจนแห้ง ล้างสารตัวอย่างที่อยู่ใน crucible ด้วย อะซิโตน 3 ครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร แล้วอบถ้วยแก้วที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งในโถดูดความชื้นเย็น และชั่งน้ำหนัก (W_2) บันทึกผล เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งในโถดูดความชื้นเย็นและชั่งน้ำหนัก (W_1) บันทึกผล แล้วคำนวณหาปริมาณเส้นใยอาหาร

$$\text{ปริมาณเส้นใยอาหาร} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{S}$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักแก้ว

W_2 คือ น้ำหนักแห้งของกาก

S คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

ข.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

คำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดโดยนำผลวิเคราะห์ความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใย และเถ้า ที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างมาคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (ร้อยละ) = 100 - (ร้อยละของความชื้น + ร้อยละของไขมัน + ร้อยละของโปรตีน + ร้อยละของเส้นใย + ร้อยละของเถ้า)

ข.7 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดรังสีอินฟราเรดจำแนกออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ย่านอินฟราเรดใกล้ (ν 4,000-12,800 cm^{-1}) ย่านอินฟราเรดกลาง (ν 200-4,000 cm^{-1}) และย่านอินฟราเรดไกล (ν 10-200 cm^{-1}) เมื่อสารอินทรีย์ดูดกลืนรังสีอินฟราเรดกลางโดยเฉพาะช่วงความยาวคลื่น 2,500-15,000 นาโนเมตร หรือเลขคลื่น (ν) 667-4,000 cm^{-1} เรียกว่าความถี่ ทำให้เกิดทรานซิชัน การสั่นพร้อมกับทรานซิชันการหมุน เรียกเทคนิคนี้ว่า อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ซึ่งทรานซิชันการสั่นนี้ จะทราบชนิดหมู่ที่ ำหน้าที่ เช่น พันธะคู่ พันธะสาม หมู่คาร์บอนิล หมู่ไฮดรอกซิล และหมู่อะมิโน เป็นต้น ภายในโครงสร้างของสารอินทรีย์

เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเกิดจากสารอินทรีย์ดูดกลืนรังสีอินฟราเรดช่วง 667- 4,000 cm^{-1} ทำให้พันธะภายในโมเลกุลของสารอินทรีย์เกิดทรานซิชันการสั่น ข้อมูลที่ได้จากสเปกตรัม ทำให้ทราบหมู่ทำหน้าที่ ดังนี้

1. การสั่นหลักมูลจำแนกออกเป็น 2 แบบ คือ การสั่นแบบยืดทั้งสมมาตรและไม่สมมาตร และการสั่นแบบงอ ได้แก่ การโยก การไถ่ การบิด และการกระดิก
2. การสั่นแบบยืดและแบบงอเฉพาะพันธะหรือโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่หรือมีสภาพ ขั้วไฟฟ้าลบเท่านั้นที่สามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ เรียกว่า ว่องไวต่อรังสีอินฟราเรด
3. จำนวนการสั่นหลักมูลของโมเลกุลรูปร่างเส้นตรง เท่ากับ $3n - 5$ ส่วนโมเลกุลรูปร่างไม่เป็น เส้นตรง เท่ากับ $3n - 6$ โดยที่ n คือ จำนวนอะตอมภายในโมเลกุล
4. จำนวนพีกในอินฟราเรดสเปกตรัมมากกว่าหรือน้อยกว่าจำนวนการสั่นหลักมูล เนื่องจากปัจจัยของความเข้มและความถี่ของพีก โมเมนต์ขั้วคู่ แถบความถี่เกิน แถบผลบวก แถบผลต่าง และ แถบ เฟอร์มิเรโซแนนซ์
5. คำนวนความถี่ของการสั่น (แบบยืด) จากอนุพันธ์กฎของฮุก ดังนี้

$$\bar{\nu} = 1 \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

โดยที่ $\bar{\nu}$ คือ ความถี่ของการสั่น (cm^{-1})

c คือ ความเร็วแสง เท่ากับ 3×10^{10} เซนติเมตรต่อวินาที

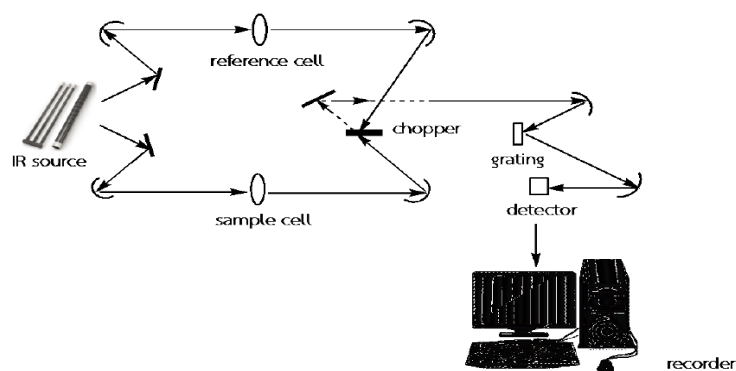
π คือ ค่าคงที่ เท่ากับ 3.14

k คือ ค่าคงที่ของพันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม เท่ากับ 5×10^5 , 10×10^5 และ 15×10^5 ไดน์ต่อเซนติเมตร (dyne/cm) ตามลำดับ

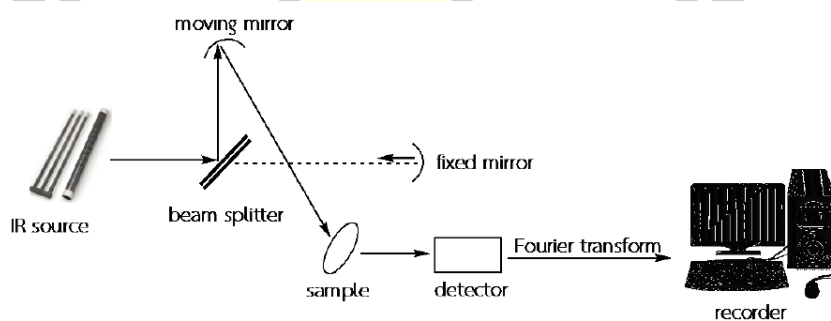
μ คือ มวลลดทอน (reduced mass) ของอะตอม (กรัม) เท่ากับ $m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ โดยที่ m_1 และ m_2 คือ มวลอะตอมระหว่างพันธะ

6. ปัจจัยต่อความถี่ของการสั่น ได้แก่ ความแข็งแรงของพันธะ ชนิดของอะตอมระหว่างพันธะ ชนิดของการสั่น ชนิดไฮบริดเซชัน ผลเรโซแนนซ์และระบบสังยุค ผลเหนี่ยวนำ ความเครียดของวง และ พันธะไฮโดรเจน

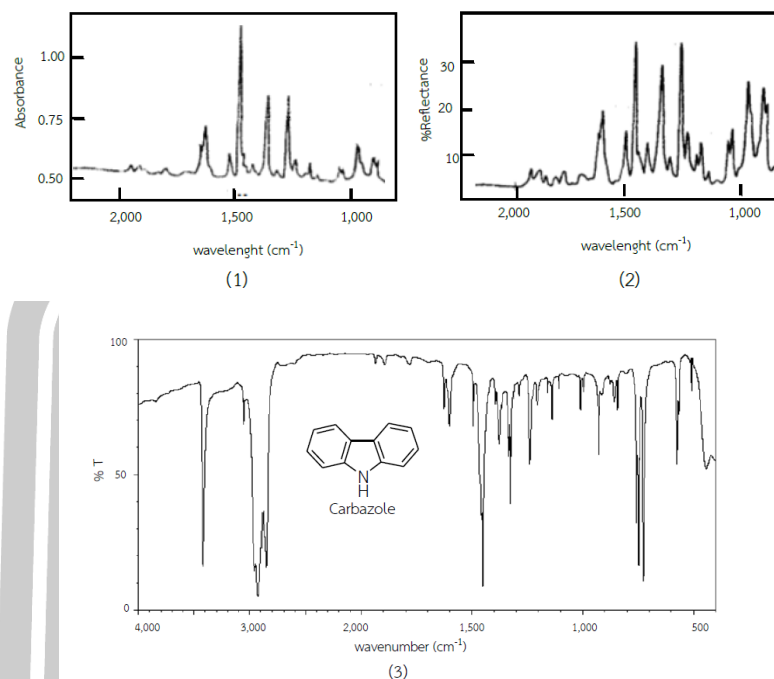
7. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์จำแนกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบกระจายและแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มหรือเครื่อง FTIR ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้เครื่อง FTIR โดยความเข้มของสัญญาณจะประมวลผลโดยการแปลงฟูเรียร์ ได้เป็นสเปกตรัมพลอตความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความส่องผ่านและเลขคลื่น สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งสถานะแก๊ส ของเหลว และของแข็ง



ภาพประกอบ ข.22 ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์แบบกระจาย



ภาพประกอบ ข.23 ส่วนประกอบของเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี 2,000



ภาพประกอบ ข.24 อินฟราเรดสเปกตรัมของคาร์บาโซล (Carbazole) 1) และ 3) สเปกตรัมแบบดูดกลืน และ 2) สเปกตรัมแบบสะท้อน
ที่มา มหาวิทยาลัยรามคาแหง, 2017

ข.8 วิธีวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของกรดไขมัน (Sihamala, 2010)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Lipids analyses)

1. นำตัวอย่างมาคนให้เป็นเนื้อเดียวกันให้ละเอียด
2. สกัดตัวอย่างด้วยสารละลาย C:M (2:1) จำนวน 20 มิลลิลิตร (โดยสาร C:M จะมีการเติม BHT 10 มล/ลิตร)
3. เขย่าตัวอย่างกับสาร C:M (2:1) ให้เข้ากัน ปิดฝาขวดเก็บตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
4. กรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยจะมีการแยกเป็นตัวรองรับสารด้านล่าง
5. ล้างตัวอย่างด้วยสารละลาย C:M (2:1) ในขวดเก็บตัวอย่างจำนวนครั้งละ 10 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง
6. กรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยจะมีการแยกเป็นตัวรองรับสารด้านล่าง
7. แยกกระดาษกรอง Whatman No. 1 ออกจากกรวยแยก
8. เติม NaCl 0.9% จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างที่อยู่ในกรวยแยก เขย่าให้เข้ากัน

9. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 8 ชั่วโมง หรือจนตัวอย่างแยกเป็น 2 ชั้นและด้านบนใส
10. ทำการแยกตัวอย่างชั้นล่างซึ่งเป็นไขมันใส่ในขวดระเหยสุญญากาศ โดยอย่าให้ชั้นบนซึ่งเป็นน้ำปนมา
11. นำตัวอย่างชั้นล่างซึ่งเป็นไขมันไประเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Evaporator) โดยใช้อุณหภูมิและความดันของเครื่องระเหยสุญญากาศของสารคลอโรฟอร์ม เมื่อตัวอย่างระเหยเหลือแต่ไขมันให้นำคลอโรฟอร์ม (chloroform) มาละลายตัวอย่างในขวดระเหยสุญญากาศประมาณ 2-3 ครั้ง ดูดตัวอย่างที่ละลายด้วยคลอโรฟอร์มมาใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มล จากนั้นให้ปรับปริมาตรตัวอย่างให้ครบ 10 มล ด้วยคลอโรฟอร์มหลอดทดลองขนาด 5 มิลลิลิตร อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง เก็บในโถดูดความชื้น (desiccator) ชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนัก
12. นำตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 5 มิลลิลิตร จากข้อ 11
13. ระเหยตัวอย่างภายใต้แก๊สไนโตรเจนด้วยเครื่อง Nitrogen evaporator จนตัวอย่างแห้ง
14. เก็บตัวอย่างไว้ในโถดูดความชื้น (desiccator) ประมาณ 1 คืนหรือ 6 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง คำนวณปริมาณไขมัน

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมัน (Fatty acids analyses)

1. นำตัวอย่างจากข้อ 14 จำนวน 1 มิลลิลิตร โดยให้มีไขมันอยู่ระหว่าง 10-20 มิลลิกรัม./มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียวที่ข้างในฝาเป็นเทปลอน
2. เติม internal standard (C:19) จำนวน 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ระเหยตัวอย่างภายใต้แก๊สไนโตรเจนด้วยเครื่อง Nitrogen evaporator จนตัวอย่างแห้ง
4. เติมกรดซัลฟูริก (H₂SO₄) ในเมธานอล (methanol) ความเข้มข้น 0.9 mol/L จำนวน 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. เติมโทลูอิน (Toluene) จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. ปิดฝาหลอดทดลอง เขย่าตัวอย่างให้เข้ากันดี
7. นำไปทำปฏิกิริยาเมทิลเลชัน (methylation) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) และในระหว่างทำปฏิกิริยาให้เขย่าอย่างน้อย 3 ครั้ง
8. ทำการลดอุณหภูมิตัวอย่างทันที (cooling) โดยใช้น้ำสะอาดหรือน้ำสะอาดผสมน้ำแข็ง เพื่อหยุดปฏิกิริยาเมทิลเลชัน (methylation)
9. เติมเฮกเซน (Hexane) AR grade (เกรดสำหรับห้องแล็บ) จำนวน 2 มิลลิลิตร
10. เติมน้ำกลั่น (Distillated Water; DW) จำนวน 2 มิลลิลิตร

11. เขย่าให้ตัวอย่างผสมกันดีเป็นเวลา 1 นาที
12. นำตัวอย่างเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm เวลา 20 นาที เพื่อให้สารละลายแยกชั้น
13. ดูดสารละลายด้านบนใสในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นจำนวน 2 มิลลิลิตร โดยเวลาใส่ตัวอย่างลงในน้ำกลั่นให้กระแทกตัวอย่างลงในน้ำกลั่นแรงนิดหนึ่งจากนั้นเขย่าให้เข้ากัน ตัวอย่างจะแยกเป็น 2 ชั้น
14. ดูดสารละลายด้านบนใสในหลอดทดลองที่มีโซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรอส (Na_2SO_4 anhydrous) จำนวนครึ่งช้อนตักสาร โดยเวลาใส่ตัวอย่างให้กระแทกตัวอย่างลงไปแรงนิดหนึ่ง เขย่าตัวอย่างให้ผสมกันจากนั้นเอียงตัวอย่างไปมา ถ้า Na_2SO_4 ใสได้แสดงว่าใช้ได้ ตัวอย่างน่าจะไม่มีน้ำปน
15. ดูดสารละลายด้านบนใสในหลอดทดลองฝาเกลียวที่ข้างในฝาเป็นเทปลอน และหลอดสะอาดแห้ง ถ้าตัวอย่างยังไม่ทำการฉีด GC (Gas Chromatography) ทันทึให้เก็บตัวอย่างที่ -20 องศาเซลเซียส
 - 15.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดตัวอย่างใน Sep-pack ดังนี้
 - ต่อ Sep-pack เข้ากับหลอดฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตร ใช้ปิ๊กเกอร์รองรับสารด้านล่าง
 - เติมน้ำ C:M = 2:1 จำนวน 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดฉีดยา ฉีดเข็มฉีดยาซ้ำ ๆ ใช้ปิ๊กเกอร์รองรับสารด้านล่าง
 - เติมน้ำมันปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) จำนวน 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดฉีดยา ฉีดเข็มฉีดยาซ้ำ ๆ ใช้ปิ๊กเกอร์รองรับสารด้านล่าง
 - ดูดตัวอย่างทั้งหมดใสในหลอดฉีดยา ฉีดเข็มฉีดยาเร็ว ๆ ใช้ปิ๊กเกอร์รองรับสารด้านล่าง
 - เติมน้ำมันปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) จำนวน 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดฉีดยา ฉีดเข็มฉีดยาเร็ว ๆ ใช้ปิ๊กเกอร์รองรับสารด้านล่าง
 - ไดเอทิลอีเทอร์ในปิโตรเลียมอีเทอร์ 5% (5% diethyl ether in petroleum ether) จำนวน 3 มิลลิลิตร โดยให้นำหลอดทดลองรองรับตัวอย่าง ซึ่งหลอดทดลองถ้าเป็นหลอดเดิมให้ใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ล้างหลอดที่ใส่ตัวอย่างก่อน ถ้าลืมนำปิโตรเลียมอีเทอร์ล้างหลอดที่ใส่ตัวอย่าง ให้ใช้หลอดใหม่รองรับตัวอย่าง ฉีดเข็มฉีดยาซ้ำ ๆ
 - เมื่อจะทำความสะอาดตัวอย่างต่อไปก็ให้เริ่มขั้นตอน 34.2-34.6 ใหม่
 - เมื่อทำการทดลองเสร็จจึงล้างให้ล้าง Sep-pack ด้วย C:M = 2:1 จำนวน 3 มิลลิลิตร ปิโตรเลียมอีเทอร์ 1-2 มิลลิลิตร แล้วนำ Sep-pack เข้าอบในตู้อบอุณหภูมิ <100 องศาเซลเซียส หรือปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

15.2 ถ้าตัวอย่างยังไม่ทำการฉีด GC (Gas Chromatography) ทันทึให้เก็บตัวอย่างที่ -20 องศาเซลเซียส

15.3 ถ้าตัวอย่างที่จะทำการฉีด GC (Gas Chromatography) ให้นำตัวอย่างไประเหยภายใต้แก๊สไนโตรเจนด้วยเครื่อง Nitrogen evaporator จนตัวอย่างแห้ง

15.4 เติมเฮกเซน (Hexane) HPLC grade (เกรดสำหรับเครื่อง HPLC, GC) จำนวน 0.1 มิลลิลิตร

15.5 นำตัวอย่างใส่ใน vial สำหรับเข้าเครื่อง GC จากนั้นนำไปเข้าเครื่อง GC เพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันต่อไป (สำหรับเครื่อง GC ที่สามารถฉีดตัวอย่างอัตโนมัติ)

15.6 นำตัวอย่างจำนวน 10-20 ไมโครลิตร ใส่ในเข็มฉีดตัวอย่างสำหรับเข้าเครื่อง GC จากนั้นนำไปฉีดเข้าเครื่อง GC เพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันต่อไป (สำหรับเครื่อง GC ที่ไม่สามารถฉีดตัวอย่างอัตโนมัติ)

การเตรียม Internal Standard C19:0 (Nonadecanoic acid)

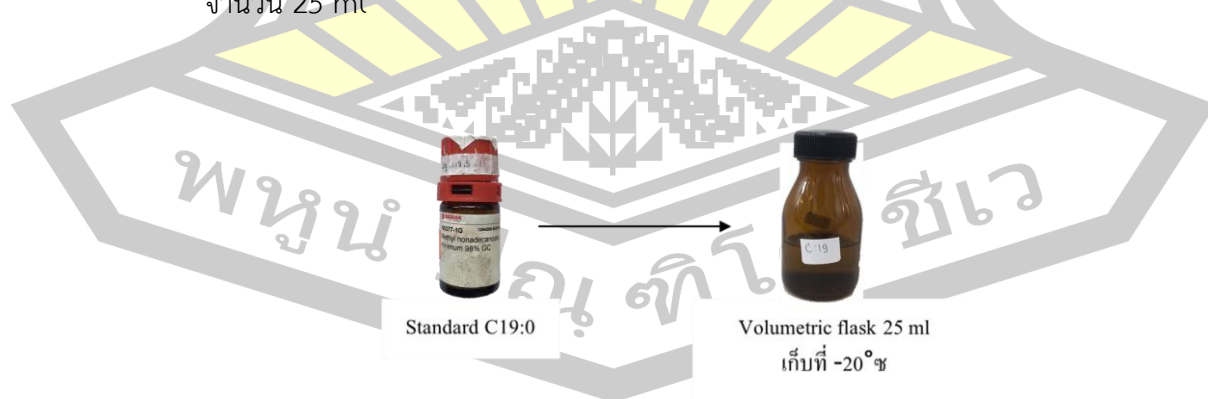
ปกติจะเตรียมความเข้มข้นเท่ากับ 1.0 mg/ml in chloroform or C: M = 2:1 if lipid 20-30 mg/ml

ยกตัวอย่าง

1. ชั่ง Internal Standard C19:0 มา 0.0096 g ละลายใน chloroform or C: M = 2:1 จำนวน 10 ml

$$\begin{aligned} \text{จะได้ความเข้มข้น} &= 9.6 \text{ mg}/10 \text{ ml} \\ &= 0.96 \text{ mg/ml} \end{aligned}$$

2. ต้องการเตรียม Internal Standard C19:0 ความเข้มข้น 0.993 mg/ml in C: M = 2:1 จำนวน 25 ml



การเตรียม Standard Mix C8-C24

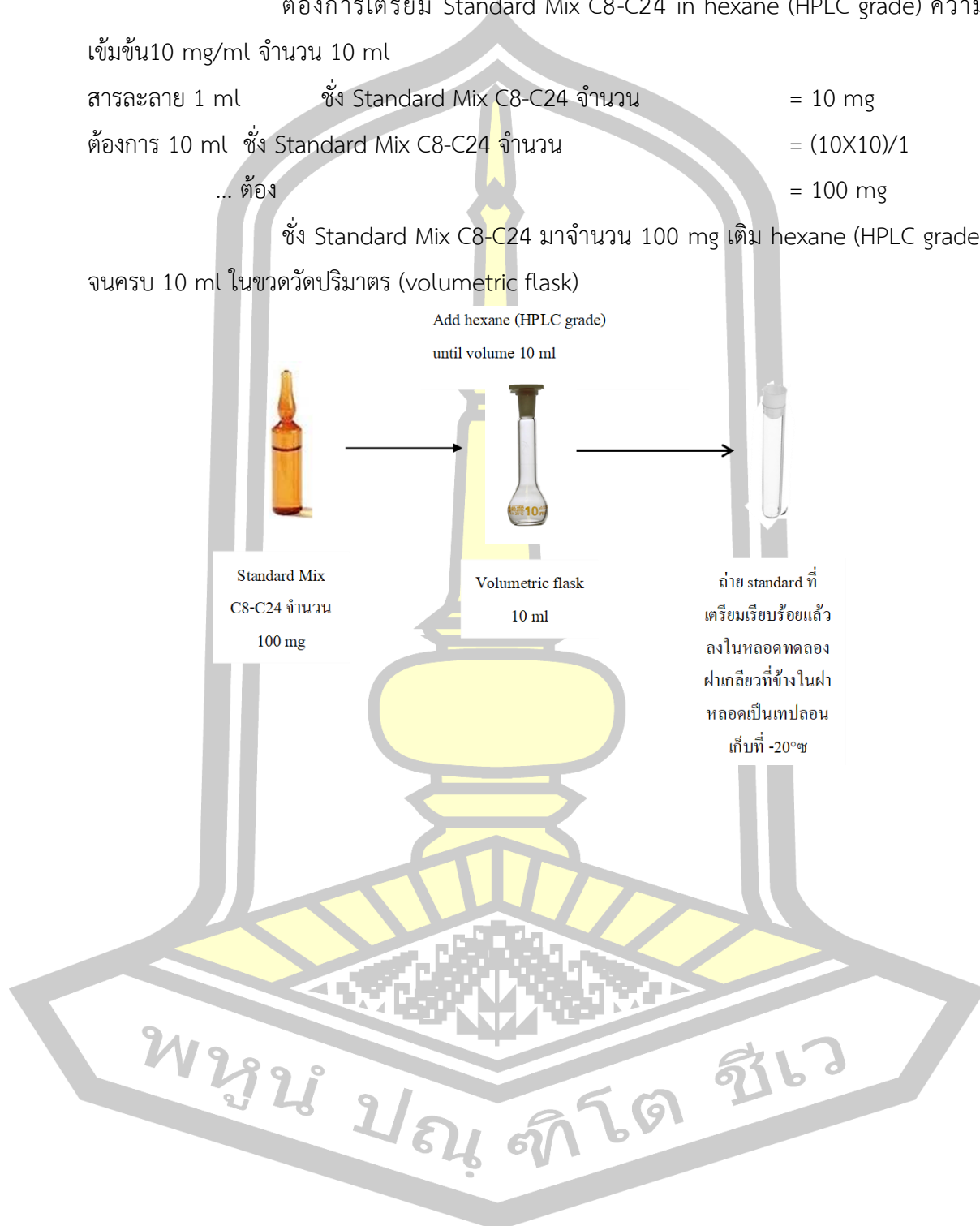
ต้องการเตรียม Standard Mix C8-C24 in hexane (HPLC grade) ความเข้มข้น 10 mg/ml จำนวน 10 ml

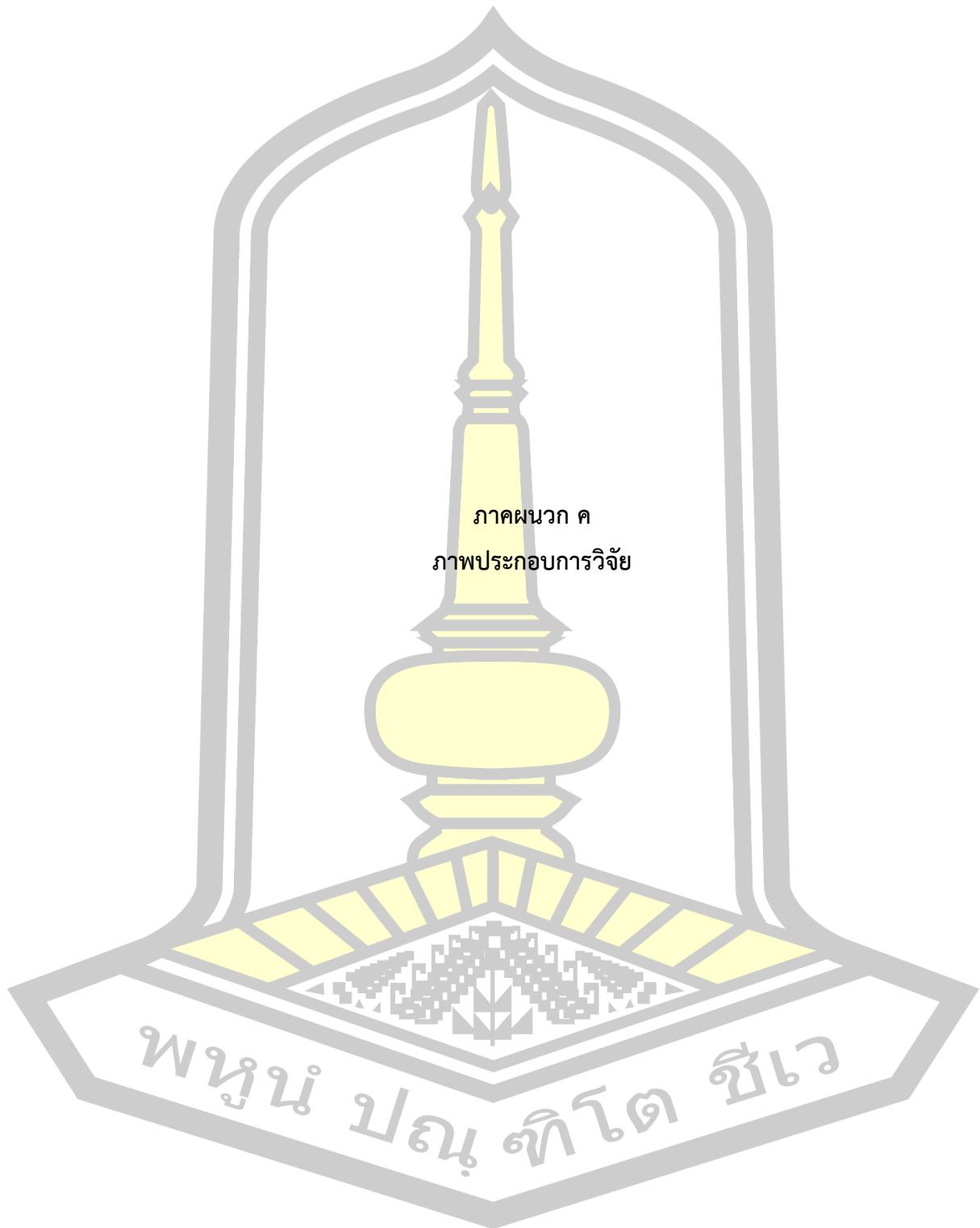
สารละลาย 1 ml ชั่ง Standard Mix C8-C24 จำนวน = 10 mg

ต้องการ 10 ml ชั่ง Standard Mix C8-C24 จำนวน = $(10 \times 10) / 1$

... ต้อง = 100 mg

ชั่ง Standard Mix C8-C24 มาจำนวน 100 mg เติม hexane (HPLC grade) จนครบ 10 ml ในขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)





ภาพวัตถุบหลัก



ข้าวหอมมะลิ จากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหม้อ จังหวัดร้อยเอ็ด

ภาพในกระบวนการอบแห้ง



ตู้อบลมร้อน (hot air oven)



เครื่องทำแห้งแบบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)

ภาพการหาค่าประกอบทางกายภาพและเคมี



Water activity (a_w)



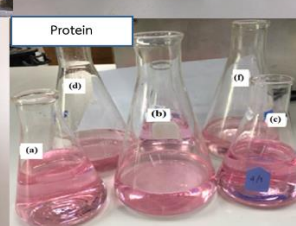
Moisture



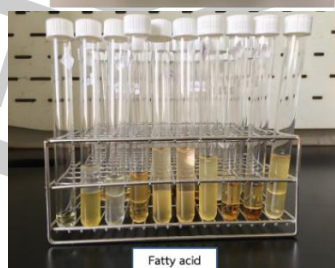
Fat



Ash

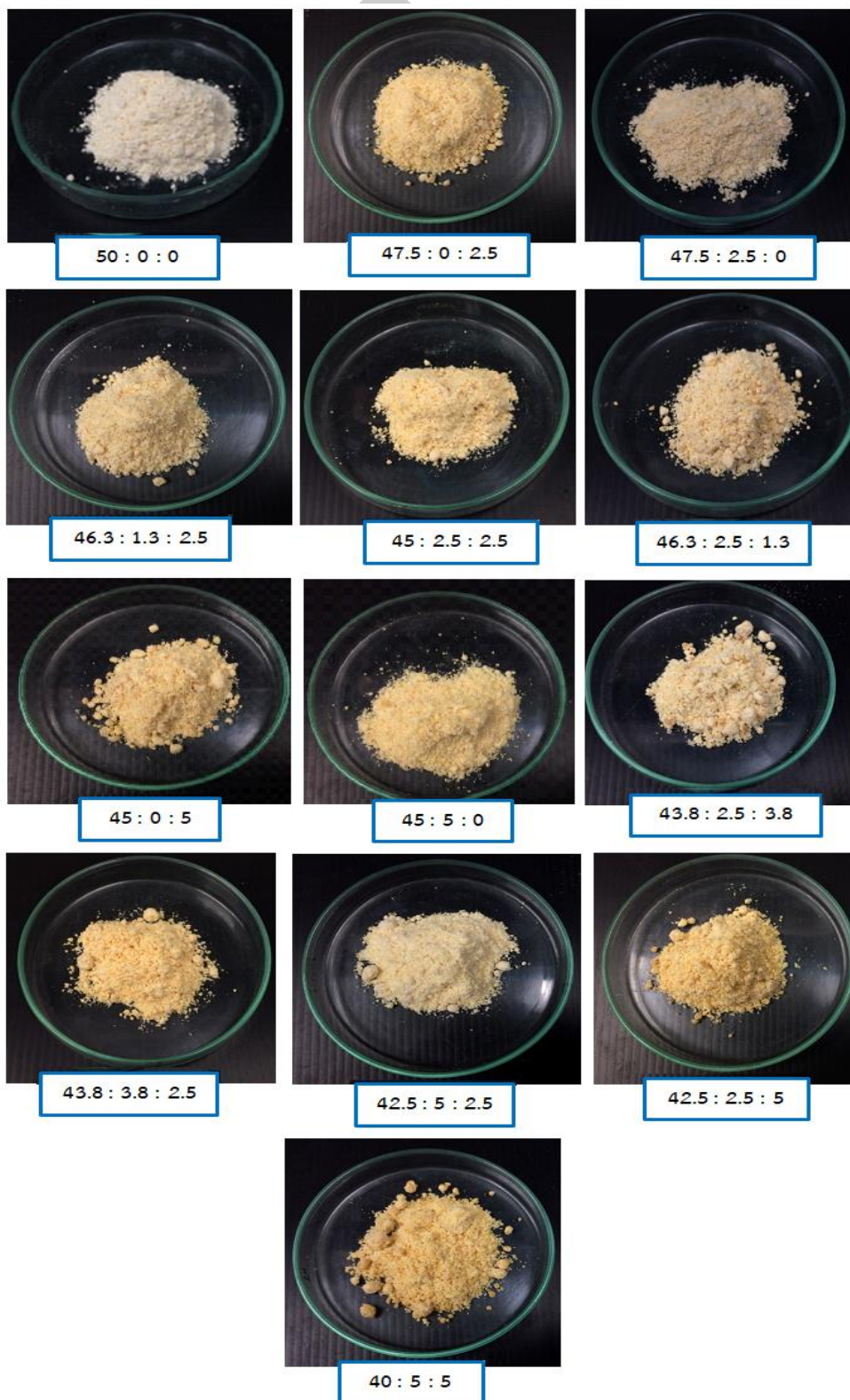


Protein



Fatty acid

ภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design
(13 สิ่งทดลอง)



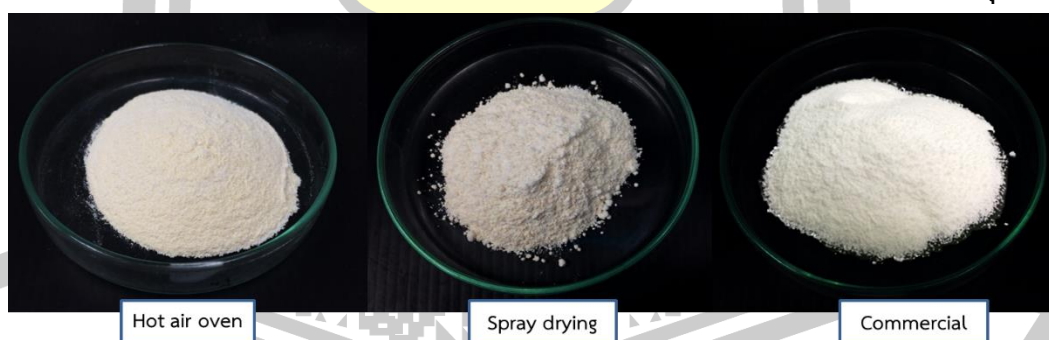
หมายเหตุ : อัตราส่วน ร้อยละ ปริมาณข้าวหอมมะลิ : คาร์ราจีแนน : พอลิซอร์เบต 60

ภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ โดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบลมร้อน (Hot Air Oven) และการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying)



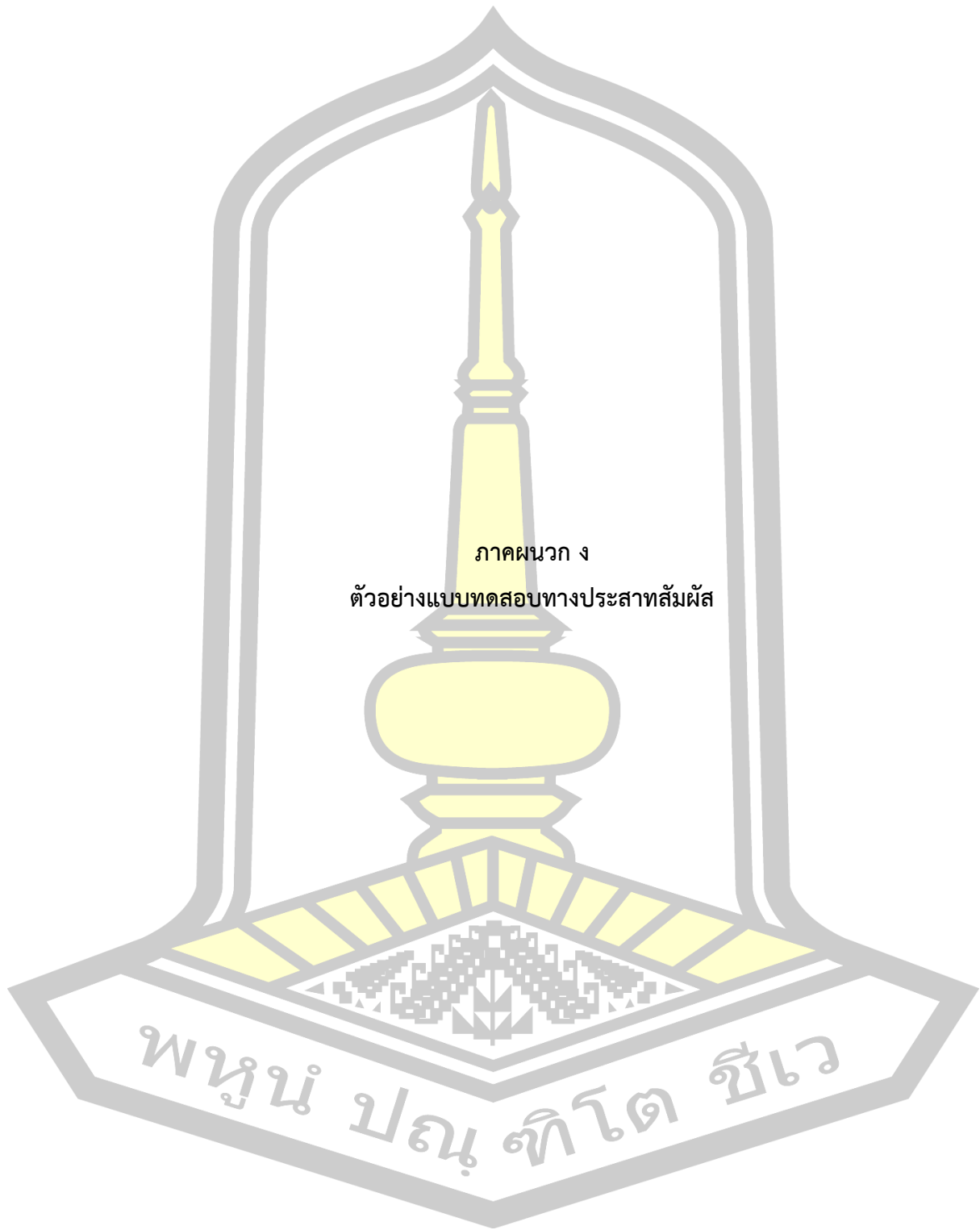
หมายเหตุ : Hx คือ การอบแห้งแบบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมินั้นๆ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส), Sx คือ การอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) ที่อุณหภูมิเข้านั้นๆ (170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส)

ภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ผลิตภัณฑ์สุดท้าย



ละลายที่อุณหภูมิน้ำเดือด ~ 100 องศาเซลเซียส





ภาคผนวก ง
ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

พหุ ประจักษ์ วิทยา

ตัวอย่างแบบสอบถาม

แบบสอบถามความชอบของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์

ชุดที่.....

ชื่อ..... วันที่.....ผลิตภัณฑ์.....

ตอนที่ 1 แบบประเมินทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 7 Point-Hedonic Scaling เพื่อใช้ในการคัดเลือก ผลิตภัณฑ์สูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นแบบ

คำแนะนำ : โปรดทดสอบผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงเชิงพาณิชย์ ขอให้ท่านประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะ สี รสชาติ ความมัน ความเป็นเนื้อเดียวกัน(ความเนียน) และความชอบโดยรวม โดยทำเครื่องหมาย \checkmark ในช่อง ที่กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนดังแสดงด้านล่างนี้ตามความรู้สึกของท่าน ขอให้ท่านดื่มน้ำทุกครั้งก่อนทดสอบชิมตัวอย่างต่อไป

1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ปานกลาง 4 = เฉยๆ, 5 = ชอบปานกลาง, 6 = ชอบมาก, 7=ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	ลักษณะความชอบ				
	สี	กลิ่น/รสชาติ	ความมัน	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ.....

ตอนที่ 2 แบบสอบถามสำหรับการทดสอบความชอบแบบ การจัดลำดับ (Ranking)

คำแนะนำ : ท่านจะได้รับตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง.. โปรดประเมินตัวอย่างดังกล่าวใน ตอนที่ 1 ในลักษณะสี กลิ่น รสชาติ ความมัน เนื้อสัมผัสขณะเคี้ยว(ความเนียน) และความชอบรวม ช้และจัดลำดับตัวอย่างตามความชอบของท่าน โดยเขียนรหัสของตัวอย่างให้สอดคล้องในคอลัมน์ที่เหมาะสม**โปรดเขียนข้อเสนอแนะของท่าน หรืออื่น ๆ

ลำดับที่	รหัสผลิตภัณฑ์	ข้อเสนอแนะ
1		
2		
3		

ขอบคุณทุกท่านที่ได้สละเวลา และให้ความร่วมมือเต็มที่ในการทดสอบครั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากท่านจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

ตัวอย่างแบบสอบถาม

แบบสอบถามความชอบของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

ชุดที่.....

ชื่อ..... วันที่..... ผลิตภัณฑ์.....

ตอนที่ 1 แบบประเมินทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 7 Point-Hedonic Scaling เพื่อใช้ในการคัดเลือก ผลิตภัณฑ์สูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรต้นแบบ

คำแนะนำ : โปรดทดสอบผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ ขอให้ท่านประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะ สี กลิ่น/รสชาติ ความมัน ความเป็นเนื้อเดียวกัน(ความเนียน) และความชอบโดยรวม โดยทำเครื่องหมาย \checkmark ในช่อง ที่กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนดังแสดงด้านล่างนี้ตามความรู้สึกของท่าน ขอให้ท่านดื่มน้ำทุกครั้งก่อนทดสอบชิมตัวอย่างต่อไป

1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ปานกลาง 4 = เฉยๆ, 5 = ชอบปานกลาง, 6 = ชอบมาก , 7=ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	ลักษณะความชอบ				
	สี	กลิ่น/รสชาติ	ความมัน	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ.....
.....
.....

ขอบคุณทุกท่านที่ได้สละเวลา และให้ความร่วมมือเต็มที่ในการทดสอบครั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากท่านจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

พูน ปรณ ทิโต ชีว

ตัวอย่างแบบสอบถาม

แบบสอบถามความชอบของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ
(ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

ชุดที่.....

ชื่อ..... วันที่..... ผลิตภัณฑ์.....

ตอนที่ 1 แบบประเมินทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 7 Point-Hedonic Scaling เพื่อใช้ในการทดสอบความชอบและการยอมรับต่อครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

คำแนะนำ : โปรดทดสอบผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) ขอให้ท่านประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะ สี กลิ่น/รสชาติ ความมัน ความเป็นเนื้อเดียวกัน(ความเนียน) และความชอบโดยรวม โดยทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง ที่กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนดังแสดงด้านล่างนี้ตามความรู้สึกของท่าน ขอให้ท่านต้มน้ำทุกครั้งก่อนทดสอบชิมตัวอย่างต่อไป

1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ปานกลาง 4 = เฉยๆ, 5 = ชอบปานกลาง, 6 = ชอบมาก, 7=ชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	ลักษณะความชอบ				
	สี	กลิ่น/รสชาติ	ความมัน	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ.....
.....

ตอนที่ -2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส Scoring Test Difference Test

คำแนะนำ : การประเมินคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรสชาติ ความเป็นเนื้อเดียวกัน และด้านยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ ทดสอบตัวอย่างแต่ละตัวอย่าง และทำการกาเครื่องหมาย ✓ ในช่อง ที่กำหนดให้ ที่ท่านคิดว่าสามารถอธิบายลักษณะดังกล่าวของผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสมในความรู้สึกของท่าน

การประเมินคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ (ลักษณะปรากฏที่ท่านสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า)

ผลิตภัณฑ์	ดีมาก	ดี	ปานกลาง	ไม่ดี	ไม่ดีมาก

เหตุผลต่อผลิตภัณฑ์ทางด้านลักษณะปรากฏ

- 1.....
- 2.....
- 3.....

การประเมินคุณภาพทางด้านกลิ่นรสชาติ

ผลิตภัณฑ์	มีกลิ่นรสชาติ ดีมาก	มีกลิ่นรสชาติ ดีปานกลาง	มีกลิ่นรสชาติ ดี	มีกลิ่นรสชาติ ดีน้อย	มีกลิ่นรสชาติ ดีน้อยมาก

เหตุผลต่อผลิตภัณฑ์ทางด้านกลิ่นรสชาติ

- 1.....
- 2.....
- 3.....

การประเมินคุณภาพทางด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน

ผลิตภัณฑ์	ความเป็นเนื้อ เดียวกันดีมาก	ความเป็นเนื้อ เดียวกันดี	ความเป็นเนื้อ เดียวกันปานกลาง	ความเป็นเนื้อ เดียวกันไม่ดี	ความเป็นเนื้อ เดียวกันไม่ดีมาก

เหตุผลต่อผลิตภัณฑ์ทางด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน

- 1.....
- 2.....
- 3.....

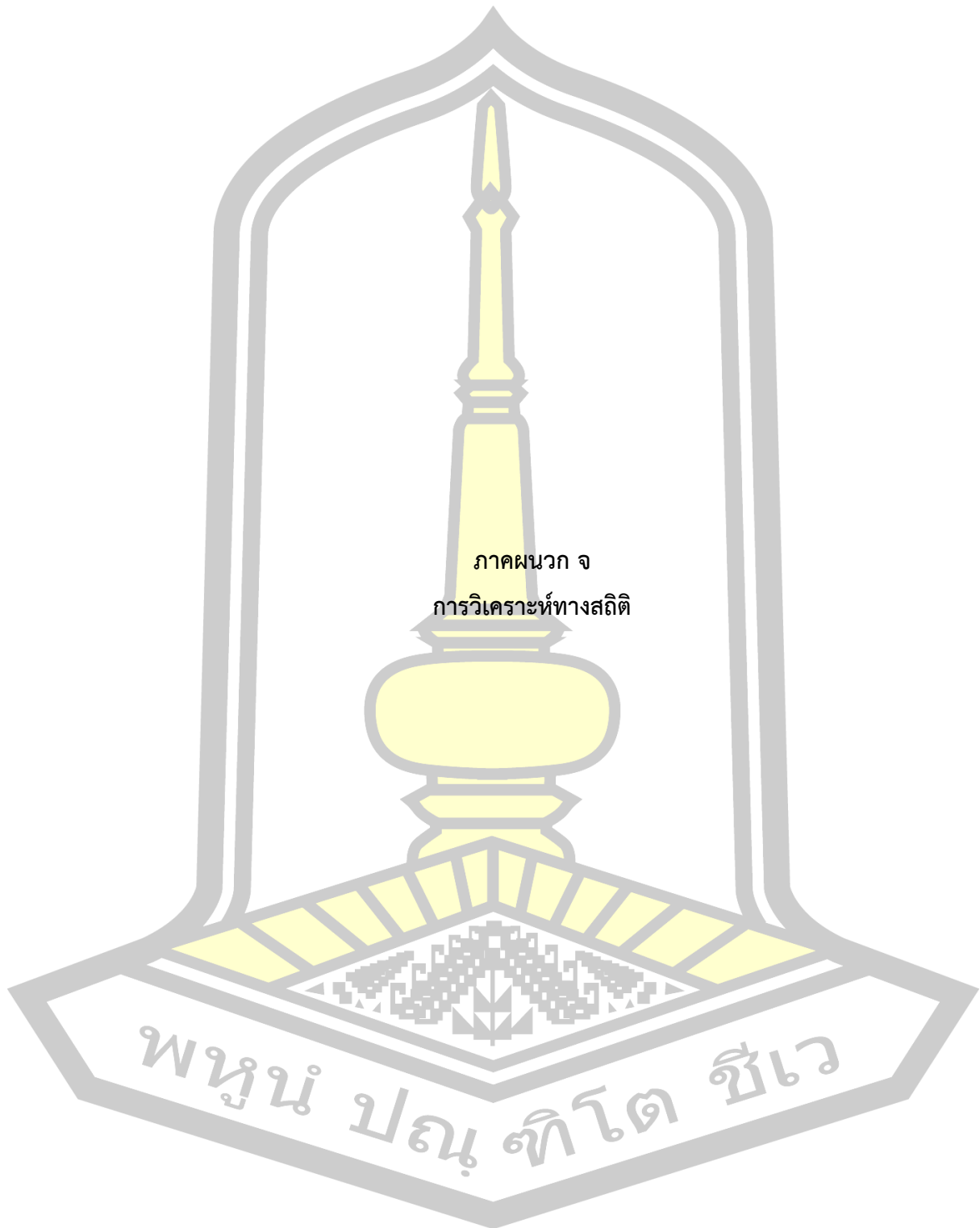
การประเมินลักษณะการยอมรับรวม

ผลิตภัณฑ์	ยอมรับดีมาก	ยอมรับได้	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ	ไม่ยอมรับมาก

เหตุผลต่อผลิตภัณฑ์ต่อ การยอมรับรวม

- 1.....
- 2.....
- 3.....

ขอบคุณทุกท่านที่ได้สละเวลา และให้ความร่วมมือเต็มที่ในการทดสอบครั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากท่านจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำโดยการทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)



ตาราง จ.42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีม
เทียมผงทางการค้า

<u>ANOVA</u>					
<u>a_w</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.011	2	.005	615.636	.000
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.011	8			
<u>L*</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.877	2	1.939	39.059	.000
Within Groups	.298	6	.050		
Total	4.175	8			
<u>a*</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.271	2	.135	40.201	.000
Within Groups	.020	6	.003		
Total	.291	8			
<u>b*</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	76.224	2	38.112	1271.816	.000
Within Groups	.180	6	.030		
Total	76.404	8			
<u>Solubility</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.556	2	.778	.500	.630
Within Groups	9.333	6	1.556		
Total	10.889	8			

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ตาราง จ.43 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) ของคุณภาพเคมีของผลิตภัณฑ์
ครีมเทียมผงทางการค้า

<u>ANOVA</u>					
<u>Moisture content</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10.683	2	5.342	2127.243	.000
Within Groups	.015	6	.003		
Total	10.699	8			
<u>Fat content</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.979	2	0.490	0.918	0.449
Within Groups	3.200	6	0.533		
Total	4.179	8			

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตาราง จ.44 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) ของคุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์
ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

<u>ANOVA</u>					
<u>Viscosity/cp</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3431572.944	5	686314.589	23575.692	.000
Within Groups	349.333	12	29.111		
Total	3431922.278	17			
<u>Solubility</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	80.952	6	13.492	18.889	.000
Within Groups	10.000	14	.714		
Total	90.952	20			
<u>Stability index</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.497	6	.083	2.018	.131
Within Groups	.575	14	.041		
Total	1.072	20			
<u>Peroxide value</u> meq O ₂ / kg	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.108	6	1.851	31.232	.000
Within Groups	.830	14	.059		
Total	11.937	20			

ตาราง จ.45 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์
ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ต่อ)

<u>ANOVA</u>					
<u>bulk density (g/cm³)</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.532	6	.422	510.710	.000
Within Groups	.012	14	.001		
Total	2.543	20			
<u>a_w</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.059	6	.010	1171.419	.000
Within Groups	.000	14	.000		
Total	.059	20			
<u>L*</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	107.758	6	17.960	95.334	.000
Within Groups	2.637	14	.188		
Total	110.395	20			
<u>a*</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10.092	6	1.682	159.113	.000
Within Groups	.148	14	.011		
Total	10.240	20			
<u>b*</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	274.124	5	54.825	51.721	.000
Within Groups	12.720	12	1.060		
Total	286.844	17			
<u>Particle size</u>					
<u>40 mesh</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	208.180	6	34.697	158.529	.000
Within Groups	3.064	14	.219		
Total	211.244	20			
<u>50 mesh</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.064	6	2.177	4.068	.014
Within Groups	7.494	14	.535		
Total	20.558	20			

ตาราง จ.46 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางด้านกายภาพ
ของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ต่อ)

<u>ANOVA</u>					
<u>80 mesh</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	659.550	6	109.925	89.267	.000
Within Groups	17.240	14	1.231		
Total	676.790	20			
<u>100 mesh</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	728.168	6	121.361	77.697	.000
Within Groups	21.868	14	1.562		
Total	750.035	20			
<u>120 mesh</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4034.099	6	672.350	278.655	.000
Within Groups	33.780	14	2.413		
Total	4067.878	20			

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตาราง จ.47 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของคุณภาพทางด้านเคมีของ
ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ

<u>ANOVA</u>					
<u>Moisture content</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.270	5	.054	2.909	.060
Within Groups	.223	12	.019		
Total	.493	17			
<u>Fat</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	96.992	5	19.398	5.151	.009
Within Groups	45.192	12	3.766		
Total	142.184	17			
<u>Ash</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.024	5	.005	.612	.693
Within Groups	.095	12	.008		
Total	.120	17			

ตาราง จ.48 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) ของคุณภาพทางด้านเคมีของ
ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ต่อ)

<u>ANOVA</u>					
<u>Protein</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	30.016	5	6.003	101.971	.000
Within Groups	.706	12	.059		
Total	30.723	17			
<u>Carbohydrate</u>	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	37.822	5	7.564	1.866	.174
Within Groups	48.636	12	4.053		
Total	86.458	17			

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตาราง จ.49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียม
ผงทางการค้า

Tests of Between-Subjects Effects							
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	Colour	.267a	2	.133	.118	.889	
	Flavor/ taste	1.689b	2	.844	1.098	.338	
	oiliness	.267c	2	.133	.114	.892	
	Smoothness	.089d	2	.044	.037	.964	
	Overall Preference	.622e	2	.311	.249	.780	
Intercept	Colour	3385.600	1	3385.600	3001.5	.000	
	Flavor/ taste	3635.378	1	3635.378	4725.2	.000	
	oiliness	3312.400	1	3312.400	2843.8	.000	
	Smoothness	3509.378	1	3509.378	2920.7	.000	
	Overall Preference	3660.844	1	3660.844	2934.52	.000	
							2
สูตร	Colour	.267	2	.133	.118	.889	
	Flavor/ taste	1.689	2	.844	1.098	.338	
	oiliness	.267	2	.133	.114	.892	
	Smoothness	.089	2	.044	.037	.964	
	Overall Preference	.622	2	.311	.249	.780	

ตาราง จ.50 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของ
ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงทางการค้า (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects						
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Error	Colour	98.133	87	1.128		
	Flavor/ taste	66.933	87	.769		
	oiliness	101.333	87	1.165		
	Smoothness	104.533	87	1.202		
	Overall Preference	108.533	87	1.248		
Total	Colour	3484.000	90			
	Flavor/ taste	3704.000	90			
	oiliness	3414.000	90			
	Smoothness	3614.000	90			
	Overall Preference	3770.000	90			
Corrected Total	Colour	98.400	89			
	Flavor/ taste	68.622	89			
	oiliness	101.600	89			
	Smoothness	104.622	89			
	Overall Preference	109.156	89			

- a. R Squared = ,015 (Adjusted R Squared = -,013)
 b. R Squared = ,044 (Adjusted R Squared = ,016)
 c. R Squared = ,054 (Adjusted R Squared = ,027)
 d. R Squared = ,010 (Adjusted R Squared = -,018)
 e. R Squared = ,013 (Adjusted R Squared = -,015)



ตาราง จ.51 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียม ผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งทั้ง 2 กระบวนการ

Tests of Between-Subjects Effects						
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Colour	3.783a	5	.757	.528	.755
	Flavor/ taste	21.000b	5	4.200	1.585	.167
	oiliness	22.044c	5	4.409	1.977	.084
	Smoothness	4.644d	5	.929	.366	.871
	Overall Preference	4.383e	5	.877	.473	.796
Intercept	Colour	6882.050	1	6882.05	4805.92	.000
	Flavor/ taste	4929.800	1	4929.80	1859.89	.000
	oiliness	5013.889	1	5013.88	2248.11	.000
	Smoothness	4971.756	1	4971.75	1958.98	.000
	Overall Preference	5814.050	1	5814.05	3136.23	.000
สูตร	Colour	3.783	5	.757	.528	.755
	Flavor/ taste	21.000	5	4.200	1.585	.167
	oiliness	22.044	5	4.409	1.977	.084
	Smoothness	4.644	5	.929	.366	.871
	Overall Preference	4.383	5	.877	.473	.796
Error	Colour	249.167	174	1.432		
	Flavor/ taste	461.200	174	2.651		
	oiliness	388.067	174	2.230		
	Smoothness	441.600	174	2.538		
	Overall Preference	322.567	174	1.854		
Total	Colour	7135.000	180			
	Flavor/ taste	5412.000	180			
	oiliness	5424.000	180			
	Smoothness	5418.000	180			
	Overall Preference	6141.000	180			

ตาราง จ.52 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์
ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งทั้ง 2
กระบวนการ(ต่อ)

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected	Colour	252.950	179			
Total	Flavor/ taste	482.200	179			
	oiliness	410.111	179			
	Smoothness	446.244	179			
	Overall Preference	326.950	179			

a. R Squared = ,015 (Adjusted R Squared = -.013)

b. R Squared = ,044 (Adjusted R Squared = .016)

c. R Squared = ,054 (Adjusted R Squared = .027)

d. R Squared = ,010 (Adjusted R Squared = -.018)

e. R Squared = ,013 (Adjusted R Squared = -.015)

ตาราง จ.53 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ครีมเทียม
ผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

Tests of Between-Subjects Effects						
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected	Colour	.956a	2	.478	.356	.702
Model	Flavor/taste	0	2	2.411	1.848	.164
	oiliness	1.267c	2	.633	.472	.625
	Smoothness	4.622d	2	2.311	1.557	.217
	Overall acceptability	4.356e	2	2.178	1.696	.189
Intercept	Colour	3410.178	1	3410.178	2538.66	.000
	Flavor/taste	3622.678	1	3622.678	2776.85	.000
	oiliness	3610.000	1	3610.000	2690.49	.000
	Smoothness	3447.211	1	3447.211	2321.86	.000
	Overall acceptability	3546.944	1	3546.944	2762.61	.000
สูตร	Colour	.95	2	.478	.356	.702
	Flavor/taste	4.82	2	2.411	1.84	.164
	oiliness	1.26	2	.633	.472	.625
	Smoothness	4.62	2	2.311	1.55	.217
	Overall acceptability	4.35	2	2.178	1.69	.189

ตาราง จ.54 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์
ครีมเทียมผงไขมันต่ำ โดยทดแทนด้วยข้าวหอมมะลิ (ผลิตภัณฑ์สุดท้าย) (ต่อ)

Tests of Between-Subjects Effects							
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Error	Colour	116.86	87	1.343			
	Flavor/taste	113.50	87	1.305			
	oiliness	116.73	87	1.342			
	Smoothness	129.16	87	1.485			
	Overall acceptability	111.70	87	1.284			
Total	Colour	3528.00	90				
	Flavor/taste	3741.00	90				
	oiliness	3728.00	90				
	Smoothness	3581.00	90				
	Overall acceptability	3663.00	90				
Corrected Total	Colour	117.82	89				
	Flavor/taste	118.32	89				
	oiliness	118.00	89				
	Smoothness	133.78	89				
	Overall acceptability	116.05	89				

a. R Squared = .008 (Adjusted R Squared = -.015)

b. R Squared = .041 (Adjusted R Squared = .019)

c. R Squared = .011 (Adjusted R Squared = -.012)

d. R Squared = .035 (Adjusted R Squared = .012)

e. R Squared = .038 (Adjusted R Squared = .015)



ตาราง จ.55 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design

สรุปแผนการทดลอง Design Summary

Study Type	Mixture		Runs		13						
Initial Design	User Defined		Blocks		No Blocks						
Design Model	Quadratic										
Component	Name	Units	Type	Low Actual	High Actual	Low Coded	High Coded	Mean	Std. Dev.		
A	Hom Mali Rice		Mixture	40.000	50.000	0	1.000	45.000	2.500		
B	Carrageena		Mixture	0	5.000	0	0.5	2.500	1.768		
C	Polysorbate 60		Mixture	0	5.000	0	0.5	2.500	1.768		
				Total =	50	L_Pseudo Coding					
Response	Name	Units	Obs	Analysis	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Ratio	Trans	Model
Y1	viscosity		13	Polynomial	425	3330.67	2194.17	947.404	7.83686	None	Linear
Y2	Stability		13	Polynomial	94	99.5	97.795	1.78652	1.05851	None	Quadratic
Y3	Solubility		13	Polynomial	79.3333	88.3333	85.4751	2.22059	1.11345	None	Linear
Y4	water activity (aw)		13	Polynomial	0.248667	0.38	0.2944	0.038185	1.52815	None	Linear
Y5	L*		13	Polynomial	83.38	93.25	89.159	2.90065	1.11837	None	Linear
Y6	a*		13	Polynomial	-0.606667	-0.05	-0.26615	0.161085	0.0824176	None	Cubic
Y7	b*		13	Polynomial	10.1667	16.7233	12.7187	1.67545	1.64492	None	Special Cubic
Y8	Fat content		13	Polynomial	31.4243	39.3983	34.4412	1.72809	1.18984	None	Cubic
Y9	Moisture content		13	Polynomial	0.484	22.2578	1.02177	0.488655	4.67103	None	Linear
Y10	peroxide value		13	Polynomial	1.24957	5485	1120.45	2052.32	4389.51	None	Special Cubic

ตาราง จ.56 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design

viscosity

Response	Y1	viscosity	Transform:	None	
*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. *** Sequential Model Sum of Squares [Type I]					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Mean vs Total	6.259E+007	1	6.259E+007		
Linear vs Mean	5.581E+006	2	2.790E+006	4.58	0.0387
Quadratic vs Linear	1.266E+006	3	1.266E+006	0.61	0.6281
Sp Cubic vs Quadratic	1.794E+006	1	1.794E+006	3.56	0.1083
Cubic vs Sp Cubic	1.948E+006	3	6.494E+005	1.81	0.3198
Residual	1.079E+006	3	3.598E+005		
Total	7.426E+007	13	5.712E+006		

"Sequential Model Sum of Squares [Type I]": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	780.25	0.4783	0.3739	0.174	9.64E+09
Quadratic	829.96	0.5868	0.2916	-0.8052	2.11E+10
Special Cubic	710.36	0.7405	0.4811	0.2288	9.00E+09
Cubic	599.8	0.9075	0.63	-0.0235	1.19E+10

"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

ตาราง จ.57 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

ANOVA for Mixture Cubic Model *** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Model	5.58E+09	2	2.79E+09	4.58	0.0387
Linear Mixture	5.58E+09	2	2.79E+09	4.58	0.0387
Residual	6.09E+09	10	6.09E+08		
Cor Total	1.17E+10	12			not significant

The Model F-value of 4.58 implies the model is significant. There is only a 3.87% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" (less than 0.0500) indicate model terms are significant. In this case Linear Mixture Components are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	780.25	R-Squared	0.4783
Mean	2194.17	Adj R-Squared	0.3739
C.V. %	35.56	Pred R-Squared	0.174
PRESS	9.64E+09	Adeq Precision	5.705

The "Pred R-Squared" of 0.1740 is in reasonable agreement with the "Adj R-Squared" of 0.3739. Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 5.705 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

Stability	Y2	Stability	Transform:
Response	Y2	Stability	None

*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***Sequential Model Sum of Squares [Type I]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Mean vs Total	1.25E+08	1	1.25E+08		
Linear vs Mean	14.05	2	7.02	2.56	0.1266
Quadratic vs Linear	19.93	3	6.64	6.19	0.0221
Sp Cubic vs Quadratic	0.77	1	0.77	0.68	0.4403

Suggested

ตาราง จ.58 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองด้วยวิธี Mixture design (ต่อ)

Cubic vs Sp Cubic	1.17	3	0.39	0.21	0.8834
Residual	5.57	3	1.86		
Total	1.25E+08	13	9581.98		

"Sequential Model Sum of Squares [Type II]": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	1.66	0.3386	0.2063	-0.4182	58.84
Quadratic	1.04	0.819	0.6897	0.0691	38.63
Special Cubic	1.06	0.8375	0.675	-44.053	224.27
Cubic	1.36	0.8658	0.4631	-104.620	475.57

"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

ANOVA for Mixture Cubic Model *** Mixture Component Coding is L_Pseudo. *** Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Model	33.98	5	6.8	6.34	0.0156
Linear Mixture	14.05	2	7.02	6.55	0.0249
AB	6.66	1	6.66	6.21	0.0415
AC	8.04	1	8.04	7.5	0.029
BC	14.71	1	14.71	13.71	0.0076
Residual	7.51	7	1.07		
Cor Total	41.49	12			

The Model F-value of 6.34 implies the model is significant. There is only a 1.56% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case Linear Mixture Components, AB, AC, BC are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

ตาราง จ.59 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

Std. Dev.	1.04	R-Squared	0.819
Mean	97.87	Adj R-Squared	0.6897
C.V. %	1.06	Pred R-Squared	0.0691
PRESS	38.63	Adeq Precision	7.300

The "Pred R-Squared" of 0.0691 is not as close to the "Adj R-Squared" of 0.6897 as one might normally expect. This may indicate a large block effect or a possible problem with your model and/or data. Things to consider are model reduction, response transformation, outliers, etc. Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 7.300 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

Solubility

Response	Y3	Solubility	Transform:	None	
*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***Sequential Model Sum of Squares [Type I]					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Mean vs Total	94977.97	1	94977.97		Suggested
Linear vs Mean	15.98	2	7.99	1.66	0.2384
Quadratic vs Linear	4.4	3	1.47	0.23	0.8695
Sp Cubic vs Quadratic	0.18	1	0.18	0.025	0.8789
Cubic vs Sp Cubic	29.38	3	9.79	2.07	0.2821
Residual	14.16	3	4.72		
Total	95042.07	13	7310.93		

"Sequential Model Sum of Squares [Type I]": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	2.19	0.2493	0.0991	-0.2465	79.91
Quadratic	2.5	0.3179	-0.1694	-19.927	191.84

ตาราง จ.60 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

Special Cubic	2.69	0.3207	-0.3585	-93.452	663.16
Cubic	2.17	0.7791	0.1163	-165.341	1123.99

"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

ANOVA for Mixture Cubic Model * Mixture Component Coding is L_Pseudo. *** Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]**

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Model	15.98	2	7.99	1.66	0.2384
Linear Mixture	15.98	2	7.99	1.66	0.2384
Residual	48.12	10	4.81		
Cor Total	64.1	12			

The "Model F-value" of 1.66 implies the model is not significant relative to the noise. There is a 23.84 % chance that a "Model F-value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case there are no significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	2.19	R-Squared	0.2493
Mean	85.48	Adj R-Squared	0.0991
C.V. %	2.57	Pred R-Squared	-0.2465
PRESS	79.91	Adeq Precision	3.212

A negative "Pred R-Squared" implies that the overall mean is a better predictor of your response than the current model. Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio of 3.21 indicates an inadequate signal and we should not use this model to navigate the design space.

ตาราง จ.61 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

Water activity (a_w)

Response	Y4	water activity (a _w)	Transform:	None	
*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***Sequential Model Sum of Squares [Type I]					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Mean vs Total	1.13	1	1.13		
Linear vs Mean	9.75E+00	2	4.87E+00	5.29	0.0271
Quadratic vs Linear	1.08E+00	3	3.58E-01	0.31	0.8191
Sp Cubic vs Quadratic	1.40E+00	1	1.40E+00	1.24	0.3077
Cubic vs Sp Cubic	4.21E+00	3	1.40E+00	1.66	0.3429
Residual	2.53E+00	3	8.43E-01		
Total	1.15	13	0.088		

"Sequential Model Sum of Squares [Type II]": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	0.03	0.5141	0.4169	0.2604	0.014
Quadratic	0.034	0.5708	0.2642	-0.5858	0.03
Special Cubic	0.034	0.6444	0.2888	-0.4135	0.027
Cubic	0.029	0.8666	0.4662	-0.8423	0.035

"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

ตาราง จ.62 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

ANOVA for Mixture Cubic Model *** Mixture Component Coding is L_Pseudo. *** Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)	
Model	9.75E+00	2	4.87E+00	5.29	0.0271	significant
Linear Mixture	9.75E+00	2	4.87E+00	5.29	0.0271	
Residual	9.21E+00	10	9.21E-01			
Cor Total	0.019	12				

The Model F-value of 5.29 implies the model is significant. There is only a 2.71% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case Linear Mixture Components are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	0.03	R-Squared	0.5141
Mean	0.29	Adj R-Squared	0.4169
C.V. %	10.31	Pred R-Squared	0.2604
PRESS	0.014	Adeq Precision	6.088

The "Pred R-Squared" of 0.2604 is in reasonable agreement with the "Adj R-Squared" of 0.4169. Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 6.088 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

Response	Y5	L*	Transform:	None		
*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***Sequential Model Sum of Squares [Type I]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)	
Mean vs Total	1.03E+08	1	1.03E+08			
Linear vs Mean	65.34	2	32.67	7.42	0.0106	Suggested
Quadratic vs Linear	15.59	3	5.2	1.28	0.3538	
Sp Cubic vs Quadratic	1.77	1	1.77	0.4	0.551	

ตาราง จ.63 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

Cubic vs Sp Cubic	21.73	3	7.24	4.39	0.1278
Residual	4.95	3	1.65		
Total	1.04E+08	13	7957.74		

"Sequential Model Sum of Squares [Type II]": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.

Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	2.1	0.5973	0.5168	0.2814	78.6
Quadratic	2.02	0.7398	0.554	-0.6031	175.35
Special Cubic	2.11	0.756	0.5121	-25.730	390.81
Cubic	1.28	0.9547	0.819	-34.388	485.51

"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

ANOVA for Mixture Cubic Model *** Mixture Component Coding is L_Pseudo. *** Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Model	65.34	2	32.67	7.42	0.0106
Linear Mixture	65.34	2	32.67	7.42	0.0106
Residual	44.04	10	4.4		
Cor Total	109.38	12			

The Model F-value of 7.42 implies the model is significant. There is only a 1.06% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case Linear Mixture Components are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

ตาราง จ.64 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เคมีเทียมผสมสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

Std. Dev.	2.1	R-Squared	0.5973
Mean	89.16	Adj R-Squared	0.5168
C.V. %	2.35	Pred R-Squared	0.2814
PRESS	78.6	Adeq Precision	7.937

The "Pred R-Squared" of 0.2814 is not as close to the "Adj R-Squared" of 0.5168 as one might normally expect. This may indicate a large block effect or a possible problem with your model and/or data. Things to consider are model reduction, response transformation, outliers, etc. Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 7.937 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

a*

Response	Y6	a*	Transform:	None	
*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***Sequential Model Sum of Squares [Type I]					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Mean vs Total	0.92	1	0.92		
Linear vs Mean	0.18	2	0.089	5.58	0.0236
Quadratic vs Linear	0.13	3	0.045	12.44	0.0034
Sp Cubic vs Quadratic	1.17E-01	1	1.17E-01	0.028	0.8726
Cubic vs Sp Cubic	0.015	3	4.86E+00	1.39	0.3962
Residual	0.01	3	3.49E+00		
Total	1.26	13	0.097		

*Sequential Model Sum of Squares [Type I]: Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.

Model Summary Statistics					
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	0.13	0.5274	0.4329	0.1416	0.29
Quadratic	0.06	0.9253	0.872	0.6698	0.11

Suggested

ตาราง จ.65 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยใช้ Mixture design (ต่อ)

Special Cubic	0.065	0.9257	0.8514	-0.406	0.47
Cubic	0.059	0.9689	0.8757	-16.262	0.89

"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

ANOVA for Mixture Cubic Model * Mixture Component Coding is L_Pseudo. *** Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]**

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Model	0.33	9	0.036	10.4	0.0398
Linear Mixture	0.18	2	0.089	25.46	0.0131
AB	3.05E+00	1	3.05E+00	0.87	0.4194
AC	2.69E-01	1	2.69E-01	0.077	0.7994
BC	4.63E-01	1	4.63E-01	0.13	0.7399
ABC	1.32E+00	1	1.32E+00	0.38	0.5829
AB(A-B)	7.11E+00	1	7.11E+00	2.04	0.2489
AC(A-C)	8.71E-01	1	8.71E-01	0.25	0.6518
BC(B-C)	0.011	1	0.011	3.26	0.1686
Residual	0.01	3	3.49E+00		
Cor Total	0.34	12			

The Model F-value of 10.40 implies the model is significant. There is only a 3.98% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case Linear Mixture Components are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	0.059	R-Squared	0.9689
Mean	-0.27	Adj R-Squared	0.8757
C.V. %	22.21	Pred R-Squared	-16.262
PRESS	0.89	Adeq Precision	9.668

A negative "Pred R-Squared" implies that the overall mean is a better predictor of your response than the current model. Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 9.668 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

ตาราง จ.66 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

b*

Response	Y7	b*	Transform:	None	
*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***Sequential Model Sum of Squares [Type I]					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Mean vs Total	2102.96	1	2102.96		
Linear vs Mean	15.53	2	7.77	3.7	0.0625
Quadratic vs Linear	6.7	3	2.23	1.1	0.4117
Sp Cubic vs Quadratic	7.26	1	7.26	6.22	0.0468
Cubic vs Sp Cubic	2.8	3	0.93	0.67	0.6267
Residual	4.2	3	1.4		
Total	2139.45	13	164.57		
<i>"Sequential Model Sum of Squares [Type II]": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.</i>					
Model Summary Statistics					
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	1.45	0.4256	0.3107	-0.0742	39.2
Quadratic	1.43	0.6092	0.3301	-15.4774	92.96
Special Cubic	1.08	0.8082	0.6164	-33.960	160.42
Cubic	1.18	0.8849	0.5396	-78.846	324.22
<i>"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".</i>					

ตาราง จ.67 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรฐาน วางแผนการทดลองแบบวิธี Mixture design (ต่อ)

ANOVA for Mixture Cubic Model *** Mixture Component Coding is L_ Pseudo. *** Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Model	29.49	6	4.92	4.21	0.0518
Linear Mixture	15.53	2	7.77	6.66	0.03
AB	5.22	1	5.22	4.48	0.0788
AC	1.65E+00	1	1.65E+00	1.41E+00	0.9712
BC	1.41	1	1.41	1.21	0.3134
ABC	7.26	1	7.26	6.22	0.0468
Residual	7	6	1.17		
Cor Total	36.49	12			

The Model F-value of 4.21 implies there is a 5.18% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case Linear Mixture Components, ABC are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	1.08	R-Squared	0.8082
Mean	12.72	Adj R-Squared	0.6164
C. V. %	8.49	Pred R-Squared	-33.960
PRESS	160.42	Adeq Precision	8.273

A negative "Pred R-Squared" implies that the overall mean is a better predictor of your response than the current model. Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 8.273 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

ตาราง ๑.68 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

<u>Fat content</u>		Transform:		None	
Response	Y8	Fat content	Transform:	None	
*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***Sequential Model Sum of Squares [Type I]					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Mean vs Total	15213.69	1	15213.69		Suggested
Linear vs Mean	6.68	2	3.34	1.04	0.3893
Quadratic vs Linear	13.82	3	4.61	1.76	0.2419
Sp_Cubic vs Quadratic	10.41	1	10.41	7.9	0.0307
Cubic vs Sp Cubic	6.79	3	2.26	6.1	0.0858
Residual	1.11	3	0.37		
Total	15252.51	13	1173.27		
<i>"Sequential Model Sum of Squares [Type I]": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.</i>					
Model Summary Statistics					
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	1.79	0.1719	0.0063	-0.6196	62.88
Quadratic	1.62	0.528	0.1909	-23.151	128.7
Special Cubic	1.15	0.7963	0.5926	-11.189	82.26
Cubic	0.61	0.9713	0.8852	-24.610	134.36
<i>"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".</i>					

ตาราง จ.69 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

ANOVA for Mixture Cubic Model. *** Mixture Component Coding is L_Pseudo. *** Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Model	37.71	9	4.19	11.29	0.0355
Linear Mixture	6.68	2	3.34	8.99	0.0541
AB	5.47	1	5.47	14.73	0.0312
AC	2.56	1	2.56	6.9	0.0785
BC	7.72	1	7.72	20.8	0.0198
ABC	9.18	1	9.18	24.74	0.0156
AB(A-B)	4.44	1	4.44	11.97	0.0406
AC(A-C)	2.05	1	2.05	5.53	0.1001
BC(B-C)	0.045	1	0.045	0.12	0.7511
Residual	1.11	3	0.37		
Cor Total	38.82	12			

The Model F-value of 11.29 implies the model is significant. There is only a 3.55% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case AB, BC, ABC, AB(A-B) are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	0.61	R-Squared	0.9713
Mean	34.21	Adj R-Squared	0.8852
C.V. %	1.78	Pred R-Squared	-24.610
PRESS	134.36	Adeq Precision	11.916

A negative "Pred R-Squared" implies that the overall mean is a better predictor of your response than the current model. Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 11.916 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

ตาราง ๑.70 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

Moisture content

Response	Y9	Moisture	Transform:	None	
*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***Sequential Model Sum of Squares [Type I]					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Mean vs Total	14.53	1	14.53		
Linear vs Mean	1.79	2	0.89	6.8	0.0136
Quadratic vs Linear	0.7	3	0.23	2.65	0.1299
Sp Cubic vs Quadratic	0.048	1	0.048	0.51	0.5021
Cubic vs Sp Cubic	0.45	3	0.15	3.95	0.1443
Residual	0.11	3	0.038		
Total	17.64	13	1.36		
"Sequential Model Sum of Squares [Type II]": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.					
Model Summary Statistics					
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS
Linear	0.4089444	0.507936	0.4095232	0.12361778	2.97851982
Quadratic	0.35843766	0.7353826	0.5463702	0.305071933	2.36181996
Special Cubic	0.36945512	0.7590274	0.5180548	-1.125362881	7.22337277
Cubic	0.18878907	0.9685393	0.8741573	-2.329646784	11.3163169
"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".					

"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".

ตาราง จ.71 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

ANOVA for Mixture Cubic Model * Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]**

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Model	1.79	2	0.89	6.8	0.0136
Linear Mixture	1.79	2	0.89	6.8	0.0136
Residual	1.31	10	0.13		
Cor Total	3.1	12			

The Model F-value of 6.80 implies the model is significant. There is only a 1.36% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case Linear Mixture Components are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	0.36	R-Squared	0.5764
Mean	1.06	Adj R-Squared	0.4917
C.V. %	34.3	Pred R-Squared	0.2007
PRESS	2.48	Adeq Precision	8.494

The "Pred R-Squared" of 0.2007 is not as close to the "Adj R-Squared" of 0.4917 as one might normally expect. This may indicate a large block effect or a possible problem with your model and/or data. Things to consider are model reduction, response transformation, outliers, etc. Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 8.494 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

Peroxide value

Response Y10 peroxide value Transform: None

*** Mixture Component Coding is L_Pseudo. ***Sequential Model Sum of Squares [Type I]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)
Mean vs Total	1.63E+10	1	1.63E+10		Suggested
Linear vs Mean	1.96E+09	2	9.79E+08	0.19	0.8336
Quadratic vs Linear	1.99E+10	3	6.65E+09	1.42	0.3163
Sp Cubic vs Quadratic	3.11E+09	1	3.11E+09	0.63	0.4587

ตาราง จ.72 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

Cubic vs Sp.Cubic	2.04E+10	3	6.80E+02	2.18	0.2695	Suggested
Residual	9.36E+09	3	3.12E+09			
Total	7.11E+10	13	5.47E+09			
<i>"Sequential Model Sum of Squares [Type I]": Select the highest order polynomial where the additional terms are significant and the model is not aliased.</i>						
Model Summary Statistics						
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	2297.8	0.0357	-0.1571	-0.4072	7.71E+10	
Quadratic	2166.56	0.3999	-0.0287	-0.9216	1.05E+11	
Special Cubic	2226.74	0.4567	-0.0866	-94.164	5.70E+11	
Cubic	1766.46	0.829	0.3162	-189.625	1.09E+12	Suggested
<i>"Model Summary Statistics": Focus on the model maximizing the "Adjusted R-Squared" and the "Predicted R-Squared".</i>						
ANOVA for Mixture Cubic Model *** Mixture Component Coding is L_Pseudo. *** Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value (Prob > F)	
Model	2.50E+10	6	4.17E+09	0.84	0.5808	not significant
Linear Mixture	1.96E+09	2	9.79E+08	0.2	0.826	
AB	5.15E+08	1	5.15E+08	0.1	0.7582	
AC	7.15E+08	1	7.15E+08	0.14	0.7173	
BC	8.12E+08	1	8.12E+08	0.16	0.6998	
ABC	3.11E+09	1	3.11E+09	0.63	0.4587	
Residual	2.98E+10	6	4.96E+09			
Cor Total	5.48E+10	12				

The "Model F-value" of 0.84 implies the model is not significant relative to the noise. There is a 58.08 % chance that a "Model F-value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case there are no significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

ตาราง จ.73 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design (ต่อ)

Std. Dev.	2226.74	R-Squared	0.4567
Mean	1120.45	Adj R-Squared	-0.0866
C.V. %	198.74	Pred R-Squared	-94.164
PRESS	5.70E+11	Adeq Precision	2.146

A negative "Pred R-Squared" implies that the overall mean is a better predictor of your response than the current model. Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio of 2.15 indicates an inadequate signal and we should not use this model to navigate the design space.

ตาราง จ.74 ผลการวิเคราะห์หาสภาพที่เหมาะสม (optimization)ของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design

Optimization (Numerical)

Constraints

Name	Goal	Limit	Limit	Weight	Weight	Importance
Hom Mali Rice	maximize	40	50	1	1	3
Carrageena	is in range	0	5	1	1	3
Polysorbate 60	is in range	0	5	1	1	3
Fat content	minimize	314.243	37.39	1	1	3
Moisture content	minimize	0.484	226.078	1	1	3
Viscosity	is in range	425	3330.67	1	1	3
Stability	maximize	94	99.5	1	1	3
Water activity (aw)	minimize	0.248667	0.38	1	1	3
L*	is in range	83.38	93.25	1	1	3
a*	maximize	-0.60667	-0.05	1	1	3

Solutions

Number	X1	X2	X3	Fat	Moisture	viscosity	Stability	a _w	L*	a*	Desirability
1	43.139	2.847	4.014	33.688	0.905825	2226.65	991.669	0.270382	871.977	-0.16338	0.673
2	47.300	2.700	0	321.295	143.075	2423.23	977.364	0.332122	92.092	-0.09489	0.64

Selected

ตาราง จ.75 ผลการวิเคราะห์สถานะที่เหมาะสม (optimization) ของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงสูตรมาตรฐาน วางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture design

Optimization (Numerical) (ต่อ)

Point prediction

Component	Name	Level	Low Level	High Level	Std. Dev.	Coding	
A	Hom Mali Rice	43.14	40	50	0	Actual	
B	Carrageena	2.85	0	5	0	Actual	
C	Polysorbate 60	4.01	0	5	0	Actual	
	Total =	50					
Response	Prediction	SE Mean	95% CI low	95% CI high	SE Pred	95% PI low	95% PI high
Fat content	33.688	0.53	32	35.37	0.81	31.12	36.26
Moisture content	0.905825	0.13	0.61	1.2	0.39	0.045	1.77
Peroxide value	2788.44	1155.53	-39.05	5615.93	2508.71	-3350.15	8927.03
Viscosity	2226.65	288.05	1584.83	2868.46	831.72	373.46	4079.83
Stability	991.669	0.48	98.02	100.31	1.14	96.46	101.87
Solubility	864.032	0.81	84.6	88.21	2.34	81.19	91.61
Water activity (aw)	0.270382	0.011	0.25	0.3	0.032	0.2	0.34
L*	871.977	0.77	85.47	88.92	2.24	82.21	92.18
a*	-0.16338	0.051	-0.33	2.14E-01	0.078	-0.41	0.086
b*	12.993	0.56	11.62	14.36	1.22	10.02	15.97

ตาราง จ.77: Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA):

Critical values of F for the 0.05 significance level										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161.45	199.5	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88
2	18.51	19	19.16	19.25	19.3	19.33	19.35	19.37	19.39	19.4
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6	5.96
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.1	4.06
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.5	3.44	3.39	3.35
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14
10	4.97	4.1	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.2	3.1	3.01	2.95	2.9	2.85
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3	2.91	2.85	2.8	2.75
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67
14	4.6	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.7	2.65	2.6
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.9	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49
17	4.45	3.59	3.2	2.97	2.81	2.7	2.61	2.55	2.49	2.45
18	4.41	3.56	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41
19	4.38	3.52	3.13	2.9	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38
20	4.35	3.49	3.1	2.87	2.71	2.6	2.51	2.45	2.39	2.35
21	4.33	3.47	3.07	2.84	2.69	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32
22	4.3	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.4	2.34	2.3
23	4.28	3.42	3.03	2.8	2.64	2.53	2.44	2.38	2.32	2.28

ตาราง จ.78: Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ)

	Critical values of F for the 0.05 significance level									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	4.26	3.4	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.3	2.26
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.6	2.49	2.41	2.34	2.28	2.24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.2
28	4.2	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19
29	4.18	3.33	2.93	2.7	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.17
31	4.16	3.31	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.26	2.2	2.15
32	4.15	3.3	2.9	2.67	2.51	2.4	2.31	2.24	2.19	2.14
33	4.14	3.29	2.89	2.66	2.5	2.39	2.3	2.24	2.18	2.13
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.2	2.15	2.1
38	4.1	3.25	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08
40	4.09	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08
41	4.08	3.23	2.83	2.6	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.07
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.1	2.05
45	4.06	3.2	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.1	2.05
46	4.05	3.2	2.81	2.57	2.42	2.3	2.22	2.15	2.09	2.04
47	4.05	3.2	2.8	2.57	2.41	2.3	2.21	2.14	2.09	2.04

ตาราง จ.79: Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ)

	Critical values of F for the 0.05 significance level									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
48	4.04	3.19	2.8	2.57	2.41	2.3	2.21	2.14	2.08	2.04
49	4.04	3.19	2.79	2.56	2.4	2.29	2.2	2.13	2.08	2.03
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.4	2.29	2.2	2.13	2.07	2.03
51	4.03	3.18	2.79	2.55	2.4	2.28	2.2	2.13	2.07	2.02
52	4.03	3.18	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.07	2.02
53	4.02	3.17	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.06	2.02
54	4.02	3.17	2.78	2.54	2.39	2.27	2.19	2.12	2.06	2.01
55	4.02	3.17	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.06	2.01
56	4.01	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.01
57	4.01	3.16	2.77	2.53	2.38	2.26	2.18	2.11	2.05	2.00
58	4.01	3.16	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.1	2.05	2.00
59	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.1	2.04	2.00
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.1	2.04	1.99
61	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.16	2.09	2.04	1.99
62	4.00	3.15	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.04	1.99
63	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.99
64	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.24	2.16	2.09	2.03	1.98
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98
66	3.99	3.14	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98
67	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98
68	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.97
69	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.23	2.15	2.08	2.02	1.97
70	3.98	3.13	2.74	2.5	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97
71	3.98	3.13	2.73	2.5	2.34	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97

ตาราง จ.80 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ)

	Critical values of F for the 0.05 significance level									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
72	3.97	3.12	2.73	2.5	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97
73	3.97	3.12	2.73	2.5	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96
74	3.97	3.12	2.73	2.5	2.34	2.22	2.14	2.07	2.01	1.96
75	3.97	3.12	2.73	2.49	2.34	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96
76	3.97	3.12	2.73	2.49	2.34	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96
77	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.96
78	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95
79	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95
81	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95
82	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95
83	3.96	3.11	2.72	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95
84	3.96	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95
85	3.95	3.1	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94
86	3.95	3.1	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94
87	3.95	3.1	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94
88	3.95	3.1	2.71	2.48	2.32	2.2	2.12	2.05	1.99	1.94
89	3.95	3.1	2.71	2.47	2.32	2.2	2.11	2.04	1.99	1.94
90	3.95	3.1	2.71	2.47	2.32	2.2	2.11	2.04	1.99	1.94
91	3.95	3.1	2.71	2.47	2.32	2.2	2.11	2.04	1.98	1.94
92	3.95	3.1	2.7	2.47	2.31	2.2	2.11	2.04	1.98	1.94
93	3.94	3.09	2.7	2.47	2.31	2.2	2.11	2.04	1.98	1.93
94	3.94	3.09	2.7	2.47	2.31	2.2	2.11	2.04	1.98	1.93

ตาราง จ.81 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ)

	Critical values of F for the 0.05 significance level									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
95	3.94	3.09	2.7	2.47	2.31	2.2	2.11	2.04	1.98	1.93
96	3.94	3.09	2.7	2.47	2.31	2.2	2.11	2.04	1.98	1.93
97	3.94	3.09	2.7	2.47	2.31	2.19	2.11	2.04	1.98	1.93
98	3.94	3.09	2.7	2.47	2.31	2.19	2.1	2.03	1.98	1.93
99	3.94	3.09	2.7	2.46	2.31	2.19	2.1	2.03	1.98	1.93
100	3.94	3.09	2.7	2.46	2.31	2.19	2.1	2.03	1.98	1.93

Critical values of F for the 0.01 significance level:										
1	4052.19	4999.52	5403.34	5624.62	5763.65	5858.97	5928.3	5981.1	6022.5	6055.85
2	98.5	99	99.17	99.25	99.3	99.33	99.36	99.37	99.39	99.4
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23
4	21.2	18	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.8	14.66	14.55
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05
6	13.75	10.93	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.1	7.98	7.87
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.8	5.61	5.47	5.35	5.26
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.2	5.06	4.94	4.85
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.5	4.39	4.3
13	9.07	6.7	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.3	4.19	4.1
14	8.86	6.52	5.56	5.04	4.7	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4	3.9	3.81
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.2	4.03	3.89	3.78	3.69

ตาราง จ.82 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ)

	Critical values of F for the 0.01 significance level:									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	8.4	6.11	5.19	4.67	4.34	4.1	3.93	3.79	3.68	3.59
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.02	3.84	3.71	3.6	3.51
19	8.19	5.93	5.01	4.5	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43
20	8.1	5.85	4.94	4.43	4.1	3.87	3.7	3.56	3.46	3.37
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.4	3.31
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26
23	7.88	5.66	4.77	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.3	3.21
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.9	3.67	3.5	3.36	3.26	3.17
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09
27	7.68	5.49	4.6	4.11	3.79	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03
29	7.6	5.42	4.54	4.05	3.73	3.5	3.33	3.2	3.09	3.01
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.7	3.47	3.31	3.17	3.07	2.98
31	7.53	5.36	4.48	3.99	3.68	3.45	3.28	3.15	3.04	2.96
32	7.5	5.34	4.46	3.97	3.65	3.43	3.26	3.13	3.02	2.93
33	7.47	5.31	4.44	3.95	3.63	3.41	3.24	3.11	3	2.91
34	7.44	5.29	4.42	3.93	3.61	3.39	3.22	3.09	2.98	2.89
35	7.42	5.27	4.4	3.91	3.59	3.37	3.2	3.07	2.96	2.88
36	7.4	5.25	4.38	3.89	3.57	3.35	3.18	3.05	2.95	2.86
37	7.37	5.23	4.36	3.87	3.56	3.33	3.17	3.04	2.93	2.84
38	7.35	5.21	4.34	3.86	3.54	3.32	3.15	3.02	2.92	2.83
39	7.33	5.19	4.33	3.84	3.53	3.31	3.14	3.01	2.9	2.81
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.8

ตาราง จ.83 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ)

	Critical values of F for the 0.01 significance level:									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41	7.3	5.16	4.3	3.82	3.5	3.28	3.11	2.98	2.88	2.79
42	7.28	5.15	4.29	3.8	3.49	3.27	3.1	2.97	2.86	2.78
43	7.26	5.14	4.27	3.79	3.48	3.25	3.09	2.96	2.85	2.76
44	7.25	5.12	4.26	3.78	3.47	3.24	3.08	2.95	2.84	2.75
45	7.23	5.11	4.25	3.77	3.45	3.23	3.07	2.94	2.83	2.74
46	7.22	5.1	4.24	3.76	3.44	3.22	3.06	2.93	2.82	2.73
47	7.21	5.09	4.23	3.75	3.43	3.21	3.05	2.92	2.81	2.72
48	7.19	5.08	4.22	3.74	3.43	3.2	3.04	2.91	2.8	2.72
49	7.18	5.07	4.21	3.73	3.42	3.2	3.03	2.9	2.79	2.71
50	7.17	5.06	4.2	3.72	3.41	3.19	3.02	2.89	2.79	2.7
51	7.16	5.05	4.19	3.71	3.4	3.18	3.01	2.88	2.78	2.69
52	7.15	5.04	4.18	3.7	3.39	3.17	3.01	2.87	2.77	2.68
53	7.14	5.03	4.17	3.7	3.38	3.16	3	2.87	2.76	2.68
54	7.13	5.02	4.17	3.69	3.38	3.16	2.99	2.86	2.76	2.67
55	7.12	5.01	4.16	3.68	3.37	3.15	2.98	2.85	2.75	2.66
56	7.11	5.01	4.15	3.67	3.36	3.14	2.98	2.85	2.74	2.66
57	7.1	5	4.15	3.67	3.36	3.14	2.97	2.84	2.74	2.65
58	7.09	4.99	4.14	3.66	3.35	3.13	2.97	2.84	2.73	2.64
59	7.09	4.98	4.13	3.66	3.35	3.12	2.96	2.83	2.72	2.64
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63
61	7.07	4.97	4.12	3.64	3.33	3.11	2.95	2.82	2.71	2.63
62	7.06	4.97	4.11	3.64	3.33	3.11	2.94	2.81	2.71	2.62
63	7.06	4.96	4.11	3.63	3.32	3.1	2.94	2.81	2.7	2.62
64	7.05	4.95	4.1	3.63	3.32	3.1	2.93	2.8	2.7	2.61

ตาราง จ.84 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ)

	Critical values of F for the 0.01 significance level:									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
65	7.04	4.95	4.1	3.62	3.31	3.09	2.93	2.8	2.69	2.61
66	7.04	4.94	4.09	3.62	3.31	3.09	2.92	2.79	2.69	2.6
67	7.03	4.94	4.09	3.61	3.3	3.08	2.92	2.79	2.68	2.6
68	7.02	4.93	4.08	3.61	3.3	3.08	2.91	2.79	2.68	2.59
69	7.02	4.93	4.08	3.6	3.3	3.08	2.91	2.78	2.68	2.59
70	7.01	4.92	4.07	3.6	3.29	3.07	2.91	2.78	2.67	2.59
71	7.01	4.92	4.07	3.6	3.29	3.07	2.9	2.77	2.67	2.58
72	7.00	4.91	4.07	3.59	3.28	3.06	2.9	2.77	2.66	2.58
73	7.00	4.91	4.06	3.59	3.28	3.06	2.9	2.77	2.66	2.57
74	6.99	4.9	4.06	3.58	3.28	3.06	2.89	2.76	2.66	2.57
75	6.99	4.9	4.05	3.58	3.27	3.05	2.89	2.76	2.65	2.57
76	6.98	4.9	4.05	3.58	3.27	3.05	2.88	2.76	2.65	2.56
77	6.98	4.89	4.05	3.57	3.27	3.05	2.88	2.75	2.65	2.56
78	6.97	4.89	4.04	3.57	3.26	3.04	2.88	2.75	2.64	2.56
79	6.97	4.88	4.04	3.57	3.26	3.04	2.87	2.75	2.64	2.55
80	6.96	4.88	4.04	3.56	3.26	3.04	2.87	2.74	2.64	2.55
81	6.96	4.88	4.03	3.56	3.25	3.03	2.87	2.74	2.63	2.55
82	6.95	4.87	4.03	3.56	3.25	3.03	2.87	2.74	2.63	2.55
83	6.95	4.87	4.03	3.55	3.25	3.03	2.86	2.73	2.63	2.54
84	6.95	4.87	4.02	3.55	3.24	3.03	2.86	2.73	2.63	2.54
85	6.94	4.86	4.02	3.55	3.24	3.02	2.86	2.73	2.62	2.54
86	6.94	4.86	4.02	3.55	3.24	3.02	2.85	2.73	2.62	2.53
87	6.94	4.86	4.02	3.54	3.24	3.02	2.85	2.72	2.62	2.53
88	6.93	4.86	4.01	3.54	3.23	3.01	2.85	2.72	2.62	2.53

ตาราง จ.85 Table of critical values for the F distribution (for use with ANOVA) (ต่อ)

	Critical values of F for the 0.01 significance level:									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
89	6.93	4.85	4.01	3.54	3.23	3.01	2.85	2.72	2.61	2.53
90	6.93	4.85	4.01	3.54	3.23	3.01	2.85	2.72	2.61	2.52
91	6.92	4.85	4.00	3.53	3.23	3.01	2.84	2.71	2.61	2.52
92	6.92	4.84	4.00	3.53	3.22	3.00	2.84	2.71	2.61	2.52
93	6.92	4.84	4.00	3.53	3.22	3.00	2.84	2.71	2.6	2.52
94	6.91	4.84	4.00	3.53	3.22	3.00	2.84	2.71	2.6	2.52
95	6.91	4.84	4.00	3.52	3.22	3.00	2.83	2.7	2.6	2.51
96	6.91	4.83	3.99	3.52	3.21	3.00	2.83	2.7	2.6	2.51
97	6.9	4.83	3.99	3.52	3.21	2.99	2.83	2.7	2.6	2.51
98	6.9	4.83	3.99	3.52	3.21	2.99	2.83	2.7	2.59	2.51
99	6.9	4.83	3.99	3.52	3.21	2.99	2.83	2.7	2.59	2.51
100	6.9	4.82	3.98	3.51	3.21	2.99	2.82	2.69	2.59	2.5



ตาราง ๖.86 Significant studentized range for Tukey test มีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 5 และ 1

upper Percentage Points of the Studentized Range, $q_\alpha = [X_{\max} - X_{\min}] / S_x$

P = จำนวนของค่าเฉลี่ยที่ทดลอง

α	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	3.64	4.6	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.8	6.99	7.17	7.32	7.47	7.6	7.72	7.83	7.93	8.03	8.12	8.21
6	5.7	6.97	7.8	8.42	8.91	9.32	9.67	9.97	10.24	10.48	10.7	10.89	11.08	11.24	11.4	11.55	11.68	11.81	11.93
7	3.46	4.34	4.9	5.31	5.63	5.89	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14	7.24	7.34	7.43	7.51	7.59
8	5.24	6.33	7.03	7.56	7.97	8.32	8.61	8.87	9.1	9.3	9.49	9.65	9.81	9.95	10.08	10.21	10.32	10.43	10.54
9	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6	6.16	6.3	6.43	6.55	6.66	6.76	6.85	6.94	7.02	7.09	7.17
10	4.95	5.92	6.54	7.01	7.37	7.68	7.94	8.17	8.37	8.55	8.71	8.86	9	9.12	9.24	9.35	9.46	9.55	9.65
11	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.4	5.6	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48	6.57	6.65	6.73	6.8	6.87
12	4.74	5.63	6.2	6.63	6.96	7.24	7.47	7.68	7.87	8.03	8.18	8.31	8.44	8.55	8.66	8.76	8.85	8.94	9.03
13	3.2	3.95	4.42	4.76	5.02	5.24	5.43	5.6	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28	6.36	6.44	6.51	6.58	6.64
14	4.6	5.43	5.96	6.35	6.66	6.91	7.13	7.32	7.49	7.65	7.78	7.91	8.03	8.13	8.23	8.32	8.41	8.49	8.57
15	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.3	5.46	5.6	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11	6.2	6.27	6.34	6.4	6.47
16	4.48	5.27	5.77	6.14	6.43	6.67	6.87	7.05	7.21	7.36	7.48	7.6	7.71	7.81	7.91	7.99	8.07	8.15	8.22
17	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.2	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.9	5.99	6.06	6.14	6.2	6.26	6.33
18	4.39	5.14	5.62	5.97	6.25	6.48	6.67	6.84	6.99	7.13	7.25	7.36	7.46	7.56	7.65	7.73	7.81	7.88	7.95
19	3.08	3.77	4.2	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.4	5.51	5.62	5.71	5.8	5.88	5.95	6.03	6.09	6.15	6.21
20	4.32	5.04	5.5	5.84	6.1	6.32	6.51	6.67	6.81	6.94	7.06	7.17	7.26	7.36	7.44	7.52	7.59	7.66	7.73
21	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79	5.86	5.93	6	6.05	6.11
22	4.26	4.96	5.4	5.73	5.98	6.19	6.37	6.53	6.67	6.79	6.9	7.01	7.1	7.19	7.27	7.34	7.42	7.48	7.55
23	3.03	3.7	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.55	5.64	5.72	5.79	5.85	5.92	5.97	6.03
24	4.21	4.89	5.32	5.63	5.88	6.08	6.26	6.41	6.54	6.66	6.77	6.87	6.96	7.05	7.12	7.2	7.27	7.33	7.39
25	3.01	3.67	4.08	4.37	4.6	4.78	4.94	5.08	5.2	5.31	5.4	5.49	5.58	5.65	5.72	5.79	5.85	5.9	5.96

ตาราง ๖.87 Significant studentized range for Tukey test มีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 5 และ 1(ต่อ)
upper Percentage Points of the Studentized Range Z , $q\alpha = [X_{\max} - X_{\min}] / S_x$

α	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
15	0.01	4.17	4.83	5.25	5.56	5.8	5.99	6.16	6.31	6.44	6.55	6.66	6.76	6.84	6.93	7	7.07	7.14	7.2	7.26
16	0.05	3	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.9	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59	5.66	5.72	5.79	5.84	5.9
	0.01	4.13	4.78	5.19	5.49	5.72	5.92	6.08	6.22	6.35	6.46	6.56	6.66	6.74	6.82	6.9	6.97	7.03	7.09	7.15
17	0.05	2.98	3.63	4.02	4.3	4.52	4.71	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.55	5.61	5.68	5.74	5.79	5.84
	0.01	4.1	4.74	5.14	5.43	5.66	5.85	6.01	6.15	6.27	6.38	6.48	6.57	6.66	6.73	6.8	6.87	6.94	7	7.05
18	0.05	2.97	3.61	4	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.5	5.57	5.63	5.69	5.74	5.79
	0.01	4.07	4.7	5.09	5.38	5.6	5.79	5.94	6.08	6.2	6.31	6.41	6.5	6.58	6.65	6.72	6.79	6.85	6.91	6.96
19	0.05	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.32	5.39	5.46	5.53	5.59	5.65	5.7	5.75
	0.01	4.05	4.67	5.05	5.33	5.55	5.73	5.89	6.02	6.14	6.25	6.34	6.43	6.51	6.58	6.65	6.72	6.78	6.84	6.89
20	0.05	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.9	5.01	5.11	5.2	5.28	5.36	5.43	5.49	5.55	5.61	5.66	5.71
	0.01	4.02	4.64	5.02	5.29	5.51	5.69	5.84	5.97	6.09	6.19	6.29	6.37	6.45	6.52	6.59	6.65	6.71	6.76	6.82
24	0.05	2.92	3.53	3.9	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.1	5.18	5.25	5.32	5.38	5.44	5.5	5.54	5.59
	0.01	3.93	4.54	4.91	5.17	5.37	5.54	5.69	5.81	5.92	6.02	6.11	6.19	6.26	6.33	6.39	6.45	6.51	6.56	6.61
30	0.05	2.89	3.49	3.84	4.1	4.3	4.46	4.6	4.72	4.83	4.92	5	5.08	5.15	5.21	5.27	5.33	5.38	5.43	5.48
	0.01	3.89	4.45	4.8	5.05	5.24	5.4	5.54	5.65	5.76	5.85	5.93	6.01	6.08	6.14	6.2	6.26	6.31	6.36	6.41
40	0.05	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.74	4.82	4.91	4.98	5.05	5.11	5.16	5.22	5.27	5.31	5.36
	0.01	3.82	4.37	4.7	4.93	5.11	5.27	5.39	5.5	5.6	5.69	5.77	5.84	5.9	5.96	6.02	6.07	6.12	6.17	6.21
60	0.05	2.83	3.4	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65	4.73	4.81	4.88	4.94	5	5.06	5.11	5.16	5.2	5.24
	0.01	3.76	4.28	4.6	4.82	4.99	5.13	5.25	5.36	5.45	5.53	5.6	5.67	5.73	5.79	5.84	5.89	5.93	5.98	6.02
120	0.05	2.8	3.36	3.69	3.92	4.1	4.24	4.36	4.48	4.56	4.64	4.72	4.78	4.84	4.9	4.95	5	5.05	5.09	5.13
	0.01	3.7	4.2	4.5	4.71	4.87	5.01	5.12	5.21	5.3	5.38	5.44	5.51	5.56	5.61	5.66	5.71	5.75	5.79	5.83
α	0.05	2.77	3.31	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47	4.55	4.62	4.68	4.74	4.8	4.85	4.89	4.93	4.97	5.01
	0.01	3.64	4.12	4.4	4.6	4.76	4.88	4.99	5.08	5.16	5.23	5.29	5.35	5.4	5.45	5.49	5.54	5.57	5.61	5.65

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นภาพร วรรณรอด
วันเกิด	27 พฤษภาคม 2536
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลเซกา
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	64/10 บ้านโนนสำราญใต้ ตำบล โสกก่าม อำเภอเซกา จังหวัดบึงกาฬ 38150
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2551 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนโสกก่ามวิทยา อำเภอเซกา จังหวัดบึงกาฬ พ.ศ. 2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดสกลนคร พ.ศ. 2559 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2562 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท 2560 และ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหม้อ จังหวัดร้อยเอ็ด
ผลงานวิจัย	Napaporn Wannarot and Sirithon Siriamornpun. “ Physical and chemical properties of low-fat non-dairy creamer powder using Hom Mali Rice substitution”. Poster - Proceedings of the conference in CD form of The 21st Food Innovation Asia Conference 2019 (FIAC 2019; Future Food Innovation for Better Health and Wellness 13-15 June 2019; at Bangkok International Trade & Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand , 2019.