



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)
ปริญญา

.....
วิทยาศาสตรการอาหาร

.....
วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนมะพร้าว

Development of Nondairy Creamer from Coconut Protein

นามผู้วิจัย นางปริญญา จิยพงศ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สิริชัย ส่งเสริมพงษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจาอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนมะพร้าว

Development of Nondairy Creamer from Coconut Protein

โดย

นางปริญญญา จิยพงศ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรจารย์การอาหาร)

พ.ศ. 2552

ปริญญญา จิยพงศ์ 2552: การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนมะพร้าว
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, Ph.D. 84 หน้า

ในงานวิจัยนี้ทดลองใช้น้ำมันผสมระหว่างไขมันปาล์มสเตอรินกับไขมันปาล์มโอเลอิน และโปรตีนมะพร้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันมะพร้าวสด เป็นส่วนประกอบของครีมเทียม การศึกษาอิทธิพลของปริมาณโปรตีนมะพร้าวต่อความคงตัวของอิมัลชัน พบว่าอิมัลชันของโปรตีนมะพร้าวและน้ำมันผสมมีดัชนีการเกิดครีม (creaming index) ลดลง มีความคงตัว (emulsion stability) มากขึ้น และมีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น นำอิมัลชันที่ใช้สารละลายโปรตีนร้อยละ 10 ซึ่งมีดัชนีการเกิดครีมน้อยละ 87.1 ความคงตัวร้อยละ 65.0 และค่า L^* 84.9 มาเพิ่มความคงตัวด้วยโพแทสเซียมฟอสเฟตร้อยละ 0.1 0.2 และ 0.3 ร่วมกับคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 0.02 0.04 และ 0.06 สารทั้งสองทำให้ค่าดัชนีการเกิดครีมลดลง และความคงตัวเพิ่มขึ้น ขณะที่โพแทสเซียมฟอสเฟตส่งผลให้ค่า L^* ลดลง สูตรที่เกิดการแยกครีมน้อยที่สุด มีความคงตัวและความสว่างมากที่สุดคือสูตรที่ใช้โพแทสเซียมฟอสเฟตร้อยละ 0.2 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 0.06 ซึ่งมีค่าดัชนีการเกิดครีมน้อยละ 54.60 ความคงตัวร้อยละ 98.08 และค่า L^* 85.57 นำสูตรนี้มาลดการแยกชั้นครีมด้วย พอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.2 โมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 0.4 และแปรผันเลขที่ที่ร้อยละ 0.2 0.4 และ 0.6 พบว่าไม่มีการแยกชั้นครีมทุกสูตร เลือกสูตรที่ใช้เลขที่ที่ร้อยละ 0.6 ซึ่งให้ความขาวได้สูงสุด ($\Delta L^* 24.72$) มาผลิตครีมเทียมผงจำนวน 9 สูตรเตรียมอิมัลชันโดยใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลว 40 44 และ 48 °C ร้อยละ 10 ร่วมกับมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14 พบว่าครีมเทียมผงมีอนุภาคขนาด 5.5-6.9 ไมครอน มีความหนาแน่นบรรจุ (bulk density) 0.34-0.36 กรัม/มิลลิลิตร การใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันไม่มีผลต่อการให้ความขาว แต่มอลโทเดกซ์ทรินที่มากขึ้นทำให้ความสามารถให้ความขาวลดลง ไม่พบการตกตะกอนของโปรตีน และไม่เกิดการแยกชั้นครีมในสารละลายกาแฟหลังจากทิ้งไว้นาน 10 นาที ทุกตัวอย่าง สูตรที่ให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้มากที่สุดและมีไขมันอิ่มตัวน้อยที่สุด คือสูตรที่ใช้น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 40 °C ร้อยละ 10 ร่วมกับมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 12 ซึ่งมีความชื้นร้อยละ 3 ไขมันร้อยละ 37 และโปรตีนร้อยละ 0.65

Patinya Jiyipong 2009: Development of Nondairy Creamer from Coconut Protein. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Sukoncheun Sringam, Ph.D. 84 pages.

In this research, mixture of palm stearin and palm olein and coconut protein, a by product from virgin coconut oil production, were studied for nondairy creamer production. Effects of coconut protein concentration on the stability of emulsion were studied. The results showed decreasing in creaming index, increasing in emulsion stability and L* value with increased protein concentrates. The one with 10% protein was the most stable and had highest lightness. It had 87.1% creaming index, 65.0% emulsion stability, and 84.9 L* value. The stability of the emulsion was increased by adding dipotassium phosphate at 0.1, 0.2 and 0.3% with carrageenan at 0.02, 0.04, and 0.06%. The result showed that the two agents could improve emulsion stability, while phosphate lowered the lightness. The formular which contained 0.2 % dipotassium phosphate and 0.06% carrageenan gave the most stabilized emulsion and the highest lightness. The creaming of emulsion were reduced by adding 0.2 % polysorbate 60, 0.4 % monoglyceride, and 0.2, 0.4, 0.6 % lecithin. All formulars had no creaming. The formular that contained 0.6% lecithin which had the highest whitening power (ΔL^* 24.72) was selected for preparing nondairy creamer emulsion. Nine powdered nondairy creamers were produced from 10% mixed oil of 40, 44 and 48 °C melting points with 10, 12 and 14% maltodextrin. Powdered nondairy creamers had 5.5-6.9 microns particle size, 0.34-0.36 g/ml bulk density. The melting point of the oils had no effect on whitening power, but the more maltodextrin used, the lower whitening power. Coffee stability test showed no feathering and no creaming for 10 minutes in all samples. The formular that had the highest whitening power and the lowest saturated fatty acid was the one of 10% mixed oil of 40 °C melting point and 12 % maltodextrin. It had 3% moisture content, 37 % fat and 0.65 % protein.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

___ / ___ / ___

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุคนธ์ชื่น ศรีงาม อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ที่ช่วยให้คำปรึกษาในการวางแผนการทดลอง ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ และให้
การช่วยเหลือในทุกๆด้าน คอยให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา รวมทั้งอาจารย์ศิริชัย ส่งเสริมพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดี และช่วยตรวจสอบแก้ไข
วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ อรอนงค์ นัยวิกุล ประธานการสอบ และอาจารย์เกื้อกุล
ปิยะจอมขวัญ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้การชี้แนะและช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความ
สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่สั่งสอน ให้ความรู้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ใน
ห้องปฏิบัติการคือคุณชวลิต วิทยานารถไพศาล คุณสมพร บุญอินทร์ คุณธนวัน วาข่า และเจ้าหน้าที่
ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิจัย และขอขอบพระคุณอาจารย์พงษ์ วานานุวัช
บริษัท เอิร์ธบอร์น จำกัด บริษัท ลำสูง (ประเทศไทย) จำกัด มหาชน และบริษัทไทยฟูดแอนด์เคมี
คอล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุดิบและสารเคมีในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ลาศึกษาในครั้งนี้ และ
ขอบพระคุณคุณพ่อ พี่น้อง คุณอุเทน ตลอดจนเพื่อนร่วมงาน และเพื่อนนิสิตที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่
เข้าใจและคอยให้กำลังใจ ทำให้ข้าพเจ้ามีพลังในการทำงานวิจัยครั้งนี้จนเสร็จสิ้นด้วยดี

ความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขออุทิศให้คุณแม่ลัดดา คงแป้น ซึ่งได้จากข้าพเจ้า
ไปอย่างไม่มีวันกลับในระหว่างที่ข้าพเจ้าดำเนินการงานวิจัยในครั้งนี้

ปฎิญา จิยพงศ์

เมษายน 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	25
ผลและวิจารณ์	33
สรุปและข้อเสนอแนะ	65
สรุป	65
ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	67
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	73
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางสถิติ	76
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	84

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สูตรของอิมัลชันที่ประกอบด้วยสารละลายโปรตีนมะพร้าว ร้อยละ 90 กับน้ำมันผสมร้อยละ 10 เมื่อแปรผันปริมาณไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนน	28
2	ส่วนประกอบของอิมัลชันครีมเทียมเมื่อใช้อิมัลซิไฟเออร์ 3 ชนิดร่วมกัน คือ โมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 0.4 โพลีซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.2 และแปรผันปริมาณเลซิทีนที่ร้อยละ 0.2 0.4 และ 0.6	29
3	คุณภาพของอิมัลชันที่ประกอบด้วยสารละลายโปรตีนมะพร้าวร้อยละ 90 และน้ำมันผสมร้อยละ 10	34
4	ค่าดัชนีการเกิดคริมของอิมัลชันที่ประกอบด้วยสารละลายโปรตีนมะพร้าวความเข้มข้นร้อยละ 10 และ น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส เมื่อแปรผันปริมาณไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนน	37
5	ความคงตัวของอิมัลชันที่ประกอบด้วยสารละลายโปรตีนมะพร้าวความเข้มข้นร้อยละ 10 น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส เมื่อแปรผันปริมาณไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนน	38
6	ค่า L^* ของอิมัลชันที่ประกอบด้วยโปรตีนมะพร้าวความเข้มข้นร้อยละ 10 และ น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส เมื่อแปรผันปริมาณไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนน	40
7	คุณภาพของอิมัลชันเมื่อผ่านการปรับปรุงความคงตัวด้วยอิมัลซิไฟเออร์	42
8	ค่า L^* ของอิมัลชันครีมเทียม เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14	44
9	ค่า a^* ของอิมัลชันครีมเทียม เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14	46
10	ค่า b^* ของอิมัลชันครีมเทียม เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14	47
11	ค่า E ของอิมัลชันครีมเทียม เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	ขนาดอนุภาคของครีมเทียมชนิดผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14	52
13	ความหนาแน่นของครีมเทียมชนิดผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14	54
14	ค่า L^* ของครีมเทียมผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14	55
15	ค่า a^* ของครีมเทียมผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14	57
16	ค่า b^* ของครีมเทียมผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14	58
17	ค่า E ของครีมเทียมผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14	59
18	ความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาเฟของครีมเทียมชนิดผง (ΔL^*) เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และ ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข1	การวิเคราะห์ดัชนีการเกิดคริมของอิมัลชันครีมเทียม(ผลการทดลองในตารางที่ 3)	77
ข2	การวิเคราะห์ความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 3)	77
ข3	การวิเคราะห์ค่า L^* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 3)	77
ข4	การวิเคราะห์ค่าดัชนีการเกิดคริมของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 4)	78
ข5	การวิเคราะห์ความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 5)	78
ข6	การวิเคราะห์ค่า L^* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 6)	78
ข7	การวิเคราะห์ค่าความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 7)	79
ข8	การวิเคราะห์ค่า L^* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 7)	79
ข9	การวิเคราะห์ค่า ΔL^* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 7)	79
ข10	การวิเคราะห์ค่า L^* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 8)	80
ข11	การวิเคราะห์ค่า a^* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 9)	80
ข12	การวิเคราะห์ค่า b^* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 10)	80
ข13	การวิเคราะห์ค่า E ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 11)	81
ข14	การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 12)	81
ข15	การวิเคราะห์ความหนาแน่นบรรจุของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 13)	81
ข16	การวิเคราะห์ค่า L^* ของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 14)	82
ข17	การวิเคราะห์ค่า a^* ของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 15)	82
ข18	การวิเคราะห์ค่า b^* ของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 16)	82
ข19	การวิเคราะห์ค่า E ของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 17)	83
ข20	การวิเคราะห์ค่า ΔL^* ของสารละลายกาเฟผสมครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 18)	83

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	จุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมเมื่อใช้ไขมันปาล์มสเตียรีนร้อยละ 20, 30, 40, 50 และ 60	33
2	ลักษณะปรากฏของครีมเทียมชนิดผงที่ได้จากการทดลองทั้ง 9 สูตร	50
3	ครีมเทียมชนิดผงสูตรทดลอง (สูตรที่ 1) (ก) และครีมเทียมทางการค้า (ข) จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	53
4	ลักษณะของสารละลายกาเฟอีนผสมครีมเทียมชนิดผงสูตรทดลองหลังจากผ่านการละลายนาน 5 นาที (ก) และ 10 นาที (ข)	62

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนมะพร้าว

Development of Nondairy Creamer from Coconut Protein

คำนำ

ครีมเทียม (Nondairy creamer) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เติมในเครื่องดื่มประเภทชา กาแฟ แทนครีมหรือนม ครีมเทียมชนิดผงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคมากเพราะมีราคาถูก สามารถเก็บได้นาน นอกจากการใช้ครีมเทียมผสมในกาแฟที่ชงดื่มเองแล้ว ยังนิยมใช้ครีมเทียมเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทสำเร็จรูปต่างๆกันมากยิ่งขึ้น เช่น เครื่องดื่มประเภทชา กาแฟ และโกโก้ เครื่องดื่มจากธัญชาติ เป็นต้น เนื่องจากครีมเทียมถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพิ่มมากขึ้นและเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรามักบริโภคเป็นประจำ ดังนั้นครีมเทียมจึงเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่น่าสนใจพัฒนา การใช้แหล่งของโปรตีนจากพืชแทนโปรตีนนมหรือโซเดียมเคซิเนต เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้บริโภคที่ไม่ต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของโปรตีนนม โปรตีนมะพร้าวเป็นโปรตีนจากพืชที่ยังไม่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ขณะที่โปรตีนมะพร้าวเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการการผลิตน้ำมันมะพร้าวสด (virgin coconut oil) ซึ่งนับวันจะมีปริมาณมากขึ้นตามความนิยมน้ำมันมะพร้าวสด การนำโปรตีนมะพร้าวมาใช้เป็นส่วนประกอบทำให้ใช้ประโยชน์จากมะพร้าวอย่างคุ้มค่า และยังช่วยลดปัญหาจากการกำจัดของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตได้ด้วย ส่วนประกอบที่สำคัญของครีมเทียมนอกจากโปรตีนแล้ว ไขมันก็เป็นอีกส่วนประกอบที่มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของครีมเทียม ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมนิยมใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันบางส่วน (partially hydrogenated oil) ซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันชนิดทรานส์ (trans-fatty acid) เนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงผลเสียของการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์มากยิ่งขึ้น การทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมกับไขมันปาล์มสเตอรินแทนน้ำมันพืชที่ผ่านการไฮโดรจิเนชัน จึงเป็นอีกทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ไม่ต้องการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์ ผู้วิจัยคาดหวังว่าการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากแหล่งไขมันที่ไม่มีกรดไขมันชนิดทรานส์ โดยใช้คุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนมะพร้าวในระดับอุตสาหกรรมได้ในอนาคต และได้ข้อมูลพื้นฐานในการนำโปรตีนมะพร้าวไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารชนิดอื่นต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณโปรตีนมะพร้าวต่อความคงตัวของอิมัลชัน
2. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณไดโพแทสเซียมฟอสเฟต และคาร์ราจีแนนต่อความคงตัวของอิมัลชัน
3. ศึกษาอิทธิพลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียม
4. ศึกษาอิทธิพลของจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมระหว่างไขมันปาล์มสเตียรีนและน้ำมันปาล์มโอเลอิน และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผง

การตรวจเอกสาร

ครีมคือไขมันในนม เมื่อตั้งนมโคดิบทิ้งไว้ไขมันที่เบากว่าจะลอยตัวขึ้นด้านบน และสามารถตักครีมออกมาได้ หรือสามารถแยกครีมโดยใช้ความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะระหว่างไขมันและนมด้วยการใช้เครื่องแยกครีม (cream separator) ซึ่งเป็นเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบสองทาง (สุวรรณ, 2530) ครีมที่จำหน่ายจะมีปริมาณไขมันแตกต่างกัน ตามมาตรฐานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization ; FAO) แบ่งครีมโดยใช้ปริมาณของไขมันเป็นเกณฑ์คือ ครีมทั่วไป(cream) มีไขมันร้อยละ 18 ถึง 26 ไลท์ครีม(light cream) มีไขมันมากกว่าร้อยละ 10 เช่น ครีมที่ใช้ในกาแฟ วิปป์ครีม (whipping cream) มีไขมันมากกว่าร้อยละ 28 เฮฟวีครีม(heavy cream) มีไขมันมากกว่าร้อยละ 35 ดับเบิลครีม(double cream) มีไขมันมากกว่าร้อยละ 45 ขณะที่ประเทศเยอรมันแบ่งชนิดครีมเป็น ครีมที่ใช้ในกาแฟมีไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 และวิปป์ครีมซึ่งมีไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 35 (Spreer, 1998) ในอดีตมักใช้ครีมหรือนมข้นหวานในการปรุงแต่งกลิ่นรสของเครื่องดื่มประเภทชา กาแฟ แต่ปัจจุบันนิยมใช้ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมกันมากกว่า

1. ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม (Nondairy creamer)

ครีมเทียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ทำจากนม และมีไขมันอื่นนอกจากมันเนยหรือไขมันของนมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ หรือเป็นครีมที่มีมันเนยผสมอยู่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของไขมันทั้งหมด (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2543) ส่วนประกอบที่สำคัญของครีมเทียมคือ ไขมันโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต (Gardiner, 1977) เนื่องจากเมื่อเติมครีมเทียมในกาแฟทำให้กาแฟมีสีขาวขึ้นจึงอาจเรียกว่า คอฟฟี่ไวเทนเนอร์ (coffee whitener) ครีมเทียมแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ครีมเทียมชนิดเหลว (liquid nondairy creamer) ครีมเทียมชนิดเหลวแช่แข็ง (frozen liquid nondairy creamer) และครีมเทียมชนิดผง (spray dried nondairy creamer) (Baker and Hulett, 1988) นอกจากการใช้ครีมเทียมผสมในเครื่องดื่มชา กาแฟ และโกโก้แล้ว ยังใช้ครีมเทียมเป็นตัวให้เนื้อ (bodying agent) และเพิ่มกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ประเภทซูปและพุดดิ้งด้วย (Gruetzmacher and Bradley, 1991) ปัจจุบันได้นำครีมเทียมมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปกันมากยิ่งขึ้น เช่น เครื่องดื่มกาแฟสำเร็จรูป เครื่องดื่มชูกำลังสำเร็จรูป เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่บริโภคได้สะดวกและรวดเร็ว ทำให้มีความต้องการผลิตภัณฑ์ครีมเทียมมากขึ้นตามลำดับ

อิมัลชันเป็นระบบการอยู่ร่วมกันของเหลวสองชนิดที่ปกติไม่รวมตัวกัน (immiscible liquids) โดยของเหลวหนึ่งเป็นอนุภาคกระจายอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดมักอยู่ในรูปอิมัลชัน อาจเป็นอิมัลชันบางส่วนหรือเป็นอิมัลชันทั้งหมดหรือมีการเปลี่ยนเป็นอิมัลชันในระหว่างกระบวนการผลิต เช่น นม ชูป มาการิน มายองเนส น้ำสลัด และไอศกรีม เป็นต้น (McClements, 1990) ในครีมเทียมทุกประเภท รวมทั้งครีมเทียมชนิดผงต้องผ่านการเตรียมเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion, O/W) (Spreer, 1998) ประกอบด้วยน้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) และน้ำมันเป็นวัฏภาคกระจาย (disperse phase) การที่วัฏภาคทั้งสองสามารถผสมรวมกันได้ จำเป็นต้องเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier หรือ emulsifying agent) หรือสารลดแรงตึงผิว (surfactant) เพื่อช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลวสองชนิด ซึ่งนิยมใช้โซเดียมเคซีเนตร่วมกับสารอิมัลซิไฟเออร์อื่นๆ (นิธิยา, 2545)

ส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียม ได้แก่ ไขมันพืช โปรตีน คาร์โบไฮเดรต สารอิมัลซิไฟเออร์ สารสเตบิไลเซอร์ (stabilizer) เกลือสเตบิไลซิงซ์ (stabilizing salts) สารปรุงแต่งกลิ่นรส สารเพิ่มความขาว และน้ำ เตรียมอิมัลชันด้วยการนำส่วนผสมที่ละลายน้ำ คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต สารสเตบิไลเซอร์ และเกลือสเตบิไลซิงซ์ ผสมเข้าด้วยกัน จากนั้นนำไขมันหรือน้ำมันผสมลงในส่วนของน้ำ แล้วโฮโมจิไนซ์โดยใช้ความดัน 2 ชั้นตอน โดยในขั้นแรกใช้ความดันสูงเพื่อลดขนาดเม็ดน้ำมันให้มีขนาดเล็ก จากนั้นลดความดันลงเพื่อให้เม็ดน้ำมันซึ่งกระจายตัวในวัฏภาคน้ำไม่เกิดการกลับมารวมตัวกัน ความดันที่นิยมใช้คือที่ 2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ถ้าต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผงให้นำอิมัลชันไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) (Gardiner, 1977; Choi, 1982)

1.1 บทบาทของส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ครีมเทียม

ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ไขมันพืช โปรตีน คาร์โบไฮเดรต สารอิมัลซิไฟเออร์ สารสเตบิไลเซอร์ เกลือสเตบิไลซิงซ์ สารปรุงแต่งกลิ่นรส สารเพิ่มความขาว และน้ำ โดยแต่ละส่วนประกอบมีบทบาทที่สำคัญดังนี้

1.1.1 ไขมันพืช

ไขมันช่วยให้ครีมเทียมมีลักษณะข้นหนืด ให้ความขุ่นมัน และให้ความขาวแก่ สารละลายกาแฟ การที่สารละลายกาแฟมีลักษณะขาวขึ้น เนื่องจากน้ำมันกระจายเป็นอนุภาคขนาดเล็กๆ แววนลอยอยู่ในวิฎภาคน้ำ เกิดการสะท้อนแสงออกมาทำให้เห็นเป็นสีขาว ไขมันที่ใช้ในการผลิตครีมเทียมควรเป็นชนิดที่ไม่เกิดกลิ่นหืนง่าย จึงนิยมใช้ไขมันที่มีความอิ่มตัวสูง มีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง หรือน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน เช่น น้ำมันมะพร้าว หรือน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วน (Baker and Hulett , 1988 ; Gruetzmacher and Bradley, 1991)

น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันที่ได้จากการสกัดเนื้อในของผลมะพร้าว (*Cocos nucifera* Linn) ซึ่งอยู่ในวงศ์เดียวกับปาล์ม (Palmaceae) มีจุดหลอมเหลว 23 ถึง 25 องศาเซลเซียส มีกรดไขมันอิ่มตัวอยู่ในปริมาณมาก ทำให้น้ำมันมะพร้าวเปลี่ยนสภาพเป็นไขเมื่ออุณหภูมิต่ำ ปริมาณกรดไขมันที่พบมากในน้ำมันมะพร้าวคือ กรดลอริกร้อยละ 45 ถึง 52 กรดไมริสติกร้อยละ 13 ถึง 19 กรดปาล์มมิติกร้อยละ 7 ถึง 10 ส่วนน้ำมันเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) เป็นน้ำมันที่ได้จากการสกัดจากส่วนที่เป็นเนื้อใน (kernel) ของปาล์ม โดยมีน้ำมันอยู่ประมาณร้อยละ 46 ถึง 48 ซึ่งมีส่วนประกอบคล้ายกับน้ำมันมะพร้าว คือเป็นน้ำมันที่มีกรดลอริกสูง น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ปาล์มสเตอริน (stearin fraction) เป็นส่วนที่มีจุดหลอมเหลวสูง นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมลูกกวาดหรือลูกอมแทนเนยโกโก้ที่มีราคาแพง อีกส่วนหนึ่งคือ ปาล์มโอเลอิน (olein fraction) เป็นส่วนที่มีจุดหลอมเหลวดำกว่า ใช้เป็นน้ำมันประกอบอาหารทั่วไป ปาล์มสเตอรินทางการค้าซึ่งผ่านการรีไฟน์แล้วมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 50 ถึง 54 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำมันเมล็ดปาล์มที่ผ่านการรีไฟน์แล้ว มีจุดหลอมเหลวประมาณ 27 ถึง 29 องศาเซลเซียส และเมื่อนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน ทำให้มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้นเป็น 48 องศาเซลเซียส (สายสนม, 2537)

ไขมันที่ใช้เป็นส่วนประกอบของครีมเทียมชนิดเหลว ควรมีจุดหลอมเหลวประมาณ 35 ถึง 37 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผงต้องใช้ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า คือไขมันที่มีจุดหลอมเหลวประมาณ 43 ถึง 46 องศาเซลเซียส เพื่อให้สามารถทนกับสภาพอุณหภูมิสูงในระหว่างกระบวนการขนส่ง หรือระหว่างการเก็บรักษาได้ดี ไม่เกิดการ

เกาะตัวเนื่องจากไขมันหลอมละลาย และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงจนทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ (Knightly, 1969)

1.1.2 โปรตีน

โปรตีนที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารมี 2 ลักษณะ คือ โปรตีนสกัด (protein isolate) ซึ่งมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 90 ของน้ำหนักแห้ง และโปรตีนเข้มข้น (protein concentrate) มีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 70 ของน้ำหนักแห้ง (Hudson, 1994) การนำโปรตีนมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารนอกจากให้คุณค่าทางโภชนาการแล้ว โปรตีนยังให้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญแก่ผลิตภัณฑ์ โดยบทบาทของโปรตีนที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม คือ เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้เกิดอิมัลชัน และช่วยรักษาความคงตัวของอิมัลชัน (Golde and Schmidt, 2005) โปรตีนเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ มีส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ทำให้สามารถทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอิมัลชันได้ (Hudson, 1994) โดยช่วยกีดขวาง (steric hindrance) ไม่ให้เม็ดไขมันรวมตัวกัน (ปารีลัตร์, 2548) เมื่อโปรตีนถูกดูดซับที่บริเวณผิวของเม็ดน้ำมัน ช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้แก่เม็ดน้ำมัน ทำให้ไม่ลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้า (creaming) และทำให้การหลอมรวมของเม็ดน้ำมัน (coalescence) ช้าลง (McClements, 1990) นอกจากนี้โปรตีนยังช่วยเพิ่มรสชาติ ลดสขมฝื่อนของกรดแทนนิกในกาแฟ และลดความเป็นกรดในเครื่องดื่มลงได้ (Knightly, 1969)

โปรตีนที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของครีมเทียมในทางการค้า คือ โซเดียมเคซีนเตต (Golde and Schmidt, 2005) และนักวิจัยได้ทดลองผลิตครีมเทียมโดยใช้โปรตีนต่างชนิดกัน Choi *et al.* (1982) ได้พัฒนาสูตรครีมเทียมชนิดผงจากโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้าย โดยใช้โปรตีนสกัดนี้แทนที่โซเดียมเคซีนเตตร้อยละ 50 พบว่าครีมเทียมนี้อาจให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้ไม่ต่างจากครีมเทียมที่มีส่วนผสมของโซเดียมเคซีนเตตเพียงอย่างเดียว Gruetzmacher and Bradley (1991) ได้ทดลองผลิตครีมเทียมจากโปรตีนเวย์เข้มข้น (whey protein concentrate) สามารถใช้โปรตีนเวย์แทนโซเดียมเคซีนเตตได้ในอัตราส่วนโปรตีนเวย์ 1 ส่วน ต่อโซเดียมเคซีนเตต 2 ส่วน ได้ครีมเทียมที่ไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน และมีคุณภาพอื่นๆใกล้เคียงกับครีมเทียมที่ใช้โซเดียมเคซีนเตตเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Malundo *et al.* (1992) ได้ทดลองผลิตครีมเทียมจากโปรตีนถั่วลิสงแทนโซเดียมเคซีนเตต หลังจากการทดสอบคุณภาพด้านสี และการละลาย พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับด้านสี และการละลายต่ำกว่าครีมเทียมทางการค้า

1.1.3 คาร์โบไฮเดรต

นิยมใช้กลูโคสซีรัป (glucose syrup) เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2546) ระบุว่ากลูโคสซีรัปที่มีค่า Dextrose Equivalent (DE) ต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติต่างกัน โดยกลูโคสซีรัปที่มีค่า DE ต่ำสามารถให้ความหวานน้อย ให้เนื้อและความหนืดมากกว่ากลูโคสซีรัปที่มีค่า DE สูง กลูโคสซีรัปที่มีค่า DE 11 ถึง 15 หรือต่ำกว่า 20 เรียกว่า มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) มอลโตเดกซ์ทรินเป็นที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตอาหารชนิดผง เพราะสามารถละลายน้ำได้ง่าย ให้เนื้อแก่อาหารได้ดี ไม่มีรสหวาน และไม่ดูดความชื้น การผลิตครีมเทียมชนิดเหลว Gilmore and Miller (1976) ใช้กลูโคสซีรัปชนิด DE 37 ส่วนในการผลิตครีมเทียมชนิดผง Nezbed and Zamzow (1973) ใช้กลูโคสซีรัปชนิด DE 24 หรืออาจใช้กลูโคสซีรัปชนิด DE 25 ถึง 30 (Westergaard, 2004) ในการผลิตครีมเทียมชนิดเหลว นิยมใช้กลูโคสซีรัปที่มีค่า DE สูงกว่าครีมเทียมชนิดผง เพราะยังมีค่า DE สูง กลูโคสซีรัปยังละลายได้ดี สามารถอยู่ในรูปของครีมเหลวได้นาน ขณะเดียวกันถ้าใช้กลูโคสซีรัปที่มี DE สูง ซึ่งมีความหวานมากกว่ากลูโคสซีรัปที่มี DE ต่ำ เป็นส่วนประกอบของครีมเทียมชนิดผง ส่งผลให้ครีมเทียมมีสีเข้มเมื่อผ่านการทำแห้ง อย่างไรก็ตามหากต้องการให้ครีมเทียมมีรสหวานมากขึ้น Knightly (1969) ระบุว่าอาจเติมซูโครส เด็กโตรส หรือแลคโตส ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงรสชาติของครีมเทียมแต่ไม่ควรทำให้ครีมเทียมหวานเกินไป

1.1.4 สารอิมัลซิไฟเออร์

ในกระบวนการผลิตอาหารที่เป็นอิมัลชันส่วนใหญ่มักใช้โปรตีนทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสารอิมัลซิไฟเออร์โมเลกุลเล็กอื่นๆ (McClements, 1990) หน้าที่ของสารอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมซึ่งเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (นิธิยา, 2548) คือช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างผิวรวมของน้ำมันกับน้ำ ช่วยให้เม็ดไขมันกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคน้ำได้โดยไม่เสียความคงตัว เช่น ไม่เกิดการหลอมรวมกันของเม็ดน้ำมัน (coalescence) ไม่เกิดการรวมกันของเม็ดน้ำมันจนลอยขึ้นสู่ผิวหน้า (creaming) (Dickinson and Stainsby, 1982)

อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่มีทั้งหมู่มีขั้ว (polar group) ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และหมู่ที่ไม่มีขั้ว (nonpolar group) เป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรือชอบไขมัน (hydrophobic หรือ lipophilic) ซึ่งเป็นสายของอะตอมไฮโดรเจนและคาร์บอน (hydrocarbon chain)

อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน จากคุณสมบัตินี้อิมัลซิไฟเออร์จึงเป็นสารที่มีการดูดซับที่ผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำได้ดี (Spreer, 1998) ในอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ เมื่ออิมัลซิไฟเออร์ถูกดูดซับบริเวณพื้นผิวร่วมของอนุภาคน้ำมันกับน้ำ ส่วนที่ขอบน้ำของอิมัลซิไฟเออร์สัมผัสกับน้ำซึ่งอยู่รอบนอกของอนุภาคน้ำมัน และส่วนที่ขอบน้ำมันสัมผัสกับอนุภาคน้ำมันภายใน ทำให้ไม่เกิดการหลอมรวมกัน และอนุภาคน้ำมันถูกทำให้มีประจุชนิดเดียวกัน จึงเกิดการผลักซึ่งกันและกัน ทำให้อนุภาคน้ำมันกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคน้ำได้ อิมัลชันที่ได้จึงมีความคงตัว (นิธิยา, 2545)

อิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในอาหารมีประจุต่างกัน เช่น โพลีซอร์เบต โมโนกลีเซอไรด์ เป็นชนิดที่ไม่มีประจุ (nonionic) สเตียริลแล็กทิลเป็นชนิดที่มีประจุลบ (anionic) เลซิทินเป็นชนิดที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (amphoteric) ส่วนอิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่มีประจุบวก (cation) มักจะเป็นพิษไม่นิยมใช้ในอาหาร (Stauffer, 1996) คุณภาพของอิมัลชันขึ้นอยู่กับชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ เพื่อให้ได้อิมัลชันที่คงตัวจึงต้องเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมกับอิมัลชัน นิยมใช้ค่า hydrophilic-lipophilic balance (HLB) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนของส่วนที่ขอบน้ำและขอบน้ำมันในโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์ สารอิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดมีค่า HLB ต่างกันตามโครงสร้างของสาร โดยค่า HLB ที่เหมาะสมกับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำคือ 8 ถึง 18 ถ้ามีค่า HLB มากสารอิมัลซิไฟเออร์นั้นมีส่วนที่ขอบน้ำมาก แต่ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าสารนั้นมีส่วนที่ขอบน้ำน้อยหรือมีส่วนที่ขอบไขมันมาก (Larsson and Friberg, 1990) อาจหาค่า HLB โดยประมาณด้วยการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ปริมาณเล็กน้อยในน้ำแล้วเขย่า หากปรากฏว่าสารไม่ละลายแสดงมีค่า HLB 1 ถึง 4 หรือถ้าละลายได้เล็กน้อยมีค่า HLB 4 ถึง 7 ซึ่งเหมาะกับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำมัน แต่ถ้าได้สารละลายขุ่นมีค่า HLB 10 ถึง 13 และหากได้สารละลายใส แสดงว่ามีค่า HLB 13 ขึ้นไป ซึ่งเหมาะกับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Poter, 1994)

อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมมีหลายชนิด ได้แก่ โพลีซอร์เบต 60 (polyoxyethylene (20) sorbitan monostearate ; polysorbate 60) เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ขอบน้ำมาก มีค่า HLB 14 (Stauffer, 1996) ผลิตได้จากการทำปฏิกิริยาของกรดสเตียริกกับซอร์บิทอล เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ทำปฏิกิริยากับเอทิลีนออกไซด์ นิยมใช้คู่กับโมโนหรือไดกลีเซอไรด์ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข กำหนดให้ใช้ได้ ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ไม่เกินร้อยละ 1.0 (กล้าณรงค์ และจุนธิ, 2545) โมโนกลีเซอไรด์ เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ขอบน้ำมัน มีค่า HLB 5 ถึง 9 (Stauffer, 1996) ผลิตจากการทำเอสเทอร์ฟิเคชันโดยตรงของกรดไขมันกับกลีเซอรอล หรือโดยการเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกลีเซอรอลและไตรกลีเซอไรด์อื่นๆ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

กำหนดให้ใช้ได้ ในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้ไม่เกินร้อยละ 0.15 ถึง 1.5 (กล้าณรงค์ และจุนธนีย์, 2545) สเตียริลแล็กทิลเลต (stearoyl lactylate) เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ชอบน้ำ มีค่า HLB 21 (Stauffer, 1996) ได้จากปฏิกิริยาของกรดสเตียริกและกรดแลคติกที่ทำให้เป็นกลางคือเป็นเกลือของโซเดียม หรือแคลเซียม เช่น โซเดียมสเตียริลแล็กทิลเลต (กล้าณรงค์ และจุนธนีย์, 2545) ปริมาณที่ใช้ได้ไม่เกิน ร้อยละ 0.3 (Gruetzmacher and Bradley, 1991) และเลซิทินเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เป็นฟอสโฟ ลิพิด โมเลกุลของเลซิทินมีส่วนที่เป็นกรดไขมันสายยาวซึ่งไม่ชอบน้ำ และส่วนที่เป็นหมู่ฟอสเฟต ซึ่งต่ออยู่กับเบสที่ชอบน้ำ เลซิทินทางการค้าผลิตผลพลอยได้จากน้ำมันถั่วเหลืองหรือเรพซิด มีค่า HLB 8 ถึง 10 (Stauffer, 1996) นอกจากนี้เลซิทินยังทำหน้าที่เป็นสารที่ช่วยให้ผิวอนุภาคผงเปียก ตัวในสารละลายได้ดี เช่น การเติมเลซิทินร้อยละ 10 ของปริมาณไขมันทั้งหมดที่เป็นส่วนประกอบ ของเครื่องคั้นชนิดผง (Onwulata, 2005) ประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้ใช้ได้ ใน ผลิตภัณฑ์อาหารได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 ถึง 1.5 (กล้าณรงค์ และจุนธนีย์, 2545)

อิมัลชันมีความคงตัวสูงหากใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกันทั้งชนิดที่ชอบน้ำและชนิด ที่ชอบน้ำมัน ทำให้อนุภาคน้ำมันสามารถกระจายตัวในวัฏภาคน้ำได้ดี เพราะถ้าเป็นสารอิมัลซิไฟ เออร์ชนิดที่ชอบน้ำหรือที่ชอบน้ำมันเพียงอย่างเดียว สารจะมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกับน้ำหรือน้ำมัน มากกว่าจะเกิดการคูดซับบริเวณผิวร่วมของน้ำและน้ำมัน ทำให้อนุภาคน้ำมันไม่สามารถกระจายตัว อยู่ได้นานเท่ากับการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์สองชนิดร่วมกัน (McClements, 1990) ในการผลิตครีม เทียม นิยมใช้ทั้งอิมัลชันชนิดที่ชอบน้ำและชอบน้ำมันร่วมกันเช่นเดียวกัน เพื่อให้ได้อิมัลชันที่มี ความคงตัว ไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน และสามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้ดี เช่น การใช้พอลิซอร์เบต 60 ร่วมกับสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ชอบน้ำมัน เช่น โมโนกลีเซอไรด์ ช่วยให้เกิดผลิตภัณฑ์ครีมเทียมเกิดการตกตะกอนของโปรตีนน้อย และสามารถให้ความขาวแก่ สารละลายกาแฟได้ดี (Kolar, C.W. *et al*, 1979) Gilmore and Miller (1976) ได้ทดลองผลิตครีม เทียมโดยใช้พอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.2 ร่วมกับโมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 0.4 ให้อิมัลชันที่มีความ คงตัวดี ไม่เกิดแยกชั้น Gruetzmacher and Bradley (1991) ใช้พอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.4 ร่วมกับ โซเดียมสเตียริลแล็กทิลเลต ร้อยละ 0.2 ให้อิมัลชันครีมเทียมที่มีความคงตัว เมื่อนำมาทดสอบการ ตกตะกอนของโปรตีนยังเกิดการตกตะกอนของโปรตีน แต่เมื่อทดลองเติมเลซิทินร้อยละ 0.5 ถึง 1.0 ไม่พบการตกตะกอนของโปรตีน Golde and Schmidt (2004) ใช้โมโนกลีเซอไรด์ ร่วมกับ โซเดียมสเตียริลแล็กทิลเลตรวมร้อยละ 1.2 ให้อิมัลชันครีมเทียมที่มีความคงตัวดี และไม่เกิดการ ตกตะกอนของโปรตีน

1.1.5 สารสเตบิลไลเซอร์ หรือสารคงตัว

สารสเตบิลไลเซอร์เป็นสารที่ละลายน้ำได้ ช่วยให้โปรตีนกระจายตัวได้ดีในน้ำ และช่วยเพิ่มความหนืดให้ครีมเทียม (Gardiner, 1977) นอกจากนี้มีลซึไฟเออร์มีส่วนสำคัญในการทำให้มีลซึชันคงตัวแล้ว สารสเตบิลไลเซอร์ก็มีบทบาทสำคัญในการทำให้มีลซึชันคงตัวเช่นเดียวกัน สารที่นิยมใช้ในครีมเทียมคือ คาร์ราจีแนน (carrageenan) (Knightly, 1969; Gardiner, 1977) ซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ผลิตจากสาหร่ายทะเลมี 3 ชนิดด้วยกัน คือ แลมดาคาร์ราจีแนน (λ carrageenan) แคปป์ปาคารราจีแนน (κ carrageenan) ไอโอตาคารราจีแนน (ι carrageenan) โดยแคปป์ปาคารราจีแนน ไม่ละลายในน้ำเย็น แต่ละลายได้ดีที่ 70 องศาเซลเซียส และเป็นชนิดที่เกิดเจลได้ ส่วนแลมดาคาร์ราจีแนนสามารถละลายได้ในน้ำเย็น และไม่เกิดเจล (นิธิยา, 2545) สามารถใช้คาร์ราจีแนนในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมในปริมาณประมาณร้อยละ 0.025 ถึง 0.2 (Knightly, 1969; Gardiner, 1977; Porady, 1994)

1.1.6 เกลือสเตบิลไลซิงซ์

เกลือสเตบิลไลซิงซ์ช่วยให้เกิดความสมดุลของอออน รักษาความคงตัวของมีลซึชัน และป้องกันการตกตะกอนของโปรตีน โดยเฉพาะเครื่องดื่มน้ำร้อนหรือเป็นกรด เช่น กาแฟ (Gardiner, 1977) เกลือสเตบิลไลซิงซ์ที่นิยมใช้ในครีมเทียม เช่น โซเดียมซิเตรต (sodium citrate) ร้อยละ 0.1 ถึง 0.25 ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต (dipotassium phosphate) ร้อยละ 0.15 ถึง 0.3 (Gilmore and Miller, 1976; Gardiner, 1977)

1.1.7 สารปรุงแต่งกลิ่นรส

การใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรสเป็นส่วนประกอบในครีมเทียม ช่วยให้ผู้บริโภคยอมรับกลิ่นและรสชาติของครีมเทียมมากยิ่งขึ้น เช่น กลิ่นนม กลิ่นวานิลลา (Gardiner, 1977) นอกจากนี้ยังมีการเติม ไรโบฟลาวิน (riboflavin) และเบตาแคโรทีน (beta-carotene) ในปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมผง เพื่อเพิ่มสีให้ครีมเทียม (Jimenez-Flores and Kosikowski, 1986)

11.8 สารให้ความขาว

สารให้ความขาวเป็นสารที่สามารถกระจายในของเหลว ทำให้เกิดความขุ่นได้ดี ใช้เป็นสารเติมสีในอาหาร (กล้าณรงค์ และจุนธน, 2545) Baker and Hulett (1988) ใช้ไทเทเนียม ไดออกไซด์ (titanium dioxide) ร้อยละ 0.05 เพิ่มความขาวให้อิมัลชันครีมเทียมที่มีปริมาณไขมันต่ำ (low fat coffee whitener) และ Gruetzmacher and Bradley (1991) ได้ทดลองใช้ไทเทเนียม ไดออกไซด์ร้อยละ 0.5 เพื่อเพิ่มความขาวให้กับครีมเทียมผงจากโปรตีนเวย์เข้มข้น ซึ่งช่วยให้ครีมเทียมสามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้มากขึ้น

1.1.9 น้ำ

ครีมเทียมเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ น้ำจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการเตรียมอิมัลชัน ซึ่งส่วนประกอบของครีมเทียมส่วนใหญ่อยู่ในวัฏภาคน้ำ น้ำเป็นส่วนประกอบในการปรับความเข้มข้นของอิมัลชันให้เหมาะสมต่อการใช้ในสภาพของเหลวหรือการทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย จากการทดลองของ Gilmore and Miller (1976) และ Gardiner (1977) ปริมาณน้ำที่ให้ความหนืดหรือปริมาณของแข็งที่เหมาะสมในการทำแห้งคือประมาณร้อยละ 76

2. โปรตีนมะพร้าว (Coconut protein)

นอกจากโซเดียมเคซิเนตที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมแล้ว ยังมีโปรตีนจากแหล่งอื่นที่อาจใช้แทนโซเดียมเคซิเนตได้ เช่น โปรตีนมะพร้าว (coconut protein) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี และยังไม่ได้นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร ในกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวสด (virgin coconut oil) จากกะทิ มีส่วนที่เป็นผลพลอยได้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและทางเศรษฐกิจ คือ โปรตีนมะพร้าว โปรตีนที่ถูกแยกออกมาจากกระบวนการผลิตนี้ สามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อให้คุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ต้องการแก่ผลิตภัณฑ์ (Hagenmaier, 1979) เช่น คุณสมบัติการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (Onsaard *et al.*, 2005) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการในผลิตภัณฑ์หลายชนิด รวมทั้งผลิตภัณฑ์ครีมเทียม

ในเนื้อมะพร้าวมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 18 ถึง 25 (Onsaard *et al.*, 2005) โปรตีนส่วนใหญ่ที่พบคือ โกลบูลิน และอัลบูมิน (Samson *et al.*, 1971 ; Kwon *et al.*, 1996) โดยมีปริมาณโกลบูลินมากกว่าอัลบูมิน จากผลจากการศึกษาชนิดและปริมาณของโปรตีนในเนื้อมะพร้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมัน (defatted coconut meal) ของ Samson *et al.* (1971) พบว่ามีโกลบูลินร้อยละ 62 และอัลบูมินร้อยละ 30 สอดคล้องกับการทดลองของ Kwon *et al.* (1996) ที่ศึกษาพบว่าในเนื้อมะพร้าวมีโกลบูลินอยู่ร้อยละ 40 และอัลบูมินร้อยละ 21

Onsaard *et al.* (2005) ได้ศึกษาคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนหางกะทิเข้มข้น (CSPC) ที่เตรียมด้วยการกรองผ่านเซลลูโลสเมมเบรน และโปรตีนหางกะทิไอโซเลต (CSPI) ที่เตรียมโดยการตกตะกอนด้วยกรดที่พีเอช 3.9 เปรียบเทียบกับโปรตีนเวย์ไอโซเลต (WPI) โดยศึกษาความคงตัวของอิมัลชันที่เตรียมจากสารละลายโปรตีนร้อยละ 0.1 ถึง 1.0 กับน้ำมันข้าวโพดร้อยละ 10 พบว่าโปรตีนจากหางกะทิ CSPI ให้ความคงตัวแก่อิมัลชันได้มากกว่า CSPC และ โปรตีน WPI ให้ความคงตัวแก่อิมัลชันได้มากกว่า CSPI แม้โปรตีนมะพร้าวมีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ได้ไม่ดีเท่ากับโปรตีนเวย์ แต่ก็มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ได้เช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ วรวรรณ (2550) ได้ทดลองผลิตเครื่องดื่มโปรตีนที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันมะพร้าวสด 2 ชนิด คือโปรตีนไม่ละลายน้ำ และโปรตีนจากหางกะทิ โดยโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำเป็นของแข็งที่ติดที่ผนังด้านในเครื่องแยกครีม ส่วนโปรตีนหางกะทิได้จากการตกตะกอนหางกะทิด้วยกรด ผลิตภัณฑ์โปรตีนทั้งสองหลังทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแล้วมีโปรตีนร้อยละ 67.3 และ 71.8 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อนำโปรตีนไปศึกษาคุณสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์และการกระจายตัวของโปรตีน พบว่าโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ และโปรตีนหางกะทิมีความสามารถในการอิมัลซิไฟอิมัลชันน้ำมันเมล็ดทานตะวันในน้ำได้ โดยโปรตีน 1 กรัม สามารถอิมัลซิไฟน้ำมันได้สูงสุด 3.5 และ 7.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ

สามารถปรับปรุงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนให้มีลักษณะตามต้องการได้ ด้วยการตัดแปรโดยใช้วิธีการทางกายภาพ วิธีทางเคมี และการใช้เอนไซม์ ซึ่งการตัดแปรโปรตีนในสภาวะต่างกัน จะทำให้โปรตีนเสียสภาพ และให้คุณสมบัติเชิงหน้าที่ต่างกัน (ปาริฉัตร, 2548) Choi *et al.* (1982) ได้ทดลองผลิตครีมเทียมชนิดผงโดยใช้โปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้าย ซึ่งผ่านการตัดแปรด้วยวิธีการทางเคมี (succinylated cotton seed protein isolate) พบว่าสามารถใช้โปรตีนนี้แทนที่

โซเดียมเคซีนได้ร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพกับครีมเทียมที่ใช้โซเดียมซีเนตเพียงอย่างเดียว ครีมเทียมทั้งสองชนิด สามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้ไม่แตกต่างกัน แต่การตัดแปรด้วยวิธีทางเคมีอาจทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยจากสารเคมีต่อผู้บริโภค และเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตทั้งจากสารเคมี และกระบวนการผลิตที่ต้องมีหลายขั้นตอน การตัดแปรด้วยวิธีการทางกายภาพจึงเป็นวิธีการที่ปลอดภัยกว่า และมีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก เช่น การตัดแปรโปรตีนมะพร้าวของวรวรรณ (2550) เพื่อผลิตเครื่องดื่มโปรตีนที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันมะพร้าวสด ได้ทดลองตัดแปรโปรตีนมะพร้าวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส วัดค่าการกระจายตัวของโปรตีน (protein dispersibility) ในอิมัลชันที่มีโปรตีนมะพร้าวร้อยละ 3.0 และน้ำมันเมล็ดทานตะวันร้อยละ 3.0 พบว่าการกระจายตัวของโปรตีนที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนคือร้อยละ 1.31 และเมื่อให้ความร้อนนาน 5 และ 10 นาที การกระจายตัวของโปรตีนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 6.48 และ 7.28 ตามลำดับ

3. กรดไขมันชนิดทรานส์ (Trans fatty acid)

เนื่องจากไขมันที่เหมาะสมในการใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผงต้องมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง จึงนิยมใช้ไขมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชันเพียงบางส่วน (partially hydrogenated oil) (Gruetzmacher and Bradley, 1991; Anonymous, 2007) กระบวนการไฮโดรจิเนชันเป็นการเติมไฮโดรเจนที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวบางตำแหน่งทำให้มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น (Spiller, 1996) ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ของกรดไขมัน ทั้งการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของพันธะคู่และการเรียงหมู่ที่พันธะคู่ กรดไขมันในธรรมชาติพันธะคู่อยู่ในรูปซิส (cis-isomer) และเกิดไอโซเมอร์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของทรานส์ (trans-isomer) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า (นิธิยา, 2548) เรียกกรดไขมันนี้ว่า กรดไขมันชนิดทรานส์ (Spiller, 1996)

วารสารในประเทศอังกฤษ เช่น British Medical Journal, New England Journal of Medicine ได้ระบุถึงผลจากการบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์ ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ โดยอ้างอิงผลการวิจัยจากประเทศเนเธอร์แลนด์ที่ใช้กลุ่มผู้บริโภคทั้งชายและหญิงที่มีอายุเฉลี่ย 25 ปี รับประทานอาหารที่มีส่วนประกอบของไขมันต่างชนิดกัน คือกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดทรานส์ เมื่อนำกลุ่มตัวอย่างมาวัดปริมาณแอลดีแอล คอเลสเตอรอล (LDL cholesterol) ซึ่งเป็นไขมันไม่ดี หากมีสูงจะทำให้หลอดเลือดตีบ และเอชดีแอลคอเลสเตอรอล (HDL

cholesterol) ซึ่งเป็นไขมันส่วนดี ป้องกันเส้นเลือดตีบ พบว่าการบริโภคกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มเฉพาะ แอลดีแอลคอเลสเตอรอล ในขณะที่การบริโภคกรดไขมันชนิดทรานส์เพิ่มแอลดีแอลคอเลสเตอรอล และยังไปลดเอชดีแอลคอเลสเตอรอลลงอีกด้วย โดยให้ผลเช่นเดียวกันทั้งในกลุ่มตัวอย่างที่เป็น หญิงและชาย (Aisbitt, 2000) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของนักวิจัยของ สหรัฐอเมริกาที่ระบุว่า กรดไขมันชนิดทรานส์นอกจากเพิ่มแอลดีแอลคอเลสเตอรอลและลดเอชดี แอลคอเลสเตอรอลลงแล้ว ยังเพิ่มไตรกลีเซอไรด์ และเป็นต้นเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการสะสมของ ไขมันบนผนังหลอดเลือด และการจับกันของลิ่มเลือดอีกด้วย (Spiller, 1996) ความตื่นตัวเรื่อง ผลเสียของการบริโภคไขมันชนิดทรานส์ทำให้รัฐบาลของประเทศอังกฤษมีข้อเสนอแนะในการ บริโภคอาหารที่มีกรดไขมันชนิดทรานส์ตั้งแต่ปี 1991 โดยแนะนำให้ประชาชนบริโภคได้ไม่เกิน ร้อยละ 2 ของพลังงานที่ร่างกายได้รับต่อวัน หรือเพียง 5 กรัมต่อวัน ทำให้อุตสาหกรรมอาหารใน ประเทศอังกฤษ มีการแข่งขันกันสูงเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารไม่ให้มีกรดไขมันชนิดทรานส์ ใน ประเทศสหรัฐอเมริกาเองก็ตื่นตัวเรื่องนี้เช่นเดียวกัน โดยองค์การอาหารและยาได้กำหนดให้ผู้ผลิต อาหาร ระบุปริมาณกรดไขมันชนิดทรานส์ไว้ในฉลากอาหารด้วย (Aisbitt, 2000)

4. ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผง (Powdered nondairy creamer)

ครีมเทียมชนิดผงเป็นผลิตภัณฑ์ครีมเทียมที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากที่สุด เพราะ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้สะดวก เก็บรักษาได้ง่าย สามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องได้ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์จากไขมันพืช โดยบริษัทเนสเลย์เป็นผู้ผลิตรายแรกที่ผลิตครีมเทียม ชนิดผงออกสู่ตลาดในปี 1961 (Anonymous, 2006)

4.1 การผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผง

ครีมเทียมชนิดผง คือครีมเทียมชนิดเหลวที่นำมาทำแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ครีมเทียมผงมีสูตรแตกต่างกัน โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน เช่น สูตรของครีมเทียมผงที่ประกอบด้วยไขมันร้อยละ 20 ถึง 40 โซเดียมเคซีนเนตร้อยละ 3 ถึง 15 กลูโคส ชิรัปร้อยละ 30 ถึง 65 อิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 0.5 ถึง 3 เกลือสเตบิลิซิงส์ร้อยละ 1 ถึง 4 (Gardiner, 1977) และสูตรที่ประกอบด้วยไขมันพืชร้อยละ 30 ถึง 32 โซเดียมเคซีนเนตร้อยละ 3 ถึง 5 กลูโคส ชิรัปหรือมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 60 ถึง 65 สารอิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 1 ถึง 3 เกลือสเตบิลิซิงส์ ร้อยละ 1 ถึง 3 (Westergaard, 2004)

ครีมเทียมชนิดผงได้จากการนำอิมัลชันครีมเทียมไปทำให้แห้ง อิมัลชันของครีมเทียมที่ดี ควรมีความคงตัว ไม่แยกชั้น มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ถ้าอิมัลชันไม่คงตัว เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้นของน้ำมันซึ่งมีความหนาแน่นต่ำอยู่ด้านบน และชั้นน้ำซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่าอยู่ด้านล่าง ความไม่คงตัวของอิมัลชันอาจเกิดหลายรูปแบบ เช่น การเกิดครีม (creaming) การเกาะกลุ่ม (flocculation) หรือการหลอมรวม (coalescence) ของเม็ดไขมัน (Dickinson and Stainsby, 1982; McClements, 1990) การเกิดครีมเป็นการเคลื่อนที่ของเม็ดไขมันภายใต้แรงโน้มถ่วง หรือแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ทำให้เกิดการแยกชั้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดไขมัน การเกิดครีมเป็นความไม่คงตัวที่จะนำไปสู่การสูญเสียความคงตัวแบบอื่น แต่การเกิดครีมเป็นความไม่คงตัวที่สามารถผันกลับได้ด้วยการผสม (Dickinson and Stainsby, 1982) การเกาะกลุ่มกันของเม็ดไขมันจะเร่งการแยกชั้นของอิมัลชัน เกิดจากเม็ดไขมันเคลื่อนที่มารวมกัน ซึ่งอาจเกิดจากความร้อน แรงโน้มถ่วง หรือแรงทางกล แต่อนุภาคที่มารวมกันยังคงมีขนาดเดิมอยู่ และเมื่อเกิดการเกาะกลุ่มกันอนุภาคจะอยู่ใกล้กันมากขึ้นจึงจะนำไปสู่การหลอมรวมของเม็ดไขมัน ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น เกิดการแยกชั้นอย่างรวดเร็ว และเป็นกระบวนการที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ เช่น การเกิดชั้นของน้ำมันที่ส่วนบนที่เรียกว่า oiling off (McClements, 1990)

การผลิตครีมเทียมชนิดผงจากโซเดียมเคซีนเต ใช้สูตรที่ประกอบด้วยไขมันพืชร้อยละ 30 ถึง 32 โซเดียมเคซีนเตร้อยละ 3 ถึง 5 กลูโคสซีรัปหรือมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 60 ถึง 65 สารอิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 1 ถึง 3 เกลือสเตบิลิซิ่งร้อยละ 1 ถึง 3 ส่วนผสมมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 65 ถึง 70 และรักษาอุณหภูมิที่ 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส นำไปโฮโมจิไนซ์ด้วยเครื่องโฮโมจิไนซ์ชนิด 2 ขั้นตอน แล้วทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย หากใช้อุณหภูมิลมเข้า 165 ถึง 170 องศาเซลเซียส ครีมเทียมผงที่ได้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 3.5 หากมีความชื้นสูงกว่านี้มักเกิดปัญหาครีมเทียมผงเกาะติดผนังห้องอบของเครื่องอบแห้ง ในการผลิตครีมเทียมชนิดผบนิยมใช้การทำแห้งแบบหลายชั้น ซึ่งใช้อุณหภูมิลมเข้า 180 ถึง 200 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่มีปัญหาการเกาะติดผนังห้องอบของเครื่องอบแห้ง (Westergaard, 2004) ถึงแม้โซเดียมเคซีนเตเป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี (ปาริฉัตร, 2548) แต่ยังคงต้องใช้อิมัลซิไฟเออร์ช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับอิมัลชัน เพราะต้องผ่านสภาวะรุนแรงในการผลิต และต้องใช้เติมในสารละลายกาแฟ ซึ่งมีสถานะเป็นกรดและมีอุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามครีมเทียมที่ผลิตจากโซเดียมเคซีนเตเป็นครีมเทียมที่สามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้ดีและให้กลิ่นรสนม จึงนิยมใช้เคซีนเตเป็นส่วนประกอบของครีมเทียมทางการค้า (Golde and Schmidt, 2005)

Choi *et al.* (1982) ได้พัฒนาสูตรครีมเทียมชนิดผงจากโปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้าย โดยทดลองใช้โปรตีนที่ต่างกัน คือ โปรตีนที่ยังไม่สกัดไขมันออก โปรตีนที่สกัดไขมันด้วยเฮกเซน โปรตีนสกัดร้อยละ 40 (สกัดไขมันด้วยซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (succinic anhydride)) โปรตีนสกัดร้อยละ 54 (สกัดไขมันด้วยซัคซินิกแอนไฮไดรด์) โปรตีนที่สกัดร้อยละ 54 ผสมโซเดียมเคซีเนตในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 และใช้โซเดียมเคซีเนตเพียงอย่างเดียวเทียบกับครีมเทียมทางการค้า โดยใช้ส่วนผสมคือโปรตีนร้อยละ 6.0 กลูโคสซีรัปร้อยละ 26.8 น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการไฮโดรจีเนชันบางส่วนร้อยละ 16 ใช้อิมัลซิไฟเออร์ 2 ชนิดรวมกันคือ โมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 0.6 และไดกลีเซอไรด์ ร้อยละ 0.2 คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.25 ไดโพแทสเซียมฟอสเฟตร้อยละ 0.3 และน้ำเตรียมอิมัลชันโดยละลาย ไดโพแทสเซียมฟอสเฟตในน้ำที่ 40 องศาเซลเซียส และละลายโปรตีน กลูโคสซีรัป และคาร์ราจีแนน ให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส แล้วผสมน้ำมันลงไป นำไปไฮโดรจีไนซ์ 2 ชั้น ที่ความดัน 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และทำให้แห้ง ใช้อุณหภูมิลมเข้า 200 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออก 93 องศาเซลเซียส เมื่อนำครีมเทียมผงมาละลายในสารละลายกาแฟพบว่าครีมเทียมที่ใช้โปรตีนที่ยังไม่สกัดไขมัน และโปรตีนที่สกัดไขมันด้วยเฮกเซนให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้น้อย แยกตัวจากสารละลายกาแฟได้ง่าย และเกิดการตกตะกอนของโปรตีน ในขณะที่ครีมเทียมสูตรที่ใช้โซเดียมเคซีเนตร่วมกับโปรตีนสกัด และสูตรที่ใช้โซเดียมเคซีเนตเพียงอย่างเดียวสามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้ใกล้เคียงกับครีมเทียมทางการค้า และไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน จากการทดลองสามารถใช้โปรตีนสกัดจากเมล็ดฝ้ายแทนที่โซเดียมเคซีเนตได้ร้อยละ 50 เพราะให้ครีมเทียมที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับครีมเทียมทางการค้า

Gardiner (1977) ได้ทดลองผลิตครีมเทียมชนิดผง เพื่อแก้ปัญหาการตกตะกอนของโซเดียมเคซีเนต โดยใช้ส่วนผสมของอิมัลชันเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือไขมันปาล์มที่ผ่านการไฮโดรจีเนชันบางส่วนร้อยละ 20 ถึง 40 โซเดียมเคซีเนตร้อยละ 3 ถึง 15 กลูโคสซีรัปร้อยละ 35 ถึง 65 โมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 0.5 ถึง 3.0 กลีออสเตปีไลซิงซ์ร้อยละ 1 ถึง 4 ทดลองใช้กลีออสเตปีไลซิงค์ 2 ชนิดรวมกันคือ ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต ร้อยละ 2.7 และ โซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 0.3 เปรียบเทียบกับการใช้ไดโพแทสเซียมฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวที่ ร้อยละ 2.0 2.2 และ 3.0 และ โซเดียมคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียวที่ร้อยละ 1.0 โดยใช้น้ำซังกาแฟที่มีความกระด้างต่างกันคือ 300 350 400 450 500 และ 550 ppm ได้สูตรที่เหมาะสมคือ กลูโคสซีรัปร้อยละ 60 ไขมันพืชร้อยละ 32 โซเดียมเคซีเนตร้อยละ 3.5 โมโนไดกลีเซอไรด์ร้อยละ 1.5 ไดโพแทสเซียมฟอสเฟตร้อยละ 2.7 และ โซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.3 เตรียมอิมัลชันโดยละลายกลูโคสซีรัป และโซเดียมเคซีเนตในน้ำ 50 องศาเซลเซียส และละลายกลีออสเตปีไลซิงค์และคาร์บอเนตลงไป และละลายไขมันที่

อุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส แล้วผสมน้ำมันลงในส่วนผสมที่เตรียมไว้ นำไปโฮโมจิไนซ์โดยใช้ความดัน 2 ชั้น ที่ความดัน 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วนำอิมัลชันไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ใช้อุณหภูมิลมเข้า 204 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมออก 93 องศาเซลเซียส ได้ครีมเทียมผงที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.0 ไม่พบการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม พบว่าการใช้เกลือ 2 ชนิดร่วมกันสามารถต้านการตกตะกอนของโปรตีนได้ดีกว่าการใช้เกลือเพียงชนิดเดียว ซึ่งหากใช้เกลือเพียงชนิดเดียว ต้องใช้ในปริมาณมากกว่า ทำให้เกิดรสขมเพิ่มขึ้นได้ เช่น สามารถใช้โซเดียมคาร์บอเนตได้ไม่เกินร้อยละ 1.0 และใช้ไคโทแซนเทียมฟอสเฟตได้ไม่เกินร้อยละ 3.0 เมื่อนำมาทดสอบการละลายในสารละลายกาแฟ ไม่พบการตกตะกอนของโปรตีน และไม่ให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ

Gruetzmacher and Bradley (1991) ทดลองผลิตครีมเทียมชนิดผงจากโปรตีนเวย์เข้มข้น (whey protein concentrate) แทนโซเดียมเคซีนเนต โดยใช้โปรตีนเวย์เข้มข้นซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิต cottage cheese เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต อีกทั้งโปรตีนเวย์เป็นโปรตีนที่สามารถทนสภาพที่เป็นกรดได้ดี และยังให้กลิ่นรสเหมือนเดียวกับโซเดียมเคซีนเนต โดยใช้โปรตีนเวย์ร้อยละ 1.0 1.5 3.0 4.5 และ 5.0 ร่วมกับไคโทแซนเทียมฟอสเฟตร้อยละ 2 และพอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.4 โซเดียมสเตียริลแล็กทิลเลตร้อยละ 0.2 พบว่าการใช้โปรตีนเวย์ร้อยละ 1.5 ไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน และการใช้โปรตีนปริมาณมากขึ้นทำให้เกิดการตกตะกอนได้ง่ายซึ่งต้องใส่ปริมาณไคโทแซนเทียมฟอสเฟตให้มากพอเพื่อลดการตกตะกอนของโปรตีน และโปรตีนเวย์สามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟ ได้น้อยกว่าโซเดียมเคซีนเนต จึงเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในสูตรของครีมเทียมเพื่อให้มีความขาวใกล้เคียงกับการใช้โซเดียมเคซีนเนต สูตรของครีมเทียมซึ่งใช้โปรตีนเวย์เปรียบเทียบกับโซเดียมเคซีนเนต ใช้ส่วนประกอบที่แตกต่างกันคือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และอิมัลซิไฟเออร์ โดยส่วนประกอบของสูตรที่ใช้โปรตีนเวย์ คือ โปรตีนเวย์(เข้มข้นร้อยละ 50) ร้อยละ 3 กลูโคสซีรีปร้อยละ 56.6 น้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการไฮโดรจิเนตบางส่วนร้อยละ 34 ไคโทแซนเทียมฟอสเฟตร้อยละ 1.5 พอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.4 โซเดียมสเตียริลแล็กทิลเลต 0.3 เลซิทีนร้อยละ 0.1 และใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 0.5 ส่วนสูตรที่ใช้โซเดียมเคซีนเนตมีส่วนประกอบคือ โปรตีนร้อยละ 3.5 กลูโคสซีรีปร้อยละ 55.4 น้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการไฮโดรจิเนตบางส่วนร้อยละ 34 ไคโทแซนเทียมฟอสเฟตร้อยละ 2.1 โมโนไดกลีเซอไรด์ร้อยละ 1.3 โซเดียมสเตียริลแล็กทิลเลต 0.1 และเติมสารให้กลิ่นรสเหมือนกันทั้งสองสูตร เตรียมอิมัลชันของครีมเทียมโดยผสมส่วนผสมที่ละลายน้ำที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ส่วนที่ละลายในไขมันที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แล้วผสมส่วนผสมที่ละลายน้ำและส่วนผสมที่ละลายในไขมันเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสประมาณ 30 นาที ก่อนนำมาโฮโมจิไนซ์ 2 ชั้น ที่ความดัน

3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อิมัลชันมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 65 ใช้อุณหภูมิผสมเข้า 170 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิผสมออก 110 องศาเซลเซียส ได้ครีมเทียมผงที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 3.0 เมื่อนำมาทดสอบพบว่า ไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน และให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟ ไม่แตกต่างกันทั้งสองสูตร จึงสามารถใช้โปรตีนเวย์แทน โซเดียมเคซิเนตในการผลิตครีมเทียมชนิดผงได้

4.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผง

คุณภาพของครีมเทียมชนิดผงตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 208 พ.ศ. 2543 เรื่องครีม ระบุไว้ว่าครีมเทียมที่ผ่านการทำแห้งต้องเป็นมีลักษณะเป็นผง ไม่เกาะกันเป็นก้อน มีไขมัน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของน้ำหนัก มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ไม่มีกลิ่นหืน ไม่มีวัตถุกันเสีย ตรวจพบแบคทีเรียไม่เกิน 100,000 ใน 1 กรัม และไม่มีจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2543) ครีมเทียมชนิดผงที่ดีเมื่อเติมลงในเครื่องดื่ม โดยเฉพาะกาแฟ ควรละลายได้ง่าย และไม่มีส่วนที่ไม่ละลายหลงเหลืออยู่หลังจากคนในระยะเวลาสั้นๆ ไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน (coagulation) หรือแยกตัวออกจากสารละลาย สามารถให้ความขาวแก่เครื่องดื่มประเภท ชา กาแฟได้ดี (Golde and Schmidt, 2005) คุณภาพที่สำคัญของครีมเทียมผงได้แก่

4.2.1 การละลายของครีมเทียมชนิดผง

การละลายของครีมเทียมชนิดผงขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพเป็นสำคัญ ครีมเทียมที่สามารถละลายได้ดี ควรเป็นครีมเทียมที่มีความหนาแน่นบรรจุ (bulk density) ต่ำ และมีอนุภาคขนาดใหญ่ เพื่อให้จมตัวในสารละลายได้เร็ว และทำให้การละลายดีขึ้น Nezed and Zamrow (1973) พบว่าครีมเทียมที่มีความหนาแน่นต่ำระหว่าง 0.4 ถึง 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความสามารถในการจมตัว (sinkability) ในสารละลายกาแฟร้อนหมดภายในเวลา 10 วินาที และจากข้อมูลของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมผงที่จำหน่าย ได้แก่ ครีมเทียมของบริษัท Anhui Huishang International Co., Ltd. และบริษัท Jiangsu Howbetter Food Chemical Co., Ltd. ของประเทศจีน ระบุว่ามีการจมตัว 15 วินาที (Anonymous, 2007)

สามารถปรับปรุงคุณภาพด้านการละลายของครีมเทียมได้ โดยในการทดลองของ Nezbed and Zamrow (1973) ทดลองปรับปรุงคุณภาพด้านการละลายของครีมเทียมจากโซเดียมเคซีเนต โดยใช้ไขมันมะพร้าวที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันบางส่วนร้อยละ 24.2 สารอิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 2.8 กลูโคสซีรัป DE 24 ร้อยละ 38.4 โซเดียมเคซีเนตร้อยละ 2.6 เกลือร้อยละ 1.9 และน้ำร้อยละ 30 โดยแยกครีมเทียมจากการผลิตออกเป็นสองส่วน ใช้สภาวะการผลิต คืออัตราการป้อนครีมเหลวเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 6 แกลลอนต่อนาที อุณหภูมิลมเข้า 168 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมออก 92 องศาเซลเซียส พบว่าครีมเทียมผง ส่วนที่แยกออกจากห้องอบ (chamber) มีความหนาแน่น 0.65 กรัมต่อมิลลิลิตร ครีมเทียมผงเมื่อผ่านออกจากห้องอบของเครื่องอบแห้งแล้ว นำไปผ่านลมเย็นบนสายพานลำเลียงชนิดเขย่า (vibratory conveyor) แล้วร่อนผ่านตะแกรง ซึ่งอนุภาคเกิดการจับตัวกันอย่างหลวมๆ มีรูพรุนมาก เป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ และมีความหนาแน่นต่ำเสมอ ครีมเทียมจากส่วนหลังนี้มีความหนาแน่น 0.49 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำกว่าส่วนแรก สามารถใช้เวลาในการจมตัว (sinking time) ลงในกาแฟเพียง 7 วินาที และไม่เกิดฝ้าบนกาแฟแต่อย่างใด แต่ครีมเทียมจากส่วนแรกที่มีความหนาแน่นสูงกว่าใช้เวลาจมตัวในกาแฟร้อนประมาณ 15 วินาที และมีฝ้าลอยอยู่บนผิวของกาแฟ เนื่องจากครีมเทียมที่มีความหนาแน่นต่ำมีโพรงอากาศมาก ทำให้น้ำดูดซึมเข้าสู่อนุภาคได้รวดเร็วกว่าครีมเทียมที่มีความหนาแน่นสูงจึงจมตัวได้เร็วกว่า และถ้าจมตัวเร็วขณะที่เครื่องดัดยังมีอุณหภูมิสูง ไขมันในครีมเทียมจะละลายได้ดีไม่เกิดฝ้า ดังนั้นการใช้สภาวะการผลิตให้ได้ลักษณะของครีมเทียมที่มีความหนาแน่นต่างกัน จะส่งผลต่อการจมตัวซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการละลายของครีมเทียม ถ้าจมตัวเร็วหรือดูดซับน้ำได้เร็วจึงช่วยให้เกิดการละลายเร็วขึ้น นอกจากนี้ ไพโรจน์ (2535) ระบุว่าสามารถทำให้อนุภาคของครีมเทียมมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการนำครีมเทียมผงจากเครื่องทำแบบพ่นฝอยไปเข้าเครื่อง fluidized bed การเป่าครีมเทียมให้ลอยตัวขึ้นทำให้เกิดรวมตัวเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

4.2.2 การตกตะกอนของโปรตีนในครีมเทียมชนิดผง

นอกจากครีมเทียมผงควรละลายได้ง่ายแล้ว ครีมเทียมที่ดีต้องไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน (feathering) ในสารละลายกาแฟ ซึ่งเกิดจากการจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ ของโปรตีนและส่วนของไขมันและแยกตัวออกจากสารละลายกาแฟ (Gruetzmacher and Bradley, 1991) หากมีการตกตะกอนเกิดขึ้น จะเห็นเป็นเส้นคล้ายขนนก หรือเกล็ดสีขาวลอยเป็นแพอยู่บนผิวหน้าของสารละลายกาแฟ (สุวรรณ, 2530)

โซเดียมเคซีเนตเป็นโปรตีนที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบในครีมเทียมชนิดผง ถึงแม้โซเดียมเคซีเนตมี isoelectric point 4.6 แต่ยังคงปัญหาการตกตะกอนเมื่ออยู่ในสภาวะเป็นกรด เช่นในสารละลายกาแฟที่มีพีเอช 5.3 หรือในสารละลายกาแฟที่มีความกระด้างเกิน 400 ppm สามารถแก้ปัญหาการตกตะกอนของโซเดียมเคซีเนตได้ เช่น การทดลองของ Gardiner (1977) โดยใช้ส่วนผสมของอิมัลชันเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งคือไขมันปาล์มที่ผ่านการไฮโดรจิเนชัน บางส่วนร้อยละ 20 ถึง 40 โซเดียมเคซีเนตร้อยละ 3 ถึง 15 กลูโคสซีรีปร้อยละ 35 ถึง 65 โมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 0.5 ถึง 3.0 และทดลองใช้เกลือสเตบิลไลซิงส์ร่วมกัน 2 ชนิด คือ ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต และโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 1 ถึง 4 โดยใช้อัตราส่วนของไดโพแทสเซียมฟอสเฟตคือต่อโซเดียมคาร์บอเนต 9 ต่อ 1 ได้สูตรที่เหมาะสมคือ คือ กลูโคสซีรีปร้อยละ 60 ไขมันพืชร้อยละ 32 โซเดียมเคซีเนตร้อยละ 3.5 โมโนโดกลีเซอไรด์ร้อยละ 1.5 ไดโพแทสเซียมฟอสเฟตร้อยละ 2.7 และโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.3 เมื่อนำมาเติมในกาแฟซึ่งเตรียมจากน้ำที่มีความกระด้างต่างกันคือ 300 350 400 450 500 และ 550 ppm พบว่าการใช้เกลือ 2 ชนิดร่วมกันสามารถต้านการตกตะกอนของโปรตีนได้ดีกว่าการใช้เกลือเพียงชนิดเดียว ซึ่งต้องใช้ในปริมาณมากกว่า ทำให้เกิดรสขมฝืด เช่น ใช้โซเดียมคาร์บอเนตได้ไม่เกิน ร้อยละ 1.0 และใช้ไดโพแทสเซียมฟอสเฟตได้ไม่เกินร้อยละ 3.0 เมื่อนำครีมมาทดสอบการละลายไม่พบการตกตะกอนของโปรตีน โปรตีนตกตะกอนได้ง่ายเมื่ออยู่ในสารละลายกาแฟซึ่งมีความเป็นกรดสูง และการใช้น้ำกระด้างในการเตรียมสารละลายกาแฟซึ่งมีไอออนของแคลเซียม และแมกนีเซียม เมื่อไอออนเหล่านี้จับกับเคซีเนตกลายเป็นแคลเซียมหรือแมกนีเซียมเคซีเนตซึ่งไม่ละลายน้ำ จึงเกิดการตกตะกอนขึ้น การเติมเกลือฟอสเฟตลงไปฟอสเฟตจะไปจับกับแคลเซียมหรือแมกนีเซียม เป็นแคลเซียมหรือแมกนีเซียมฟอสเฟตซึ่งไม่ตกตะกอน จึงสามารถแก้ปัญหาการตกตะกอนได้

4.2.3 ความสามารถในการให้ความขาวแก่กาแฟของครีมเทียม

ความสามารถในการให้ความขาวแก่กาแฟ (whitening power หรือ whitening effect) เป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญของครีมเทียม จากการทดลองของ Choi *et al.* (1982) พบว่าครีมเทียมชนิดผงที่มีส่วนผสมของโซเดียมเคซีเนตร้อยละ 1.5 ถึง 3.0 สามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้ดี และสามารถเพิ่มความขาวในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมด้วยสารให้ความขาว เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ โดย Gruetzmacher and Bradley (1991) ได้ทดลองผลิตครีมเทียมผงจากโปรตีนเวย์เข้มข้น และใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 0.5 ทำให้ครีมเทียมสามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้ใกล้เคียงกับสูตรที่ใช้โซเดียมเคซีเนต นอกจากนี้ในการทดลองผลิตครีมเทียม

ชนิดเหลวของ Baker and Hulett (1988) ก็มีการเติมสารนี้ร้อยละ 0.05 เพื่อช่วยให้ครีมเทียมให้ ความขาวแก่เครื่องดื่ม ได้มากขึ้น

4.3 การตรวจวัดคุณภาพของอิมัลชันและผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผง

4.3.1 การตรวจวัดคุณภาพของอิมัลชัน

ครีมเทียมชนิดผงได้จากนำอิมัลชันไปทำให้แห้ง โดยก่อนที่จะนำอิมัลชันเข้าสู่ กระบวนการทำแห้ง สามารถตรวจวัดคุณภาพของอิมัลชันเพื่อให้ได้อิมัลชันที่มีคุณภาพตามต้องการ เช่น การวัดดัชนีในการเกิดครีม (creaming index) ด้วยการวัดส่วนที่แยกชั้นเทียบกับความสูงของ อิมัลชันทั้งหมดในหลอดทดลอง ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน (emulsion capacity) เป็น การวัดปริมาณน้ำมันสูงสุดที่สามารถทำให้เกิดอิมัลชัน โดยผสมสารละลายที่มีอิมัลซิไฟเออร์อยู่ และทำการเติมน้ำมันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งอิมัลชันเกิดการแยกชั้น และความคงตัวของอิมัลชัน (emulsion stability) เป็นการวัดความสามารถในการรักษาความคงตัวของอิมัลชัน โดยอาจวัดค่า จากการแยกตัวของอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่อง เช่น การวัดปริมาณน้ำมันที่แยกตัว ออกจากอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำภายในระยะเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด และใช้การหมุนเหวี่ยง ช่วยเร่งให้เกิดการแยกชั้น (Dickinson and Stainsby, 1982; Hung and Zayas, 1991)

อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ อาจวัดความคงตัวได้จากการเกิดครีม ซึ่งสามารถ สังเกตลักษณะปรากฏได้ง่าย และรายงานผลเป็นดัชนีการเกิดครีม (Creaming index) ซึ่งสามารถ คำนวณได้จาก สัดส่วนความสูงของชั้นน้ำ (Hs) ต่อความสูงของอิมัลชันทั้งหมด (He) ในหลอด ทดลอง คูณด้วย 100 (% Creaming index = $H_s/H_e \times 100$) (Kulmyrzaev *et al.*, 2000) การแยกชั้น ของน้ำมันของอิมัลชันก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่ใช้ในการหาความ สามารถในการรักษาความคงตัวของ อิมัลชันได้ โดยนำอิมัลชันไปหมุนเหวี่ยง จากนั้นวัดการแยกตัวของน้ำมัน คำนวณหาความคงตัว ของอิมัลชันเป็นร้อยละ (Hung and Zayas, 1991)

$$\text{ร้อยละความคงตัวของอิมัลชัน} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำมันในส่วนผสม} - \text{ปริมาตรน้ำมันที่แยกตัว}}{\text{ปริมาตรน้ำมันในส่วนผสม}} \times 100$$

4.3.2 การตรวจวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผง

ครีมเทียมชนิดผงที่ดีสามารถละลายได้ง่ายในเครื่องคั้นประเภทชา กาแฟ ซึ่งควรเป็นครีมเทียมที่มีความหนาแน่นต่ำ มีอนุภาคขนาดใหญ่ รวมทั้งไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน และให้ความขาวแก่เครื่องคั้นได้ดี สามารถตรวจวัดคุณภาพที่สำคัญดังกล่าวได้ดังนี้

ความหนาแน่นบรรจุ (bulk density) ของครีมเทียมผง หาได้จากน้ำหนักต่อปริมาตร ใช้ตัวอย่างครีมเทียมผงใส่ในกระบอกตวง และเคาะอย่างสม่ำเสมอ แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหาความหนาแน่น ซึ่งความหนาแน่นคืออัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตร (Nezbed and Zamrow, 1973; Choi *et al.*, 1982)

ขนาดของอนุภาค (particle size) ของครีมเทียมผง สามารถวัดขนาดของอนุภาคผงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (light microscope) และใช้อุปกรณ์ stage micrometer และ eye piece micrometer ช่วยในการวัด (สายพิณ และสิริชัย, 2550) หรือใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวัดอนุภาคซึ่งสามารถวัดได้สะดวกและรวดเร็ว

การตกตะกอนของโปรตีนในครีมเทียมสามารถหาได้หลายวิธี Gardiner (1977) ใช้ครีมเทียมผง 3 กรัม เติมน้ำในสารละลายกาแฟ 170 มิลลิลิตร (ใช้กาแฟผง 2 กรัม) ที่ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำที่มีความกระด้าง 550 ppm เพื่อทดสอบความสามารถในการละลายของครีมเทียมในน้ำที่มีความกระด้างสูง ซึ่งน้ำที่มีความกระด้างสูงทำให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีน ได้ง่าย ในขณะที่ Choi *et al* (1982) ใช้ครีมเทียม 3.75 กรัม เติมน้ำใน กาแฟร้อน 75 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน รีบเทลงในกระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร วัดปริมาตรของชั้นครีม และชั้นที่ตกตะกอน หลังจากผ่านไป 13 นาที โดยตลอดการวัดให้รักษาอุณหภูมิไว้ที่ 80 ถึง 85 องศาเซลเซียส ส่วนในการทดลองของ Gruetzmacher and Bradley (1991) ทดสอบการตกตะกอนของโปรตีน โดยใช้ น้ำ 180 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส แล้วเติมน้ำกาแฟผง 1.5 กรัม จากนั้นจึงเติมครีมเทียมผง 3 กรัม ลงไป และรีบคนให้เข้ากัน สังเกตการตกตะกอนของโปรตีนหลังจากทิ้งไว้ 5 นาที

การให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟ สามารถตรวจสอบความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟของครีมเทียมได้ด้วยการวัดสี อาจวัดสีตามระบบของ Hunter ซึ่งใช้ค่าความสว่าง (lightness; L) เป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าความขาว หรือความสว่าง ในการวัดสีของสารละลายกาแฟเทียบกับสารละลายกาแฟที่ผสมครีมเทียม ซึ่งสารละลายกาแฟที่ผสมครีมเทียมให้ค่า L สูงกว่า

สารละลายกาแฟ การวัดสีของสารละลายทั้งสองแสดงเป็นค่าความแตกต่างของ L (ΔL) ระหว่างสารละลายทั้งสอง ยิ่งครีมเทียมมีความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้มาก ค่าความแตกต่างนี้ยิ่งสูงขึ้น โดยปกติถ้ามีค่าความแตกต่างของ L ประมาณ 1 หน่วย สามารถเห็นความแตกต่างของความขาวได้ด้วยตาเปล่า (Gruetzmacher and Bradley, 1991) Choi *et al.* (1982) ได้ทดลองวัดสีครีมเทียมผงโดยใช้ครีมผง 1.35 กรัม เติมในสารละลายกาแฟ 50 มิลลิลิตร (ใช้อัตราส่วนกาแฟต่อน้ำร้อยละ 0.75 น้ำหนักต่อปริมาตร) และทำการวัดสีทันทีที่ผสมโดยรักษาอุณหภูมิของกาแฟคงที่ที่ 85 ถึง 90 องศาเซลเซียส ในขณะที่ Gruetzmacher and Bradley (1991) ใช้ครีมเทียม 3 กรัม เติมในสารละลายกาแฟมาตรฐาน (ใช้กาแฟผงสำเร็จรูป 15 กรัม ละลายในน้ำ 1800 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส) 180 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดสี วัดเทียบกับตัวอย่างครีมเทียมทางการค้า เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟของครีมเทียมที่ได้จากการทดลอง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 โปรีตินมะพร้าว ชนิดไม่ละลายน้ำ (บริษัท เอิร์ธบอร์น จำกัด)
- 1.2 ไขมันปาล์มสเตียรีน (palm stearin) (บริษัท ลำสูง (ประเทศไทย) จำกัด มหาชน) จุดหลอมเหลว 52 องศาเซลเซียส
- 1.3 น้ำมันปาล์มโอเลอิน (palm olein) จากท้องตลาด จุดหลอมเหลว 24 องศาเซลเซียส
- 1.4 กาแฟผงสำเร็จรูป จากท้องตลาด

2. สารเคมี

- 2.1 คาร์ราจีแนน ชนิดแคปปาผสมไอโอดา (food grade)
- 2.2 ไดโทแทสซีมฟอสเฟต (food grade)
- 2.3 มอลโทเดกซ์ทริน DE 20 (food grade)
- 2.4 เลซีทีน (food grade)
- 2.5 พอลิออกซีเอธิลีน(20)ซอร์บิเทน โมโนสเตียเรท (food grade)
- 2.6 โมโนกลีเซอไรด์ (food grade)
- 2.7 ไทเทเนียม ไดออกไซด์ (food grade)
- 2.8 ซิลิคอน ไดออกไซด์ (food grade)
- 2.9 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ โปรีติน ได้แก่ กรดซัลฟูริกเข้มข้น คอปเปอร์ซัลเฟต โปแทสเซียมซัลเฟต โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดบอริก เมทิลเรด และโบรโมกลีซอลกรีน
- 2.10 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ได้แก่ ปีโตรเลียมอีเทอร์ และกรดซัลฟูริกเข้มข้น

3. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1 เครื่องโฮโมจิไนซ์แบบแกนหมุน บริษัท JANKE&KUNKEL IKA-bortechnik รุ่น Tissuemizer Ultra Turrax T-25, เยอรมัน
- 3.2 เครื่องปั่นผสม (Hand blender) ยี่ห้อ Braun รุ่น Multiquick MR 400, สเปน
- 3.3 เครื่องโฮโมจิไนซ์แบบ 2 ขั้นตอน (Two stage Homogenizer) บริษัท APV Gaulin, Inc. รุ่น 15-MR-8TA, เยอรมัน
- 3.4 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ยี่ห้อ GEA Niro รุ่น A/S Gladsaxay, เดนมาร์ก
- 3.5 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM-3500d, ญี่ปุ่น
- 3.6 เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ Janco รุ่น Microcomputer pH-VISION 6071, จีน
- 3.7 เครื่องหมุนเหวี่ยงวิเคราะห์ไขมัน (Gerber centrifuge) ยี่ห้อ Funke Gerber รุ่น Super Varion, เยอรมัน
- 3.8 กล้องจุลทรรศน์ (Light Microscope) (Zeiss)
- 3.9 เตาทำความร้อน (Hot plate) บริษัท Tema Dis Ticaret A.S. รุ่น TOE-12, ตุรกี
- 3.10 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) รุ่น W350 บริษัท Memmert, เยอรมัน
- 3.11 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น 854-Schwabach, เยอรมนี
- 3.12 ตู้แช่เย็นอุณหภูมิ 4 ± 2 °C ยี่ห้อ Mitsubishi Electric รุ่น MR-F33T-SL, ไทย
- 3.13 หลอดคาปิลารี
- 3.14 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.15 อุปกรณ์เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ
- 3.16 ถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ลามิเนต

วิธีการ

1. การศึกษาจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมระหว่างไขมันปาล์มสเตียรีนและน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ทดลองผสมไขมันปาล์มสเตียรีน (palm stearin) และน้ำมันปาล์มโอเลอิน (palm olein) เพื่อให้ได้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน ที่สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในครีมเทียม แทนน้ำมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเจเนชัน โดยใช้ปริมาณของไขมันปาล์มสเตียรีนร้อยละ 20, 30, 40, 50 และ 60 ของน้ำมันผสม วัดจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมด้วยวิธี Melting point capillary

tube method (AOCS,1997) โดยการบรรจุน้ำมันที่หลอมเหลวแล้วในหลอดคาปิลารีให้สูงประมาณ 10 มิลลิเมตร แล้วลนไฟปิดปลายด้านหนึ่ง นำไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 ถึง 10 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง จากนั้นนำหลอดคาปิลารีมาหลอมในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควรมีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำกว่าจุดหลอมเหลวที่คาดไว้ประมาณ 8 ถึง 10 องศาเซลเซียส สังเกตการเปลี่ยนแปลงสถานะของไขมันจากของแข็งเป็นของเหลว บันทึกอุณหภูมิที่น้ำมันหลอมละลายจนหมด ซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของน้ำมันนั้น ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพอลิมสตีรีนกับจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม

2. อิทธิพลของปริมาณโปรตีนมะพร้าวต่อความคงตัวของอิมัลชัน

เตรียมอิมัลชันที่ประกอบด้วยสารละลายโปรตีนปริมาณร้อยละ 90 และน้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส ร้อยละ 10 เริ่มจากการเตรียมสารละลายโปรตีนความเข้มข้น 5 ไร่บ์ คือร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยละลายโปรตีน (crude protein) ในน้ำ ต้มให้เดือดนาน 5 นาที ยกออกจากเตา ใส่บีกเกอร์ ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที เติสารละลายโปรตีนออกจากส่วนที่เป็นตะกอน พักไว้ จากนั้นเตรียมน้ำมันผสมโดยหลอมละลายน้ำมันผสมระหว่างไขมันพาล์มสเตอรีนกับน้ำมันพาล์มโอเลอินที่มีจุดหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วเทส่วนผสมของน้ำมันผสมลงในสารละลายโปรตีน ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส นำไปโฮโมจิไนซ์ด้วยเครื่องโฮโมจิไนซ์แบบแกนหมุน (Ultra turrax T 25 homogenizer) ที่ 13,000 รอบต่อนาที นาน 2 นาที สังเกตลักษณะปรากฏ วัดดัชนีการเกิดคริม ความคงตัวของอิมัลชัน และวัดสีของอิมัลชัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

วัดดัชนีการเกิดคริมด้วยวิธีของ Kulmyrzaev *et al.* (2000) โดยบรรจุอิมัลชัน 20 กรัม ในหลอดทดลอง (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร สูง 150 มิลลิเมตร) ทันทึหลังผ่านการโฮโมจิไนซ์ ปิดฝา วางไว้ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง วัดความสูงของชั้นน้ำ (Hs) และความสูงทั้งหมดของอิมัลชัน (He) คำนวณร้อยละดัชนีการเกิดคริม ตามสูตร

$$\% \text{ Creaming index} = \text{Hs} / \text{He} \times 100$$

วัดความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Hung and Zayas (1991) โดยบรรจุอิมัลชัน 20 กรัม ในขวดหาไขมัน Babcock ทันทึหลังผ่านการโฮโมจิไนซ์ และ

นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบเกอร์เบอร์ (Gerber centrifuge) ที่ความเร่ง 1,100 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส วัดปริมาตรของน้ำมันที่ถูกแยกออกมาจากการหมุนเหวี่ยง คำนวณหาร้อยละความคงตัวของอิมัลชัน ตามสูตร

$$\text{ร้อยละความคงตัวของอิมัลชัน} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำมันในส่วนผสมเริ่มต้น} - \text{ปริมาตรน้ำมันที่แยกตัว}}{\text{ปริมาตรน้ำมันในส่วนผสมเริ่มต้น}} \times 100$$

นำอิมัลชันที่ได้มาวัดความสว่าง (L^*) ทันทีหลังจากโฮโมจิไนซ์ ด้วยเครื่องวัดสี CM-3500d Minolta ใช้แหล่งกำเนิดแสง C (day light) ที่มุมมอง 10° ชนิดการวัดเป็นแสงสะท้อนกลับ ในระบบค่าสีของ CIE Lab เลือกระดับความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนที่ทำให้อิมัลชันมีค่าดัชนีการเกิดคริมต่ำสุด ความคงตัวของอิมัลชันสูงสุด และให้ค่า L^* สูงสุด เพื่อใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป

3. อิทธิพลของปริมาณไดโพลเทสเชื่อมฟอสเฟต และคาร์ราจีแนนต่อความคงตัวของอิมัลชัน

นำอิมัลชันที่มีความคงตัวมากที่สุดในการทดลองที่ 2 มาปรับปรุงความคงตัวด้วยการทดลองผสมไดโพลเทสเชื่อมฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนนชนิดแคปปาผสมไอโอตา โดยเตรียมอิมัลชันจากสารละลายโปรตีนมะพร้าวที่ความเข้มข้นที่ให้ค่าความคงตัวของอิมัลชันมากที่สุด กับน้ำมันผสมระหว่างไขมันปาล์มสเตียรินและน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีจุดหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส ร้อยละ 10 แปรผันปริมาณไดโพลเทสเชื่อมฟอสเฟต 3 ระดับ ที่ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ร่วมกับ คาร์ราจีแนนที่ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.02, 0.04 และ 0.06 จัดการทดลองแบบ 3×3 Factorial ใน Completely Randomized Design (CRD) ได้อิมัลชันจำนวน 9 สูตรดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรของอิมัลชันที่ประกอบด้วยสารละลายโปรตีนมะพร้าว ร้อยละ 90 กับน้ำมันผสม ร้อยละ 10 เมื่อแปรผันปริมาณไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนน

สูตรที่	ไดโพลแทสเซียมฟอสเฟต (ร้อยละ)	คาร์ราจีแนน (ร้อยละ)
1	0.1	0.02
2	0.1	0.04
3	0.1	0.06
4	0.2	0.02
5	0.2	0.04
6	0.2	0.06
7	0.3	0.02
8	0.3	0.04
9	0.3	0.06

เตรียมอิมัลชันที่ประกอบด้วยสารละลายโปรตีนมะพร้าวความเข้มข้นที่ให้ความคงตัวมากที่สุดจากการทดลองที่ 2 ร้อยละ 90 กับน้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส ร้อยละ 10 คาร์ราจีแนน และไดโพลแทสเซียมฟอสเฟต โดยเริ่มจากการเตรียมสารละลายโปรตีนมะพร้าว เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 จากนั้นละลายคาร์ราจีแนน และไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตลงในสารละลายโปรตีนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หลอมละลายน้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วเทน้ำมันผสมลงในส่วนผสมของสารละลายโปรตีน คาร์ราจีแนน และไดโพลแทสเซียมฟอสเฟต ให้ความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (hand blender) นาน 2 นาที ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปเข้าเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ชนิด 2 ชั้นตอน (15-MR-8TA, APV Gaulin) ชั้นแรกที่ความดัน 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และชั้นที่สองที่ความดัน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สังเกตลักษณะปรากฏ วัดดัชนีการเกิดคริม โดยดัดแปลงวิธีจาก Kulmyrzaev *et al.* (2000) และศึกษาความคงตัวของอิมัลชัน โดยดัดแปลงจากวิธีของ Hung and Zayas (1991) และวัดสีของอิมัลชันด้วยเครื่องวัดสี CM-3500d โดยใช้ขั้นตอนในการวัดค่าต่างๆ เช่นเดียวกับการทดลองในข้อที่ 2 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

เลือกสูตรที่มีลักษณะปรากฏดี มีค่าดัชนีการเกิดคริมต่ำสุด มีค่าความคงตัวของอิมัลชันมากที่สุด และให้ค่า L^* สูงที่สุดเพื่อใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป

4. อิทธิพลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียม

นำสูตรอิมัลชันที่มีความคงตัวมากที่สุดและมีความสว่างมากที่สุดจากการทดลองที่ 3 มาใช้เตรียมอิมัลชันครีมเทียม โดยปรับปรุงความคงตัวด้วยการเติมอิมัลซิไฟเออร์ 3 ชนิดร่วมกัน คือ โมโนกลีเซอไรด์ พอลิซอร์เบต 60 และเลซิทีน โดยใช้โมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 0.4 พอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.2 ร่วมกับการแปรผันเลซิทีนที่ร้อยละ 0.2 0.4 และ 0.6 และเพิ่มความขาวให้แก่อิมัลชันครีมเทียมด้วยการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ อิมัลชันครีมเทียมมีส่วนประกอบตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของอิมัลชันครีมเทียมเมื่อใช้อิมัลซิไฟเออร์ 3 ชนิดร่วมกัน คือ

โมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 0.4 พอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.2 และแปรผันปริมาณเลซิทีนที่ร้อยละ 0.2 0.4 และ 0.6

ส่วนประกอบ (ร้อยละ)	สูตรที่		
	1	2	3
สารละลายโปรตีนมะพร้าว	78.74	78.54	78.34
น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส	10.00	10.00	10.00
มอลโทเดกซ์ทริน DE 20	10.00	10.00	10.00
ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต	0.20	0.20	0.20
คาร์ราจีแนน	0.06	0.06	0.06
ไทเทเนียมไดออกไซด์	0.20	0.20	0.20
โมโนกลีเซอไรด์	0.40	0.40	0.40
พอลิซอร์เบต 60	0.20	0.20	0.20
เลซิทีน	0.20	0.40	0.60

เตรียมอิมัลชันครีมเทียมทั้ง 3 สูตรตามส่วนประกอบในตารางที่ 2 เตรียมสารละลายโปรตีน และน้ำมันผสมเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 จากนั้นจึงละลายคาร์ราจีแนน ไคโปแทสเซียมฟอสเฟต ไทเทเนียมไดออกไซด์ มอลโทเดกซ์ทริน และพอลิซอร์เบต 60 ลงในสารละลายโปรตีนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และละลายเลซิทีน โมโนกลีเซอไรด์ ในน้ำมันผสมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วเทส่วนผสมของน้ำมันผสมลงไปในส่วนผสมของสารละลายโปรตีนและส่วนประกอบต่างๆ นำมาให้ความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (hand blender) นาน 2 นาที ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ก่อนจะนำไปเข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ 2 ขั้นตอน ขั้นแรกที่ความดัน 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และขั้นที่สองที่ความดัน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง สังเกตลักษณะปรากฏ และวัดคุณภาพของอิมัลชันเช่นเดียวกับวิธีการในข้อ 3 รวมทั้งตรวจวัดความสามารถในการให้ความขาว และตรวจสอบการตกตะกอนของโปรตีนของอิมัลชัน

ตรวจวัดความสามารถในการให้ความขาว (whitening power หรือ whitening effect) แก่สารละลายกาแฟของอิมัลชัน โดยดัดแปลงตามวิธีของ Gruetzmacher and Bradley (1991) และ Golde and Schmidt (2005) ด้วยการเตรียมสารละลายกาแฟมาตรฐานความเข้มข้นร้อยละ 0.8 โดยทำให้น้ำร้อนถึง 80 องศาเซลเซียส เติมหงกาแฟ และเติมอิมัลชันครีมเทียม 1.5 มิลลิลิตร ลงในสารละลายกาแฟมาตรฐาน 50 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการละลาย 1 นาที 30 วินาที นำมาวัดค่า L^* ตัวอย่างละ 3 ครั้ง รายงานค่า L^* เป็น ΔL^* คือ ความแตกต่างของค่า L^* ของสารละลายกาแฟมาตรฐานผสมอิมัลชันครีมเทียบกับค่า L^* สารละลายกาแฟมาตรฐานเพียงอย่างเดียว

ทดสอบการตกตะกอนของโปรตีนโดยดัดแปลงจากวิธีของ Gruetzmacher and Bradley (1991) และ Golde and Schmidt (2005) ด้วยการเตรียมตัวอย่างสารละลายกาแฟมาตรฐานผสมอิมัลชันครีมเทียมเช่นเดียวกับการวัดความสามารถในการให้ความขาว และสังเกตการตกตะกอนของโปรตีนหลังจากผ่านไป 5 นาที ถ้าเห็นเป็นเส้นคล้ายขนนก หรือเกล็ดสีขาวลอยเป็นแพอยู่บนผิวหน้าของสารละลายกาแฟแสดงว่าเกิดการตกตะกอนของโปรตีน

เลือกสูตรของอิมัลชันที่ไม่มีการแยกชั้นครีม และมีความคงตัวมากที่สุด มีความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟสูงที่สุด และไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

5. อิทธิพลของจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมระหว่างไขมันปาล์มสเตียรีนและน้ำมันปาล์มโอเลอิน และปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผง

เตรียมอิมัลชันจากสูตรเลือกในข้อ 4 ทดลองแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมที่ 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส ร่วมกับการแปรผันปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน DE 20 ที่ 3 ระดับ คือร้อยละ 10 12 และ 14 จัดการทดลองแบบ 3 x 3 Factorial ใน Completely Randomized Design (CRD) สังเกตลักษณะปรากฏ และวัดคุณภาพของอิมัลชันเช่นเดียวกับวิธีการในข้อ 4 จากนั้นนำอิมัลชันไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมเข้าประมาณ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออกประมาณ 90 องศาเซลเซียส นำครีมเทียมผงผสมชิลิคอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.4 เพื่อป้องกันการเกาะตัวกัน โดย Anonymous (2008) ระบุว่าควรใช้ในอาหารผงไม่เกินร้อยละ 0.5 เนื่องจากหากใช้ปริมาณมาก ทำให้เกิดกลิ่นรสคล้ายชอล์คได้ แล้วนำไปบรรจุในซองอะลูมิเนียมพอยล์ลามิเนต ปิดผนึก ทำการทดลอง 2 ชั่ว สังเกตลักษณะปรากฏ และตรวจวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผง ดังนี้

5.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ วัดขนาดอนุภาคของครีมเทียมชนิดผงด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope, Zeiss) ความหนาแน่นบรรจุ (bulk density) วัดสีของครีมเทียมชนิดผง ความสามารถในการให้ความขาว และการตกตะกอนของโปรตีนตัดแปลงจากวิธีของ Gruetzmacher and Bradley (1991) และ Golde and Schmidt (2005)

5.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมัน ตามวิธีของ AOAC (2000)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

7. สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

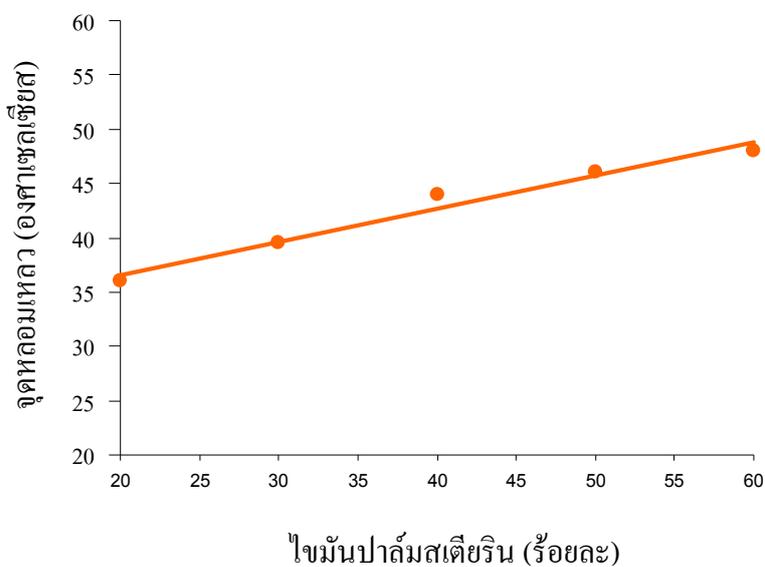
8. ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มการวิจัยในเดือน กรกฎาคม 2550 ถึง เดือนธันวาคม 2551

ผลและวิจารณ์

1. จุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมระหว่างไขมันปาล์มสเตียรีนและไขมันปาล์มโอเลอิน

จุดหลอมเหลว (melting point) เป็นอุณหภูมิที่ไขมันมีการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว การหาจุดหลอมเหลวของน้ำมันด้วย Melting point capillary tube method ตามวิธีของ AOCS (1997) จุดหลอมเหลวคืออุณหภูมิที่น้ำมันหลอมละลายจนหมด จากการทดลองหาจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมระหว่างไขมันปาล์มสเตียรีนกับไขมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งไม่มีกรดไขมันชนิดทรานส์ เพื่อเป็นข้อมูลในการผสมน้ำมันให้ได้จุดหลอมเหลวที่ต้องการสำหรับนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมแทนน้ำมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเจเนชัน ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปาล์มสเตียรีนในน้ำมันผสม กับจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 จุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมเมื่อใช้ไขมันปาล์มสเตียรีนร้อยละ 20, 30, 40, 50 และ 60

จากกราฟในภาพที่ 1 เมื่อใช้ไขมันปาล์มสเตียรีนร้อยละ 20, 30, 40, 50 และ 60 จะได้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวเป็น 37 40 44 46 และ 48 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดลองชี้ให้เห็นได้ว่าสัดส่วนการผสมต่างกันจะส่งผลให้น้ำมันผสมมีจุดหลอมเหลวแตกต่างกัน การใช้ปริมาณไขมันปาล์มสเตียรีนมากขึ้นทำให้น้ำมันผสมมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น เนื่องจากไขมัน

ปาล์มสเตียรีนมีความอิมตัวสูง จุดหลอมเหลวเพิ่มขึ้นตามความอิมตัว ดังนั้นในส่วนผสมที่มีน้ำมันอิมตัวมากขึ้น จึงมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น และสามารถหาสัดส่วนการผสมระหว่างไขมันปาล์มสเตียรีนและน้ำมันปาล์มโอเลอินจากความสัมพันธ์ในกราฟ เพื่อให้ได้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวตามต้องการได้

2. ผลของปริมาณโปรตีนมะพร้าวต่อความคงตัวของอิมัลชัน

ผลจากการเตรียมอิมัลชันที่ประกอบด้วยสารละลายโปรตีนมะพร้าวความเข้มข้น 5 ระดับ คือร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 ปริมาตรร้อยละ 90 กับน้ำมันผสมร้อยละ 10 อิมัลชันที่ได้มีสีขาวปนเหลืองอ่อน หลังจากผ่านการโฮโมจิไนซ์ด้วยเครื่องโฮโมจิไนซ์แบบแกนหมุน (Ultra turrax T 25 homogenizer) ประมาณ 2 นาที เกิดการแยกเป็นชั้นครีมซึ่งมีสีขาวปนเหลืองอ่อน และมีชั้นน้ำสีขาวขุ่นด้านล่าง เมื่อทิ้งไว้นานขึ้นเกิดการแยกชั้นน้ำมันสีเหลืองบนผิวหน้าของชั้นครีมมากขึ้น และชั้นน้ำมีความขุ่นน้อยลง เมื่อทดลองคน ยังเกิดการแยกชั้นครีมและมีน้ำมันลอยบริเวณผิวหน้าเช่นเดิม ผลการวัดคุณภาพของอิมัลชัน คือ ดัชนีการเกิดครีม (% Creaming index) ความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability) และค่าความสว่าง (L^*) ได้ผลตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณภาพของอิมัลชันที่ประกอบด้วยสารละลายโปรตีนมะพร้าวร้อยละ 90 และน้ำมันผสมร้อยละ 10

ปริมาณโปรตีนมะพร้าว (ร้อยละ)	ดัชนีการเกิดครีม (ร้อยละ)	ความคงตัว (ร้อยละ)	L^*
2	89.29 ^a	30.17 ^c	78.18 ^c
4	88.95 ^a	37.62 ^d	80.22 ^d
6	88.07 ^b	50.94 ^c	81.97 ^c
8	87.55 ^c	61.73 ^b	83.18 ^b
10	87.10 ^d	65.03 ^a	84.99 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในตารางที่ 3 ผลการวัดดัชนีการเกิดคริมของตัวอย่างอิมัลชันที่เตรียมจากสารละลาย โปรตีนมะพร้าวที่ความเข้มข้น 2 4 6 8 และ 10 กับน้ำมันผสมร้อยละ 10 พบว่ามีการเกิดคริมทุก ตัวอย่าง และมีค่าดัชนีการเกิดคริมมาก หรือมีการลอยตัวของอนุภาคน้ำมันมาก โดยอิมัลชันที่ เตรียมจากสารละลายโปรตีนร้อยละ 10 มีการเกิดคริมต่ำที่สุด เมื่อใช้ปริมาณโปรตีนมากขึ้น การ เกิดคริมจะลดลง เพราะปริมาณโปรตีนที่มีมากขึ้นอิมัลซิไฟเออร์อนุภาคไขมันได้มากกว่า ทำให้เม็ด น้ำมันมีความหนาแน่นสูงกว่า จึงกระจายตัวได้ในวัฏภาคของน้ำได้มากกว่า และลอยตัวขึ้นด้านบน ได้น้อยกว่าตัวอย่างอิมัลชันที่เตรียมจากสารละลายโปรตีนที่ความเข้มข้นต่ำกว่า

การศึกษาความคงตัวของอิมัลชันในการทดลองนี้ พบว่าอิมัลชันที่เตรียมจากสารละลาย โปรตีนมะพร้าวร้อยละ 10 ให้อิมัลชันที่มีความคงตัวมากกว่าการใช้สารละลายโปรตีนที่มีความ เข้มข้นอื่น สอดคล้องกับการเกิดคริมที่มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างอิมัลชันที่เตรียมจากสารละลายโปรตีนที่ ความเข้มข้นต่ำกว่า ยิ่งใช้ความเข้มข้นของโปรตีนมากขึ้นจะช่วยให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น หรือมีปริมาณน้ำมันอิสระที่ถูกเหวี่ยงแยกออกมาน้อยกว่า เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่มีมากขึ้น สามารถคุมซับบริเวณผิวร่วมของน้ำกับอนุภาคน้ำมันได้มากกว่า จึงรักษาอนุภาคน้ำมันให้อยู่ใน สภาพอิมัลชันได้มากกว่า แต่อิมัลชันที่ได้ยังมีความคงตัวน้อย อิมัลชันไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ยังมีการ แยกชั้น ซึ่งปริมาณโปรตีนมะพร้าวที่ใช้เป็นโปรตีนชนิดที่ไม่ละลายน้ำ และผ่านการตัดแปรสภาพ โปรตีนด้วยความร้อน แล้วนำสารละลายโปรตีนมาเตรียมอิมัลชัน จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน พบว่ามีโปรตีนที่สามารถกระจายตัวในน้ำได้ประมาณร้อยละ 7 ของปริมาณโปรตีน (crude protein) ที่ใช้เตรียมอิมัลชัน จึงอาจมีปริมาณโปรตีนไม่มากพอที่จะรักษาความคงตัวของอิมัลชัน

ผลการวัดค่า L^* ของอิมัลชัน ในตารางที่ 3 ค่า L^* ของตัวอย่างอิมัลชันที่เตรียมจาก สารละลายโปรตีนมะพร้าวร้อยละ 10 ให้ค่า L^* สูงกว่าตัวอย่างอื่น เมื่อปริมาณโปรตีนมากขึ้น อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น ส่งผลให้ค่า L^* มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เพราะโปรตีนที่มีปริมาณมากขึ้น สามารถอิมัลซิไฟเออร์อนุภาคน้ำมันได้มากกว่า ทำให้อนุภาคน้ำมันกระจายตัวได้ดีกว่า เมื่อมีการ กระจายตัวของอนุภาคน้ำมันมากขึ้นหรือมีอนุภาคแขวนลอยอยู่ในวัฏภาคน้ำมากก็เกิดการสะท้อน แสงออกมามาก ทำให้เห็นเป็นสีขาวมากขึ้น

เนื่องจากการเตรียมอิมัลชันโดยใช้สารละลายโปรตีนมะพร้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 มี การเกิดคริมน้อยที่สุด มีความคงตัวของอิมัลชันมากที่สุด และสามารถให้ความสว่างสูงที่สุด ดังนั้น

จึงเลือกโปรตีนมะพร้าวความเข้มข้นร้อยละ 10 เพื่อใช้เตรียมอิมัลชันในการผลิตผลิตภัณฑ์ครีม
เทียมต่อไป

3. ผลของปริมาณไดโพลเทสเซียมฟอสเฟต และคาร์ราจีแนนต่อความคงตัวของอิมัลชัน

เนื่องจากตัวอย่างอิมัลชันที่เตรียมจากโปรตีนมะพร้าวร้อยละ 10 และน้ำมันผสมร้อยละ 10
ในการทดลองที่ 2 ยังมีการเกิดครีมสูง และมีความคงตัวน้อย มีน้ำมันที่ยังแยกตัวอยู่มาก จึง
ทดลองปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชันด้วยการใช้ไดโพลเทสเซียมฟอสเฟต ร่วมกับคาร์ราจีแนน
โดยแปรผันปริมาณไดโพลเทสเซียมฟอสเฟตที่ 3 ระดับ คือร้อยละ 0.1 0.2 และ 0.3 ร่วมกับการแปร
ผันคาร์ราจีแนนที่ 3 ระดับ เช่นกัน คือร้อยละ 0.02 0.04 และ 0.06

อิมัลชันที่ได้เป็นของเหลวสีขาวปนเหลืองอ่อน เกิดการแยกเป็นชั้นครีมน้อยกว่าและแยก
ชั้นช้ากว่าอิมัลชันที่ได้จากการทดลองที่ 2 เมื่อตั้งทิ้งไว้เกิดเมื่อน้ำมันสีเหลืองบนผิวหน้า และเมื่อ
ทิ้งไว้นานขึ้นจะเห็นเป็นหยดน้ำมันสีเหลืองบางบนผิวหน้าของอิมัลชัน ความขุ่นและสีของ
อิมัลชันจากการสังเกตจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่เห็นความแตกต่างของลักษณะเนื้อของอิมัลชันที่
แตกต่างกันได้ คือสูตรที่ 1 ถึง 4 ลักษณะเนื้อของอิมัลชันเป็นเม็ดเล็กๆ ส่วนสูตรที่ 5 ถึงสูตรที่ 9
ลักษณะเนื้อของอิมัลชันมีเป็นเม็ดเล็กๆเช่นกัน แต่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า เมื่อคนชั้น
ครีมสามารถกระจายตัวและคืนตัวได้ง่ายกว่าสูตรที่ 1 ถึง 4 ซึ่งเกิดจากผลของการใช้ปริมาณ
ไดโพลเทสเซียมฟอสเฟตและคาร์ราจีแนนที่ต่างกัน สูตรที่ใช้ฟอสเฟตมากอนุภาคไขมันกระจายตัว
ได้ดีจึงเห็นเนื้ออิมัลชันเป็นเม็ดเล็กๆละเอียดกว่า เพราะโปรตีนอิมัลซิไฟน์ไขมันได้ดีขึ้นเมื่อมี
ปริมาณเกลือมากขึ้น และคาร์ราจีแนนก็ช่วยเพิ่มความหนืดให้กับวุ้นภาคน้ำ ช่วยให้น้ำมันหลอม
รวมกันยากขึ้น

การตรวจวัดค่าดัชนีการเกิดครีมของอิมัลชันให้ผลตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีการเกิดคริมของอิมัลชันที่ประกอบด้วยสารละลายโปรตีนมะพร้าวความเข้มข้น ร้อยละ 10 และ น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส เมื่อแปรผันปริมาณ ไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนน

ไดโพลแทสเซียม ฟอสเฟต (ร้อยละ)	ดัชนีการเกิดคริมของอิมัลชัน(ร้อยละ)			ค่าเฉลี่ย
	ที่คาร์ราจีแนน (ร้อยละ)			
	0.02	0.04	0.06	
0.1	(1) 76.19 ^c	(2) 72.09 ^d	(3) 65.70 ^c	71.33A
0.2	(4) 61.25 ^b	(5) 60.05 ^b	(6) 54.60 ^a	58.64B
0.3	(7) 54.83 ^a	(8) 53.44 ^a	(9) 52.72 ^a	53.67C
ค่าเฉลี่ย	64.09A	61.86B	57.68C	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากค่าดัชนีการเกิดคริมของอิมัลชันในตารางที่ 4 การใช้ไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตปริมาณ ต่างกันส่งผลให้ค่าดัชนีการเกิดคริมของอิมัลชันต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใช้คาร์รา จีแนนในปริมาณต่างกันส่งผลให้ดัชนีการเกิดคริมของอิมัลชันต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกัน และมีอิทธิพลร่วมจากการใช้ ไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตและคาร์ราจีแนนในปริมาณ ต่างกัน

การทดลองใช้ไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตและคาร์ราจีแนนทำให้อิมัลชันคงตัวดีขึ้น เพราะให้ ค่าดัชนีการเกิดคริมน้อยกว่าอิมัลชันในการทดลองที่ 2 ซึ่งไม่มีไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตและคาร์รา จีแนน การใช้ไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตมากขึ้น ทำให้การเกิดคริมน้อยลง คาร์ราจีแนนก็ให้ผล เช่นเดียวกัน เนื่องจากการใช้ไดโพลแทสเซียมฟอสเฟตซึ่งเป็นเกลือสเตบิลิซิงซ์ มีส่วนช่วยให้เกิด ความสมดุลของอิมัลชัน ช่วยให้โปรตีนกระจายตัวในน้ำได้ดี และคาร์ราจีแนนเป็นสาร สเตบิลิเซอร์ที่ละลายน้ำได้ สามารถจับกับโปรตีน ช่วยให้โปรตีนกระจายตัวได้มากยิ่งขึ้น ทำให้

อนุภาคน้ำมันที่ถูกดูดซับด้วยโปรตีนรวมตัวกันยากขึ้นหรือรวมตัวกันช้าลง ส่งผลให้การเกิดครีมนลดลง การใช้ไคโทแซนเทียมฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนนส่งผลให้การเกิดครีมนลดลง การแยกชั้นครีมน้อยลง โดยการใช้ไคโทแซนเทียมฟอสเฟตที่ระดับร้อยละ 0.1 มีการเกิดครีมนมากกว่าการใช้ไคโทแซนเทียมที่ระดับร้อยละ 0.2 และ 0.3 ในขณะที่ผลของคาร์ราจีแนนที่ระดับร้อยละ 0.02 และ 0.04 ให้ค่าดัชนีการเกิดครีมนที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ทุกระดับความเข้มข้นของไคโทแซนเทียมฟอสเฟต แต่การใช้คาร์ราจีแนนที่ระดับร้อยละ 0.06 ร่วมกับไคโทแซนเทียมฟอสเฟตที่ระดับร้อยละ 0.2 0.3 ให้ค่าดัชนีการเกิดครีมนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสูตร 2 สูตรนี้มีการเกิดครีมน้อยที่สุด

การตรวจวัดความคงตัวของอิมัลชันหลังจากทดลองผสมไคโทแซนเทียมฟอสเฟตและคาร์ราจีแนนในอิมัลชัน ได้ผลตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความคงตัวของอิมัลชันที่ประกอบด้วยสารละลายโปรตีนมะพร้าวความเข้มข้นร้อยละ 10 น้ำมันผสมจุกหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส เมื่อแปรผันปริมาณไคโทแซนเทียมฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนน

ไคโทแซนเทียม ฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความคงตัวของอิมัลชัน(ร้อยละ) ที่คาร์ราจีแนน (ร้อยละ)			
	0.02	0.04	0.06	ค่าเฉลี่ย
0.1	(1) 92.85 ^c	(2) 96.01 ^c	(3) 96.84 ^b	95.23C
0.2	(4) 95.05 ^d	(5) 96.98 ^b	(6) 98.08 ^a	96.70B
0.3	(7) 98.08 ^a	(8) 98.08 ^a	(9) 98.21 ^a	98.12A
ค่าเฉลี่ย	95.32C	97.02B	97.70A	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร

- ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
- ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากค่าความคงตัวของอิมัลชันในตารางที่ 5 การใช้ไดโพลเทสซีเอ็มฟอสเฟตปริมาณต่างกันส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน และการใช้คาร์ราจีแนนปริมาณต่างกันก็ส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชันเช่นเดียวกัน และมีอิทธิพลร่วมจากการใช้ ไดโพลเทสซีเอ็มฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนนในปริมาณต่างกันต่อความคงตัวของอิมัลชัน

การใช้ไดโพลเทสซีเอ็มฟอสเฟตมากขึ้นทำให้อิมัลชันมีความคงตัวเพิ่มขึ้น และการใช้คาร์ราจีแนนมากขึ้นก็ส่งผลให้อิมัลชันมีความคงตัวเพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อใช้ไดโพลเทสซีเอ็มฟอสเฟตร้อยละ 0.3 ร่วมกับคาร์ราจีแนนทุกระดับให้ค่าความคงตัวของอิมัลชันมากที่สุด และให้ค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการใช้ไดโพลเทสซีเอ็มฟอสเฟตร้อยละ 0.2 ร่วมกับคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.06

เมื่อเปรียบเทียบความคงตัวของอิมัลชันที่ยังไม่มีการผสมไดโพลเทสซีเอ็มฟอสเฟตและคาร์ราจีแนน ในตารางที่ 3 พบว่า ผลจากการใช้ไดโพลเทสซีเอ็มฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนนเป็นส่วนประกอบในอิมัลชัน ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากมีน้ำมันที่ถูกเหวี่ยงออกมาน้อยกว่า เนื่องจากไดโพลเทสซีเอ็มฟอสเฟตเป็นเกลือที่ทำให้โปรตีนกระจายตัวได้ดี จึงสามารถทำหน้าที่ในการอิมัลซิฟิ์น้ำมันได้ดีขึ้น ส่วนคาร์ราจีแนนก็ทำหน้าที่เสริมกันด้วยการเพิ่มความหนืดให้แก่วุ้นภาคน้ำ อนุภาคน้ำมันจึงแขวนลอยในวุ้นภาคน้ำได้นานขึ้น

การตรวจวัดความสว่าง (L^*) ของอิมัลชันหลังจากทดลองผสมไดโพลเทสซีเอ็มฟอสเฟตและคาร์ราจีแนนในอิมัลชัน ได้ผลตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่า L* ของอิมัลชันที่ประกอบด้วยโปรตีนมะพร้าวความเข้มข้นร้อยละ 10 และ น้ำมันผสมจืดหอยหลอด 44 องศาเซลเซียส เมื่อแปรผันปริมาณไดโพลีเอทิลีน-ฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนน

ไดโพลีเอทิลีน ฟอสเฟต (ร้อยละ)	ค่า L* ของอิมัลชันครีมเทียมที่คาร์ราจีแนน (ร้อยละ)			
	0.02	0.04	0.06	ค่าเฉลี่ย
0.1	(1) 84.90 ^{bcd}	(2) 85.52 ^{abc}	(3) 85.93 ^a	85.45A
0.2	(4) 85.13 ^{abcd}	(5) 85.29 ^{abcd}	(6) 85.57 ^{ab}	85.33A
0.3	(7) 84.47 ^d	(8) 84.48 ^d	(9) 84.56 ^{cd}	84.50B
ค่าเฉลี่ย	84.84A	85.10A	85.36A	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร

- ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
- ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลจากการวัดค่า L* ในตารางที่ 6 การใช้ไดโพลีเอทิลีนฟอสเฟตปริมาณต่างกันส่งผลให้ค่า L* ของอิมัลชันต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใช้คาร์ราจีแนนปริมาณต่างกันไม่มีผลต่อค่า L* ของอิมัลชัน และไม่มีอิทธิพลร่วมจากการใช้ไดโพลีเอทิลีนฟอสเฟตร่วมกับคาร์ราจีแนนในปริมาณต่างกัน

การใช้ไดโพลีเอทิลีนฟอสเฟตปริมาณมากขึ้นส่งผลให้อิมัลชันมีความสว่างลดลง ส่วนการใช้คาร์ราจีแนนปริมาณมากขึ้นมีแนวโน้มช่วยให้อิมัลชันมีความสว่างมากขึ้นแต่ให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูตรของอิมัลชันที่ใช้ไดโพลีเอทิลีนฟอสเฟตร้อยละ 0.3 ร่วมกับคาร์ราจีแนนที่ทุกระดับมีค่า L* ต่ำ ส่วนการใช้ไดโพลีเอทิลีนฟอสเฟตร้อยละ 0.1 ร่วมกับคาร์ราจีแนนที่ระดับร้อยละ 0.06 สามารถให้ค่า L* สูงที่สุด และให้ค่าไม่แตกต่างจากสูตรอิมัลชันที่ใช้ไดโพลีเอทิลีนฟอสเฟตร้อยละ 0.2 ร่วมกับคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.06 ซึ่งเป็นสูตรของอิมัลชันที่มีการครีมต่ำ และอิมัลชันมีความคงตัวมาก เมื่ออิมัลชันมีความคงตัวมากแสดงว่ามีอนุภาค

ไขมันกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคน้ำมาก ทำให้เกิดการสะท้อนแสงของอนุภาคน้ำมันมากจึงมีค่า L^* สูงขึ้นเมื่ออิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น

เมื่อพิจารณาจากลักษณะปรากฏ ค่าดัชนีการเกิดคริม ค่าความคงตัว และ ค่า L^* ของ อิมัลชัน สูตรที่ควรเลือกเพื่อใช้เตรียมอิมัลชันของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมคือสูตรใช้ไดโพลเตสเทียม ฟอสเฟตรี้อยละ 0.2 ร่วมกับคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.06

4. ผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียม

ผลการปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียมด้วยการผสมไดโพลเตสเทียมฟอสเฟต ร่วมกับคาร์ราจีแนน สามารถลดการเกิดคริมลงได้และช่วยให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น แต่เนื่องจากอิมัลชันครีมเทียมไม่เป็นเนื้อเดียวกันและยังไม่คงตัวมากพอ จึงต้องปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียมด้วยการเติมอิมัลซิไฟเออร์ 3 ชนิดร่วมกัน คือ โมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 0.4 พอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.2 และแปรผันปริมาณเลซิทีนที่ร้อยละ 0.2 0.4 และ 0.6

อิมัลชันครีมเทียมที่ได้มีสีขาวขุ่น เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เกิดการแยกชั้นครีม และไม่เห็นหยดน้ำมันบริเวณผิวหน้าของอิมัลชันทุกสูตร และได้ค่าต่างๆ จากการตรวจวัดคุณภาพของอิมัลชันตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คุณภาพของอิมัลชันครีมเทียมเมื่อผ่านการปรับปรุงความคงตัวด้วยอิมัลซิไฟเออร์

เลขชี้ทิน (ร้อยละ)	ดัชนี	ความคงตัว	L*	ความสามารถ	การตกตะกอน ของโปรตีน
	การเกิดครีม (ร้อยละ)	ของอิมัลชัน (ร้อยละ)		ในการให้ ความขาว ⁽²⁾	
0.2	- ⁽¹⁾	98.35 ^b	88.47 ^b	22.69 ^c	- ⁽³⁾
0.4	-	98.90 ^b	88.90 ^a	23.39 ^b	-
0.6	-	99.45 ^a	88.88 ^a	24.72 ^a	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- 1) หมายถึง ค่าดัชนีการเกิดครีมเป็น 0.00
- 2) ความสามารถในการให้ความขาว, $\Delta L^* = L^*$ ของกาแฟผสมอิมัลชัน - L^* ของกาแฟ
- 3) หมายถึง ไม่มีการตกตะกอนของโปรตีน

จากผลการทดลองใช้อิมัลซิไฟเออร์ 3 ชนิดร่วมกัน คือโมโนกลีเซอไรด์ พอลิซอร์เบต 60 และเลขชี้ทิน สามารถแก้ปัญหาความไม่คงตัวของอิมัลชันครีมเทียมได้ ผลการตรวจวัดไม่เกิดการแยกชั้นครีม คือไม่มีการลอยตัวของอนุภาคน้ำมัน และไม่เห็นหยดน้ำมันบริเวณผิวหน้าของอิมัลชันครีมเทียมทุกสูตร เพราะสารอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างผิวร่วมของน้ำมันกับน้ำ ช่วยให้อนุภาคน้ำมันกระจายตัวอยู่ในวฏภาคน้ำได้ดี ซึ่งในกระบวนการผลิตอาหารที่เป็นอิมัลชันส่วนใหญ่มักใช้โปรตีนทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ร่วมกับสารอิมัลซิไฟเออร์อื่นๆ (McClements, 1990) จากตารางที่ 7 เมื่อทดลองใช้โมโนกลีเซอไรด์ พอลิซอร์เบต 60 และเลขชี้ทิน โดยผันแปรเฉพาะปริมาณเลขชี้ทิน การใช้เลขชี้ทินร้อยละ 0.6 อิมัลชันที่ได้สามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้มากกว่าการใช้เลขชี้ทินที่ความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใช้ปริมาณเลขชี้ทินมากขึ้นส่งผลให้อิมัลชันครีมเทียมสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้มากขึ้น เพราะมีแนวโน้มว่าอิมัลชันมีความคงตัวสูงขึ้นหรือมีกระจายของอนุภาคน้ำมันได้ดีขึ้น จึงเกิดการสะท้อนแสงของอนุภาคน้ำมันมากกว่าการใช้เลขชี้ทินในระดับต่ำ และเมื่อทดสอบการตกตะกอนของโปรตีนของอิมัลชันครีมเทียม ไม่พบการตกตะกอนของอิมัลชันทั้ง 3 สูตร

การใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกันทั้ง 3 ชนิด สามารถแก้ปัญหาความไม่คงตัวของอิมัลชันครีมเทียมได้ ให้ค่าความสว่างสูง และสามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้ดี รวมทั้งไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน และสูตรที่เลือกจากการทดลองนี้คือสูตรที่ 3 ซึ่งใช้เลซิทินร้อยละ 0.6 ร่วมกับ โมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละ 0.4 และพอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.2

5. ผลของจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่อคุณภาพครีมเทียมชนิดผง

การทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมที่ 3 ระดับคือ 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส ร่วมกับการแปรผันปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ 3 ระดับเช่นเดียวกัน คือร้อยละ 10 12 และ 14 ผลตรวจวัดคุณภาพของอิมัลชันครีมเทียม และคุณภาพของครีมเทียมชนิดผงให้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

5.1 คุณภาพของอิมัลชันครีมเทียม

5.1.1 ลักษณะปรากฏของอิมัลชันครีมเทียม

อิมัลชันที่ได้ทั้ง 9 สูตรมีสีขาวขุ่นใกล้เคียงกัน มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เกิดการแยกชั้นทุกสูตร และไม่เห็นหยดน้ำมันบริเวณผิวหน้าของอิมัลชันทุกสูตร

5.1.2 ความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียม

อิมัลชันครีมเทียมไม่เกิดการแยกชั้นครีม (ดัชนีการเกิดครีมเป็น 0.00) ทุกสูตร ไม่มีอนุภาคน้ำมันหลอมรวมกันลอยขึ้นสู่ผิวหน้า อนุภาคน้ำมันได้ถูกอิมัลซิไฟน์ด้วยโปรตีนมะพร้าวร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ และกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคน้ำได้ดี สอดคล้องกับค่าความคงตัวของอิมัลชันเพราะอิมัลชันทุกสูตรมีความคงตัวมากกว่าร้อยละ 99.50 แม้จะผ่านการหมุนเหวี่ยงเพื่อให้อิมัลชันเสียความคงตัว แต่อิมัลชันยังสามารถรักษาความคงตัวอยู่ได้ มีอนุภาคน้ำมันเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกเหวี่ยงแยกออกมา (วัดได้ละเอียดสูงสุดเป็นร้อยละ 0.50) ผลของการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันทั้ง 3 ระดับ ให้อิมัลชันครีมเทียมที่มีความคงตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับผลของการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกันทั้ง 3 ระดับก็ให้

อิมัลชันที่มีความคงตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่มีอิทธิพลร่วมจากการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันร่วมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน

5.1.3 สีของอิมัลชันครีมเทียม

การตรวจวัดสีของอิมัลชันครีมเทียม ได้แก่ ค่า L^* , a^* , b^* และ E โดยค่า L^* เป็นดัชนีที่สำคัญในการบ่งชี้ถึงคุณภาพของอิมัลชันครีมเทียม อิมัลชันที่ดีควรให้ค่า L^* สูง ผลการวัดค่า L^* ของอิมัลชันได้ผลตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่า L^* ของอิมัลชันครีมเทียม เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14

จุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม (องศาเซลเซียส)	ค่า L^* ของอิมัลชันครีมเทียมที่มอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			ค่าเฉลี่ย
	10	12	14	
40	(1) 89.31 ^{abcd}	(2) 89.08 ^{bcd}	(3) 88.76 ^d	89.05A
44	(4) 89.42 ^a	(5) 89.03 ^{bcd}	(6) 88.86 ^{cd}	89.10A
48	(7) 89.64 ^{ab}	(8) 89.37 ^{abc}	(9) 88.97 ^{bcd}	89.33A
ค่าเฉลี่ย	89.46A	89.16B	88.86C	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 8 ผลของการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันให้ค่า L^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกัน ส่งผลให้อิมัลชันครีมเทียมมีค่า L^* ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่มีอิทธิพลร่วมจากการใช้น้ำมันผสมที่มี

จุดหลอมเหลวต่างกันร่วมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน การใช้ไขมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันไม่มีผลต่อความสว่างของอิมัลชัน เพราะในการทดลองได้รักษาอิมัลชันครีมเทียมให้มีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ไขมันผสมในทุกตัวอย่างจึงอยู่ในสภาพของเหลวที่มีสีเหลืองอ่อนเหมือนกัน จึงให้ค่าความสว่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้น ส่งผลให้วัฏภาคของน้ำมีความขุ่นข้นมากขึ้น ทำให้แสงตกกระทบกับอนุภาคน้ำมันได้ยากขึ้น การสะท้อนแสงของไขมันซึ่งทำให้เห็นเป็นสีขาวจึงเกิดขึ้นได้น้อยลง ส่งผลให้อิมัลชันมีความสว่างน้อยลง โดยสูตรที่ 1 4 7 และ 8 ให้อิมัลชันที่มีค่า L^* สูงสุด ส่วนสูตรที่ 1 2 3 5 6 และ 9 ให้อิมัลชันที่มีค่า L^* ต่ำ อย่างไรก็ตามจากการสังเกตด้วยสายตาไม่สามารถเห็นความแตกต่างของความขาวของอิมัลชันได้ ซึ่งจากการทดลองของ Gruetzmacher and Bradley (1991) พบว่าสามารถเห็นความแตกต่างของความขาวได้ก็ต่อเมื่อค่า L^* ที่วัดได้มีค่าต่างกันประมาณ 1 หน่วยขึ้นไป

ส่วนค่าสีอื่นๆของอิมัลชันได้ผลตามตารางที่ 9 10 และ 11

ตารางที่ 9 ค่า a^* ของอิมัลชันครีมเทียม เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14

จุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม (องศาเซลเซียส)	ค่า a^* ของอิมัลชันครีมเทียมที่มอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			
	10	12	14	ค่าเฉลี่ย
40	(1) -0.57 ^a	(2) -0.50 ^a	(3) -0.59 ^a	-0.56B
44	(4) -0.48 ^a	(5) -0.44 ^a	(6) -0.42 ^a	-0.44AB
48	(7) -0.42 ^a	(8) -0.50 ^a	(9) -0.32 ^a	-0.41A
ค่าเฉลี่ย	-0.49A	-0.48A	-0.44A	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 9 ค่า a^* ของอิมัลชันครีมเทียมมีค่าติดลบ คือให้สีไปทางด้านสีเขียว การใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันส่งผลให้อิมัลชันมีค่า a^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกัน ให้อิมัลชันที่มีค่า a^* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่มีอิทธิพลร่วมจากการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันร่วมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน เมื่อใช้น้ำมันผสมจุดหลอมเหลวสูงขึ้น อิมัลชันมีค่า a^* มากขึ้นหรือมีค่าสีเขียวน้อยลง เนื่องจากน้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันเกิดจากสัดส่วนของปริมาณไขมันปาล์มสเตียรินและไขมันปาล์มโอเลอินต่างกัน อาจส่งผลให้ค่า a^* ต่างกัน ซึ่งค่า a^* ที่ได้แปรผันตามปริมาณไขมันปาล์มสเตียรินในน้ำมันผสม คือเมื่อมีปริมาณไขมันปาล์มสเตียรินมากขึ้น ส่งผลให้ค่า a^* มากขึ้นด้วย ส่วนมอลโทเดกซ์ทรินเมื่อละลายมีลักษณะใส ถึงแม้จะใช้ในปริมาณมากขึ้นก็ไม่ส่งผลให้ค่า a^* ซึ่งเป็นค่าไปทางด้านสีเขียรมีค่าต่างกัน

ตารางที่ 10 ค่า b* ของอิมัลชันครีมเทียม เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14

จุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม (องศาเซลเซียส)	ค่า b* ของอิมัลชันครีมเทียมที่มอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			ค่าเฉลี่ย
	10	12	14	
40	(1) 6.67 ^{ab}	(2) 6.53 ^{ab}	(3) 7.51 ^a	6.90 A
44	(4) 6.72 ^{ab}	(5) 6.18 ^b	(6) 6.59 ^{ab}	6.49A
48	(7) 6.52 ^{ab}	(8) 6.96 ^{ab}	(9) 6.37 ^b	6.61A
ค่าเฉลี่ย	6.64A	6.56A	6.82A	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในตารางที่ 10 ค่า b* ของอิมัลชันครีมเทียมมีค่าเป็นบวกหรือให้สีไปทางด้านสีเหลือง การใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน ไม่มีผลต่อค่า b* ของอิมัลชัน การใช้มอลโทเดกซ์ทริน ปริมาณต่างกัน ก็ไม่ส่งผลให้อิมัลชันมีค่า b* ต่างกัน และไม่มีอิทธิพลร่วมจากการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันร่วมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน ในการทดลองได้รักษาอิมัลชันครีมเทียมให้มีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส น้ำมันผสมในทุกตัวอย่างจึงอยู่ในสภาพของเหลวที่มีสีเหลืองอ่อนเหมือนกัน จึงให้ค่า b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกันให้ค่า b* ไม่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน มอลโทเดกซ์ทรินเมื่อละลายมีลักษณะใส ถึงแม้จะใช้ในปริมาณมากขึ้นก็ไม่ส่งผลให้ค่าสีทั้งค่า a* และ b* ต่างกัน แต่มีผลต่อค่า L* เนื่องจากไปเพิ่มความขุ่นให้แก่อิมัลชันครีมเทียมทำให้อุณหภูมิสีน้ำมันสะท้อนแสงได้น้อยลง จึงมีความสว่างลดลง

ตารางที่ 11 ค่า E ของอิมัลชันครีมเทียม เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14

จุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม (องศาเซลเซียส)	ค่า E ของอิมัลชันครีมเทียมที่มอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			ค่าเฉลี่ย
	10	12	14	
40	(1) 89.57 ^{abc}	(2) 89.33 ^{abc}	(3) 89.08 ^c	89.32A
44	(4) 89.67 ^{ab}	(5) 89.64 ^{ab}	(6) 89.42 ^{abc}	89.58A
48	(7) 89.87 ^a	(8) 89.64 ^{ab}	(9) 89.20 ^{bc}	89.57A
ค่าเฉลี่ย	89.70A	89.54A	89.23B	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในตารางที่ 11 แสดงค่า E ของอิมัลชันครีมเทียม การใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน ไม่มีผลต่อค่า E ของอิมัลชัน ส่วนการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกันส่งผลให้ค่า E ของอิมัลชันต่างกัน และไม่มีอิทธิพลร่วมจากการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน ร่วมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน

ค่า E เป็นค่ารวมของสี่ที่ได้จากการรวมค่า L^* , a^* และ b^* ซึ่งค่า L^* เป็นค่าที่มีค่ามากกว่าค่าอื่น ค่า L^* จึงมีผลต่อค่า E มาก ทำให้ค่า E ที่ได้มีลักษณะคล้ายกับค่า L^* ของอิมัลชันในตารางที่ 8 การใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้นไม่มีผลต่อค่า E เพราะในการทดลองได้รักษาอิมัลชันครีมเทียมให้มีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส น้ำมันผสมในทุกตัวอย่างจึงอยู่ในสภาพของเหลวที่มีสีเหลืองอ่อนเหมือนกัน จึงให้ค่าความสว่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้น ส่งผลให้วิฤภาคของน้ำมีความขุ่นขึ้น และหนืดมากขึ้น ทำให้แสงกระทบกับอนุภาคน้ำมัน ได้ยากขึ้น การสะท้อนแสงของไขมันซึ่งจะทำให้เห็นเป็นสีขาว

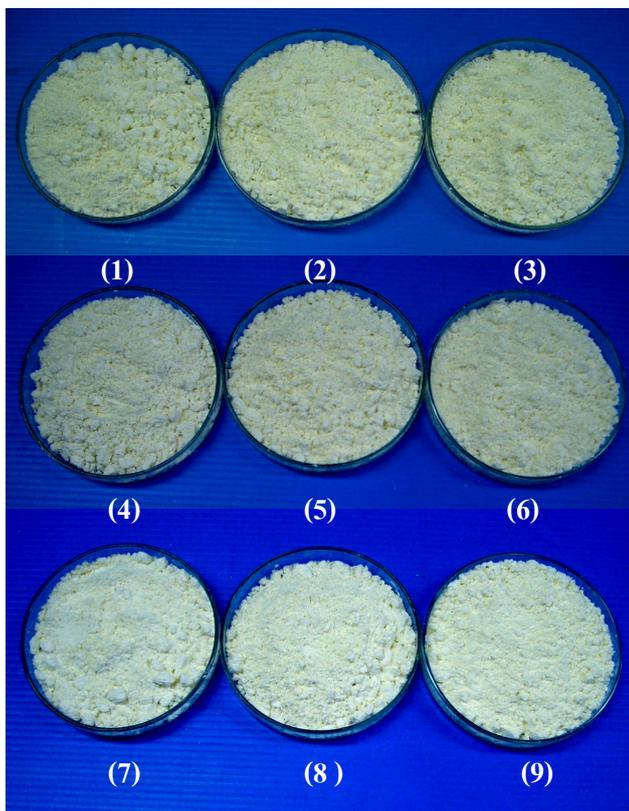
จึงเกิดขึ้นได้น้อยลง ส่งผลให้อิมัลชันมีความสว่างน้อยลง เมื่อค่า L^* ลดลงจึงส่งผลให้ค่า E ของอิมัลชันครีมเทียมลดลงด้วย ผลการวิเคราะห์ที่ได้ค่า E แตกต่างกันจึงแสดงให้เห็นว่าอิมัลชันของครีมเทียมที่ได้มีสีต่างกัน

5.2 คุณภาพของครีมเทียมชนิดผง

การตรวจวัดคุณภาพของครีมเทียมชนิดผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมเข้า 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออกประมาณ 90 องศาเซลเซียส มีอัตราการป้อน 13 ถึง 15 ลิตรต่อชั่วโมง ได้ผลดังนี้

5.2.1 ลักษณะปรากฏของครีมเทียมชนิดผง

ครีมเทียมผงทุกสูตรที่ได้จากการทดลอง มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีสีขาวอมเหลืองเล็กน้อย มีลักษณะการไหลที่ดี ไม่ค่อยเกาะติดกับห้องอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และขวดแก้วซึ่งใช้เป็นภาชนะรองรับผลิตภัณฑ์ นำครีมเทียมผงมาผสมชิลิคอนไดออกไซด์ ร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักครีมเทียมผง เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อน ครีมเทียมชนิดผงที่ได้ มีลักษณะดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะปรากฏของครีมเทียมชนิดผงที่ได้จากการทดลองทั้ง 9 สูตร

ครีมเทียมชนิดผงทั้ง 9 สูตร มีความร่วนแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อนำมาให้คะแนนความร่วนเป็น 1 2 และ 3 โดยคะแนนมาก หมายถึงมีความร่วนมากกว่า ผลปรากฏว่ากลุ่มที่มีคะแนนความร่วนเท่ากับ 1 ได้แก่ สูตรที่ 1 2 4 และ 7 กลุ่มที่มีคะแนนความร่วนเท่ากับ 2 ได้แก่ สูตรที่ 3 5 6 และ 8 และกลุ่มที่มีคะแนนความร่วนเท่ากับ 3 ได้แก่ สูตรที่ 9 กลุ่มที่มีคะแนนน้อย จะมีการเกาะตัวกัน จับตัวเป็นก้อนมากกว่า

การใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่ำส่งผลให้ครีมเทียมผงมีความร่วนน้อยกว่าการใช้น้ำมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า เพราะน้ำมันผสมจุดหลอมเหลวต่ำมีปริมาณน้ำมันเหลวมากกว่า ซึ่งส่วนของน้ำมันเหลวนี้เองที่ส่งผลให้ผิวของครีมเทียมผงมีลักษณะชื้น หรือมีส่วนของน้ำมันที่ผิวมาก จึงทำให้อนุภาคเกาะติดกันมากกว่า Onwulata (2005) ระบุว่าในการผลิตอาหารผงที่มีปริมาณไขมันหรือน้ำมันสูง ถ้าอนุภาคผงที่ผ่านการทำแห้งมีปริมาณไขมันหรือน้ำมันที่ผิวน้อย อนุภาคผงที่ได้มีลักษณะการไหลที่ดี ไม่เกาะตัวเป็นก้อน ส่วนการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน

ต่างกันส่งผลให้ลักษณะปรากฏของครีมเทียมต่างกันเช่นกัน จากการทดลองผลิตครีมเทียมผงใน ระยะแรกได้ทดลองใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเพียงร้อยละ 8 พบว่าครีมเทียมผงมีปัญหาเกาะติด กับห้องอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินเป็นร้อยละ 10 การ เกาะติดเครื่องมีน้อยมาก การใช้ปริมาณมากขึ้นทำให้ครีมเทียมผงมีความร่วนมากขึ้น เนื่องจาก มอลโทเดกซ์ทรินเป็นส่วนประกอบที่ให้เนื้อแก่ครีมเทียม และช่วยให้อนุภาคไขมันกระจายตัว ในวัฏภาคน้ำของอิมัลชันได้ดี เมื่อนำอิมัลชันมาทำให้แห้ง น้ำถูกกำจัดออกไป อนุภาคไขมันที่ถูก ห่อหุ้มด้วยส่วนประกอบต่างๆ หลายอนุภาคจับกลุ่มกันเป็นอนุภาคครีมเทียมผง เมื่อใช้ปริมาณมอล โทเดกซ์ทรินมากขึ้น ทำให้ผิวของอนุภาคไขมันมีโอกาสสัมผัสกันน้อยลง ครีมเทียมผงที่ได้จึงมี ลักษณะร่วนมากขึ้น ดังนั้นการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันและการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ ทรินต่างกันจึงส่งผลให้ครีมเทียมผงที่ได้มีลักษณะปรากฏต่างกัน

5.2.2 ขนาดอนุภาคของครีมเทียมชนิดผง

เมื่อนำครีมเทียมชนิดผงทั้ง 9 สูตร ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม Image-ProPlus เพื่อใช้วัด ขนาดอนุภาค การวัดขนาดอนุภาคของครีมเทียมผงทั้ง 9 สูตรได้ผลตามตารางที่ 12

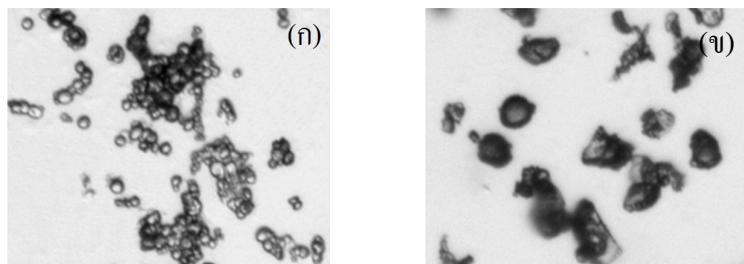
ตารางที่ 12 ขนาดอนุภาคของครีมเทียมชนิดผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14

จุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม (องศาเซลเซียส)	ขนาดของอนุภาคของครีมเทียมชนิดผง (ไมครอน) ที่มอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			
	10	12	14	ค่าเฉลี่ย
40	(1) 5.49 ^a	(2) 5.84 ^a	(3) 6.10 ^a	5.82A
44	(4) 6.12 ^a	(5) 5.76 ^a	(6) 6.28 ^a	6.07A
48	(7) 6.45 ^a	(8) 6.19 ^a	(9) 6.97 ^a	6.54A
ค่าเฉลี่ย	6.05A	5.93A	6.45A	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในตารางที่ 12 การใช้ไขมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน ไม่มีผลต่อขนาดอนุภาคของครีมเทียมผง เช่นเดียวกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกันก็ไม่มีผลต่อขนาดอนุภาค และไม่มีอิทธิพลร่วมจากการใช้ไขมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันร่วมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน

ครีมเทียมสูตรทดลองมีอนุภาคขนาดเล็ก ต่างจากครีมเทียมทางการค้าที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า ซึ่งสามารถเห็นความแตกต่างได้ด้วยสายตา และเมื่อทดลองวัดขนาดของครีมเทียมทางการค้า พบว่ามีขนาด 80.0 ถึง 103.5 ไมครอน ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าครีมเทียมสูตรทดลองมาก ครีมเทียมสูตรทดลองกับครีมเทียมทางการค้าจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยายเท่ากัน (400 เท่า) มีลักษณะดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ครีมเทียมชนิดผงสูตรทดลอง (สูตรที่ 1) (ก) และครีมเทียมทางการค้า (ข) จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

จากภาพที่ 3 ครีมเทียมสูตรทดลองมีอนุภาคค่อนข้างกลม มีขนาดเล็ก เกาะตัวกันเป็นกลุ่ม ในขณะที่ครีมเทียมทางการค้ามีรูปร่างเป็นเหลี่ยม และมีขนาดใหญ่กว่า และไม่เกาะกลุ่มกัน ซึ่งครีมเทียมทางการค้าผ่านกระบวนการแอกโกลเมอเรชัน (agglomeration) หรือการทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น การนำครีมเทียมผงไปทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเป็นการพ่นลมร้อนจากด้านล่าง ด้วยความเร็วสูง ทำให้อนุภาคเกิดการขยายตัว อนุภาคเล็กๆ หลายอนุภาคสัมผัสกันและเกาะตัวกัน เมื่ออนุภาคขนาดเล็กเกาะตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้อนุภาคมีรูพรุนมากขึ้น สารละลายสามารถซึมเข้าสู่อนุภาคได้ง่าย ครีมเทียมผงจึงจมตัวและละลายได้ดี (Nebzed and Zamrow, 1973; Choi *et al.*, 1982; Westergaard, 2004) ซึ่ง Onwulata (2005) ระบุว่าอาหารผงที่มีอนุภาคขนาดเล็กหรือเป็นผงละเอียด เมื่อผ่านการแอกโกลเมอเรชันแล้ว ทำให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 100 ไมครอน

5.2.3 ความหนาแน่นบรรจุของครีมเทียมชนิดผง

การวัดความหนาแน่นบรรจุของครีมเทียมชนิดผง ได้ผลตามตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ความหนาแน่นบรรจุของครีมเทียมชนิดผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14

จุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่นบรรจุ(กรัม/มิลลิลิตร) ของครีมเทียมชนิดผง ที่มอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			
	10	12	14	ค่าเฉลี่ย
40	(1) 0.34 ^a	(2) 0.35 ^a	(3) 0.36 ^a	0.35A
44	(4) 0.34 ^a	(5) 0.35 ^a	(6) 0.36 ^a	0.35A
48	(7) 0.34 ^a	(8) 0.34 ^a	(9) 0.35 ^a	0.34A
ค่าเฉลี่ย	0.34A	0.34A	0.36A	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในตารางที่ 13 การใช้ไขมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน ไม่มีผลต่อความหนาแน่นบรรจุของครีมเทียมผง และการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกันไม่มีผลต่อความหนาแน่นบรรจุเช่นเดียวกัน และไม่มีอิทธิพลร่วมจากการใช้ไขมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกรัน ร่วมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน

ครีมเทียมที่ได้จากการทดลองมีอนุภาคขนาดเล็กและมีความหนาแน่น 0.34 ถึง 0.36 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนการผลิตครีมเทียมทางการค้าใช้เครื่องมือในกระบวนการผลิตที่ช่วยให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ และมีรูพรุนมาก ทำให้มีความหนาแน่นต่ำ จึงสามารถละลายได้ดี จากการทดลองของ Choi *et al.* (1982) ได้ทดลองผลิตครีมเทียมผงจากโซเดียมเคซีเนต โดยใช้สภาวะการทดลองเดียวกับการผลิตในทางการค้า พบว่าการใช้ส่วนผสมต่างกัน ไม่ได้ทำให้ความหนาแน่นของอนุภาคของครีมเทียมผงแตกต่างกัน แต่การผลิตครีมเทียมในทางการค้า ซึ่งมีการใช้เครื่อง

instantizer ช่วยซึ่งส่งผลให้อนุภาคครีมเทียมผงมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีความหนาแน่นต่างจากครีมเทียมที่ได้จากการทดลอง Onwulata (2005) ระบุว่าความหนาแน่นของอาหารผงเป็นคุณสมบัติที่มีความซับซ้อนขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ในกรณีของครีมเทียมนั้นลักษณะเป็นผงที่มีการจับตัวกัน (cohesive powders) เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กและมีปริมาณไขมันสูง ทำให้เกิดการจับตัวกันได้ง่าย ยิ่งอยู่ในสถานะการเก็บที่มีอุณหภูมิสูง ยิ่งทำให้อนุภาคเกาะกันแน่น จึงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ความสามารถในการกระจายตัวในสารละลายลดลง

5.2.4 สีของครีมเทียมชนิดผง

การตรวจวัดคุณภาพด้านสีของครีมเทียมผงสูตรทดลอง ได้ผลดังตารางที่ 14 ถึง ตารางที่ 17

ตารางที่ 14 ค่า L* ของครีมเทียมผงแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14

จุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม (องศาเซลเซียส)	ค่า L* ของครีมเทียมผงที่มอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			ค่าเฉลี่ย
	10	12	14	
40	(1) 91.40 ^{ab}	(2) 91.20 ^{ab}	(3) 90.61 ^d	91.07B
44	(4) 90.09 ^{bc}	(5) 90.81 ^{cd}	(6) 90.75 ^d	90.88C
48	(7) 91.36 ^{ab}	(8) 91.14 ^b	(9) 91.50 ^a	91.33A
ค่าเฉลี่ย	91.28A	91.05B	90.96B	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร

- ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
- ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 14 การใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน ส่งผลให้ครีมเทียมผงมีค่า L^* ต่างกัน การใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกันส่งผลต่อค่า L^* เช่นกัน และมีอิทธิพลร่วมจากการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันร่วมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน เมื่อใช้น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 40 องศาเซลเซียส ให้ค่า L^* ของครีมเทียมผงสูงกว่าการใช้น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 44 องศาเซลเซียส และเมื่อใช้น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 48 องศาเซลเซียส ให้ค่า L^* สูงกว่าที่ 40 องศาเซลเซียส ส่วนการใช้มอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้นส่งผลให้ค่า L^* ของครีมเทียมผงลดลง

เมื่อนำอิมัลชันครีมเทียมมาทำแห้ง น้ำระเหยออกไป ส่วนประกอบส่วนใหญ่คือไขมัน มอลโทเดกซ์ทริน โปรตีน และส่วนประกอบอื่นๆที่เหลือ จับกลุ่มกันเป็นอนุภาคของครีมเทียมซึ่งไขมันมีบทบาทสำคัญที่จะทำให้เห็นความสว่างหรือความขาวเพราะสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่าส่วนประกอบอื่น ส่วนมอลโทเดกซ์ทรินถ้าใช้ปริมาณมากให้เนื้อแก่ครีมเทียมผงได้มากขึ้นช่วยห่อหุ้มอนุภาคไขมันได้มากยิ่งขึ้น เมื่อแสงตกกระทบอนุภาคครีมเทียม จึงเกิดการสะท้อนแสงได้น้อยลง ทำให้ครีมเทียมผงที่ได้มีความสว่างน้อยลง โดยสูตรที่ 1 2 7 และ 9 ให้ค่า L^* สูง ส่วนสูตรที่ 3 5 และ 6 ให้ค่า L^* ต่ำ

นอกจากนี้ครีมเทียมผงยังมีค่าสีอื่นๆ คือค่า a^* b^* และ E ซึ่งได้ผลตามตารางที่

15 16 และ 17

ตารางที่ 15 ค่า a* ของครีมเทียมผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14

จุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม (องศาเซลเซียส)	ค่า a* ของครีมเทียมผงที่มอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			ค่าเฉลี่ย
	10	12	14	
40	(1) -0.51 ^d	(2) -0.53 ^d	(3) -0.47 ^{cd}	-0.50C
44	(4) -0.35 ^{ab}	(5) -0.36 ^{abc}	(6) -0.42 ^{bcd}	-0.38B
48	(7) -0.29 ^a	(8) -0.28 ^a	(9) -0.32 ^{ab}	-0.30A
ค่าเฉลี่ย	-0.38A	-0.39A	-0.40A	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 15 การใช้ไขมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันส่งผลต่อค่า a* ของครีมเทียมผง ส่วนการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกัน ไม่มีผลต่อค่า a* และไม่มีอิทธิพลรวมจากการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันรวมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน เมื่อใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า a* ของครีมเทียมผงมีค่ามากขึ้น คือให้สีไปทางด้านสีเขียวอ่อนลง แต่การใช้มอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้นให้ค่า a* ไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบค่า a* ของอิมัลชันในตารางที่ 9 กับค่า a* ของครีมเทียมผง ในตารางที่ 15 ให้ค่า a* ที่ไปในทิศทางเดียวกัน คือการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้นให้ค่า a* สูงขึ้น ส่วนการใช้มอลโทเดกซ์ทรินต่างกันให้ค่า a* ไม่ต่างกัน การใช้น้ำมันจุดหลอมเหลวต่างกันส่งผลให้ค่า a* ต่างกันเพราะสัดส่วนของน้ำมันปาล์มโอเลอินกับไขมันปาล์มต่างกัน ส่วนมอลโทเดกซ์ทรินแม้จะใช้ในปริมาณต่างกันก็ไม่มีผลต่อค่า a* อาจเพราะมอลโทเดกซ์ทรินมีสีขาวจึงไม่มีผลต่อค่า a* ของครีมเทียมผงเหมือนกับน้ำมันผสมซึ่งมีสีเหลือง

ตารางที่ 16 ค่า b* ของครีมเทียมผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14

จุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม (องศาเซลเซียส)	ค่า b* ของครีมเทียมผงที่มอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			ค่าเฉลี่ย
	10	12	14	
40	(1) 7.60 ^a	(2) 7.52 ^{ab}	(3) 6.58 ^c	7.23A
44	(4) 7.21 ^{ab}	(5) 7.40 ^{ab}	(6) 7.49 ^{ab}	7.37A
48	(7) 7.32 ^{ab}	(8) 6.98 ^c	(9) 7.08 ^{abc}	7.13A
ค่าเฉลี่ย	7.37A	7.30AB	7.05B	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 16 การใช้ไขมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน ให้ครีมเทียมผงที่มีค่า b* ไม่แตกต่างกัน ส่วนการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกัน ส่งผลให้ครีมเทียมผงมีค่า b* ต่างกัน และมีอิทธิพลร่วมจากการใช้ไขมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันร่วมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน การใช้ไขมันผสมจุดหลอมเหลวต่างกัน ไม่มีผลต่อค่า b* ของครีมเทียมผง แต่การใช้มอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้น ทำให้ครีมเทียมผงมีค่า b* ลดลง หรือมีสีไปทางด้านสีเหลืองน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับค่า b* ของอิมัลชันในตารางที่ 10 มีลักษณะใกล้เคียงกันคือน้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันให้ค่า b* ไม่ต่างกัน แต่เมื่อเป็นผงการใช้มอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้น ส่งผลให้ค่า b* ลดลงต่างจากอิมัลชันซึ่งให้ค่า b* ไม่ต่างกัน ครีมเทียมผงที่ใช้มอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้น ทำให้สามารถห่อหุ้มอนุภาคไขมันและให้เนื้อแก่ครีมเทียมได้มากขึ้น ไขมันซึ่งมีสีเหลืองอ่อนเมื่อถูกห่อหุ้มไว้ด้วยมอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้น ทำให้สีเหลืองของอนุภาคครีมเทียมผงมีความเข้มลดลง หรือมีค่า b* ลดลง

ตารางที่ 17 ค่า E ของครีมเทียมผง เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14

จุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม (องศาเซลเซียส)	ค่า E ของครีมเทียมผงที่มอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			
	10	12	14	ค่าเฉลี่ย
40	(1) 91.72 ^{ab}	(2) 91.52 ^{abc}	(3) 90.85 ^c	91.37B
44	(4) 91.38 ^{cd}	(5) 91.12 ^{de}	(6) 91.06 ^c	91.18C
48	(7) 91.64 ^{abc}	(8) 91.40 ^{bcd}	(9) 91.78 ^a	91.61A
ค่าเฉลี่ย	91.58A	91.35B	91.23B	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในตารางที่ 17 การใช้ไขมันผสมจุดหลอมเหลวต่างกัน ส่งผลให้ค่า E ของครีมเทียมผงมีค่าแตกต่างกัน และการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกัน ส่งผลให้ค่า E แตกต่างกันเช่นกัน และมีอิทธิพลร่วมจากการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันร่วมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน

การใช้น้ำมันผสมจุดหลอมเหลวต่างกันส่งผลต่อค่า E ของครีมเทียมผงต่างกัน และการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้นทำให้ค่า E ลดลง การที่ค่า E ของครีมเทียมผงในตารางที่ 17 มีทิศทางเดียวกับค่า L* ของครีมเทียมผง เพราะค่า E เป็นค่าสิรวมของทั้ง 3 ค่า ค่า L* ซึ่งมีค่าสูงจึงเป็นค่าที่มีผลต่อค่า E มากกว่าค่าอื่น ทำให้ค่า E ที่ได้มีลักษณะคล้ายกับค่า L* ของครีมเทียมผงในตารางที่ 14 โดยสูตรที่มีค่า E สูง คือ 1 2 7 และ 9 ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้ค่า E แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าครีมเทียมผงที่ได้มีสีต่างกัน

ค่าสีของครีมเทียมผงหลังจากผ่านการทำให้แห้ง ให้ค่าสีแตกต่างกับอิมัลชันของครีมเทียม คือมีความสว่างมากขึ้น มีสีเหลืองมากขึ้น มีสีเขียวลดลง และมีค่า E ไปในลักษณะเดียวกับค่า L* ของครีมเทียมผง

5.2.5 ความสามารถในการให้ความขาว

ผลการวัดความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟของครีมเทียมผง ด้วยการวัดค่า L* ของสารละลายกาแฟที่ผสมครีมเทียม และค่า L* ของสารละลายกาแฟเพียงอย่างเดียวแล้วแสดงเป็นค่าความแตกต่างของ L* (ΔL^*) ระหว่างสารละลายทั้งสองดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟของครีมเทียมชนิดผง (ΔL^*) เมื่อแปรผันจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสม 40 44 และ 48 องศาเซลเซียส และ ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 10 12 และ 14

จุดหลอมเหลว ของน้ำมันผสม (องศาเซลเซียส)	ความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟ (ΔL^*) ที่มอลโทเดกซ์ทริน (ร้อยละ)			ค่าเฉลี่ย
	10	12	14	
40	(1) 25.85 ^c	(2) 26.85 ^{ab}	(3) 26.23 ^{bc}	26.31A
44	(4) 26.90 ^{ab}	(5) 26.46 ^{abc}	(6) 24.86 ^d	26.07A
48	(7) 27.16 ^a	(8) 26.56 ^{abc}	(9) 24.95 ^d	26.22A
ค่าเฉลี่ย	26.64A	26.62A	25.35B	

หมายเหตุ - ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่ของสูตร
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 - ค่าเฉลี่ยของแต่ละสูตรที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 18 การใช้ไขมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน ไม่มีผลต่อความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟ ส่วนการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟมีค่าแตกต่างกัน และมีอิทธิพลร่วมจากการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันร่วมกับการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินที่ต่างกัน

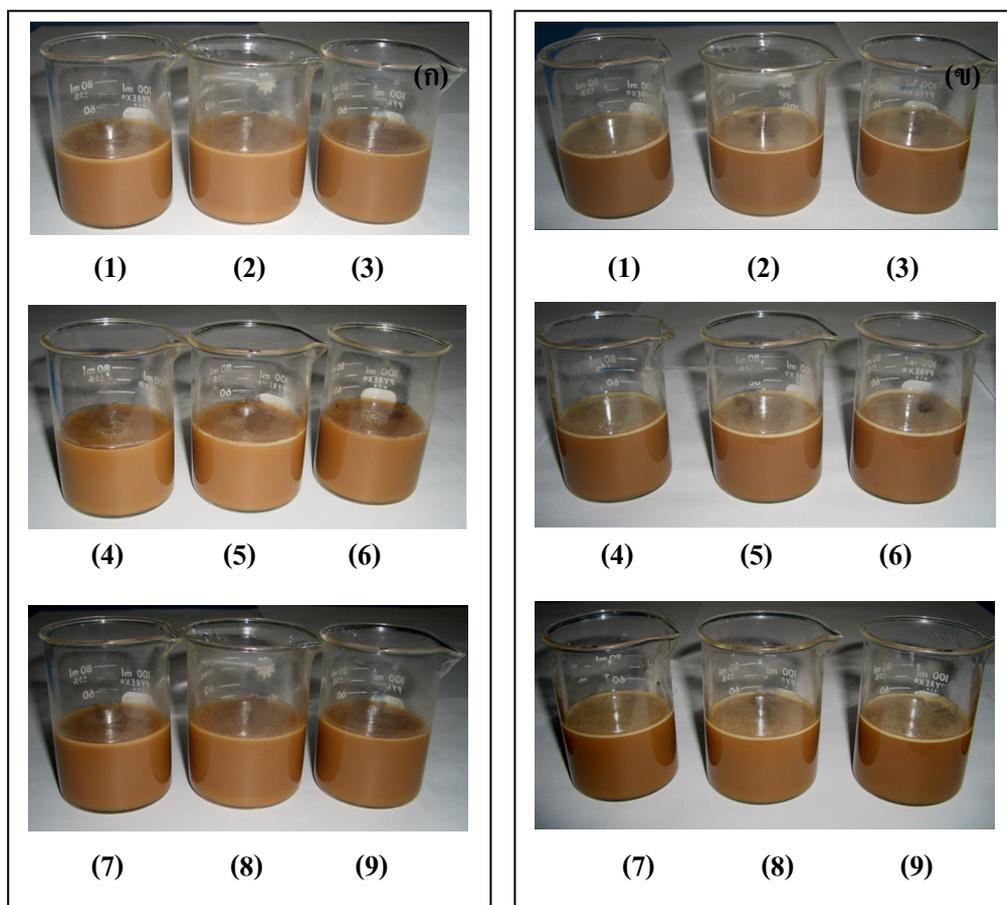
การใช้ไขมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น ครีมเทียมผงให้ค่า ΔL^* ที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้น ส่งผลให้ครีมเทียมผงมีค่า ΔL^* ลดลง เมื่อละลายครีมเทียมผงในสารละลายกาแฟที่มีอุณหภูมิสูง ครีมเทียมเปลี่ยนเป็นของเหลวหรืออิมัลชันอีกครั้ง ทำให้น้ำมันผสมแม้จะมีจุดหลอมเหลวต่างกันก็ไม่มีผลต่อความสว่างหรือความขาวเช่นเดียวกับตอนที่ใช้อิมัลชัน และการใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้น ส่งผลต่อความขาวเช่นเดียวกับเมื่ออยู่ในสภาพของอิมัลชันครีมเทียม คือสูตรที่ใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินน้อย ครีมเทียมผงสามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้มากกว่า เมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินมากขึ้น ส่งผลให้วิฎกภาพของน้ำมีความขุ่นขึ้นมากขึ้น ทำให้แสงกระทบกับอนุภาคน้ำมันได้ยากขึ้น การสะท้อนแสงของน้ำมันซึ่งจะทำให้เห็นเป็นสีขาวจึงเกิดขึ้นได้น้อยลง ส่งผลให้มีความสว่างน้อยลง หรือสามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้น้อยกว่าครีมเทียมผงที่ใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินน้อยกว่า

ความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟของครีมเทียมผง ให้ค่าใกล้เคียงกับความสว่างเมื่ออยู่ในสภาพอิมัลชันครีมเทียม ในสภาพของอิมัลชันสูตรที่ให้ความสว่างมากคือ สูตรที่ 1 4 7 และ 8 เมื่อนำครีมเทียมผงมาหาความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟ พบว่าสูตรที่สามารถให้ความขาวได้มาก คือ สูตรที่ 2 5 4 7 และ 8 จากการสังเกตด้วยสายตา สามารถเห็นความแตกต่างระหว่างความขาวของบางสูตรได้ชัดเจน เช่น สูตรที่ 6 กับสูตรที่ 7 ซึ่งมีความแตกต่างของค่า ΔL^* ที่วัดได้มากกว่า 1 หน่วย สอดคล้องกับการทดลองของ Gruetzmacher and Bradley (1991) ที่ระบุว่าสามารถเห็นความแตกต่างของความขาวได้เมื่อค่า L^* ที่วัดได้มีค่าต่างกันประมาณ 1 หน่วยขึ้นไป

5.2.6 การตกตะกอนของโปรตีน

ทดสอบการตกตะกอนของโปรตีนของครีมเทียมผงทั้ง 9 สูตร หลังจากผสมครีมเทียมในสารละลายกาแฟร้อน 80 องศาเซลเซียส คนให้เข้ากัน 1 นาที 30 วินาที ที่งไว้ที่อุณหภูมิห้อง สังเกตการตกตะกอนของโปรตีนที่ 5 10 15 และ 20 นาที หลังจากผ่านไป 5 นาที พบว่าไม่

เกิดการตกตะกอนของโปรตีน ไม่เกิดฝ้าขาวบริเวณผิวหน้าของสารละลาย และเมื่อผ่านไป 10 นาที ก็ไม่พบการตกตะกอนของโปรตีน แต่เห็นการเกิดชั้นครีมขึ้นเล็กน้อยบริเวณผิวหน้าของสารละลายกาแฟ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ลักษณะของสารละลายกาแฟผสมครีมเทียมชนิดผงสูตรทดลองหลังจากผ่านการละลายนาน 5 นาที (ก) และ 10 นาที (ข)

ครีมเทียมสามารถรักษาความคงตัวโดยไม่แยกชั้นได้ไม่เกิน 10 นาที หลังจากนั้นจะเห็นการแยกชั้นครีมบางๆ บริเวณผิวหน้าของสารละลายกาแฟ และชั้นครีมเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อตั้งสารละลายนาน 15 และ 20 นาที โดยให้ลักษณะใกล้เคียงกันทั้ง 9 สูตร ซึ่งสูตรที่ใช้ น้ำมันผสมจุดหลอมเหลวสูง คือ 48 องศาเซลเซียส เห็นชั้นครีมได้ชัดกว่าตัวอย่างที่ใช้ น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 40 และ 44 องศาเซลเซียส เล็กน้อย

โปรตีน ไขมัน และอิมัลซิไฟเออร์ ส่งผลอย่างมากต่อคุณภาพของครีมเทียมผง เมื่อละลายในสารละลายกาแฟ (Kolar, C.W. *et al.*, 1979) จากการทดลองอิมัลชันครีมเทียมที่ได้มีความคงตัวดี แต่เมื่อผ่านสภาวะการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงทำให้โปรตีนเสียสภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งย่อมส่งผลต่อรูปร่างของโปรตีนที่ดูดซับบนอนุภาคน้ำมัน เมื่อนำครีมเทียมมาละลายในสารละลายกาแฟ โปรตีนต้องอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดและมีอุณหภูมิสูง โปรตีนบางส่วนอาจหลุดออกจากผิวร่วมได้ง่ายขึ้น ทำให้อนุภาคของน้ำมันบางส่วนเกิดการหลวมรวมกัน และเกิดเป็นชั้นครีมบางๆ ขึ้นบนผิวหน้าของสารละลายกาแฟ

การทดลองผลิตอิมัลชันครีมเทียมในการทดลองที่ 4 การใช้อิมัลซิไฟเออร์ 3 ชนิดร่วมกัน อิมัลชันครีมเทียมที่ได้มีความคงตัวดี เมื่อทดสอบการละลายในสารละลายกาแฟ อิมัลชันสามารถละลายได้ทันที สารละลายที่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เกิดการแยกชั้นของอิมัลชันจากสารละลายกาแฟ และไม่พบการตกตะกอนของโปรตีน แต่เมื่อทดสอบการละลายของครีมเทียมผงในสารละลายกาแฟ ต้องคนเป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที เพื่อให้ครีมเทียมกระจายตัวและละลายได้หมด ลักษณะอนุภาคของครีมเทียมส่งผลต่อคุณภาพด้านการละลายของครีมเทียม ครีมเทียมสูตรทดลองที่ได้มีอนุภาคมีลักษณะกลม มีขนาดเล็ก และไม่มีรูพรุน เมื่อละลายในสารละลายกาแฟ สารละลายจึงซึมเข้าอนุภาคได้ยาก และเพราะครีมเทียมมีส่วนประกอบของไขมันสูง ทำให้อนุภาคเปียกน้ำได้ยาก จึงแขวนลอยอยู่บนผิวหน้าของสารละลายต้องใช้การคนช่วย ส่วนครีมเทียมทางการค้าถูกทำให้มีอนุภาคขนาดใหญ่ และมีรูพรุนด้วยกระบวนการแอคโกลเมเรชัน และมีรูปร่างเป็นเหลี่ยม ทำให้มีพื้นผิวสัมผัสกับของเหลวได้มาก จึงสามารถจมตัวได้เร็วและละลายได้ง่ายกว่า โดยไม่ต้องใช้การคนหรือคนเพียงเล็กน้อย

ครีมเทียมที่ได้ทั้ง 9 สูตรเกิดการแยกชั้นหลังจากทิ้งไว้นาน 10 นาที เนื่องจากการผ่านกระบวนการผลิตที่มีอุณหภูมิสูงอาจส่งผลต่อการทำหน้าที่ของอิมัลซิไฟเออร์ เพราะอุณหภูมิสูงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการอิมัลซิไฟน้ำมันของอิมัลซิไฟเออร์ลดลง (McClements, 1999) นอกจากนี้ Kolar, *et al.* (1979) ระบุว่าอิมัลชันของครีมเทียมชนิดแช่แข็งจะทำให้คงตัวในสารละลายกาแฟได้ยากกว่าชนิดเหลว คือต้องเป็นอิมัลชันที่คงตัวมาก เพราะต้องผ่านการแช่แข็งและทำละลาย (freeze-thaw) ก่อนนำไปเติมในกาแฟ ส่วนครีมเทียมที่ผ่านการทำให้แห้งผ่านสภาวะรุนแรงมากกว่าครีมเทียมชนิดแช่แข็งและชนิดเหลว เพราะต้องผ่านการเอาน้ำออก (dehydration) และเติมน้ำเข้าอีกครั้ง (rehydration) หรือทำให้กลับสู่อิมัลชันอีกครั้ง ความคงตัวของครีมเทียมในสารละลายขึ้นกับความสามารถในการรักษาความคงตัวของอิมัลซิไฟเออร์คือโปรตีน

ร่วมกับสารอิมัลซิไฟเออร์ขนาดเล็ก แต่จากการทดลองเมื่อนำครีมเทียมผงมาทดลองละลายในสารละลายกาแฟที่มีความเป็นกรด มีอุณหภูมิสูงและใช้เวลานาน ซึ่งเป็นสภาวะรุนแรงที่ทำให้ลายความคงตัวของอิมัลชัน ทำให้โปรตีนและอิมัลซิไฟเออร์บางส่วนหลุดออกจากอนุภาคน้ำมัน อนุภาคน้ำมันบางส่วนจึงหลอมรวมกัน และเกิดเป็นชั้นครีมบางๆบนผิวหน้าของสารละลายกาแฟ

ครีมเทียมผงที่ได้จากการทดลองทั้ง 9 สูตร มีลักษณะปรากฏใกล้เคียงกัน มีความชื้นร้อยละ 2.8 ถึง 3.2 มีความหนาแน่นต่ำ และมีอนุภาคนขนาดเล็ก ละลายยาก รักษาความคงตัวในสารละลายกาแฟโดยไม่แยกชั้นจากสารละลายกาแฟได้นาน 10 นาที และไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน เหมือนกันทุกสูตร แต่คุณภาพด้านสีและความสามารถในการให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟต่างกัน จึงใช้ความสามารถในการให้ความขาวซึ่งเป็นคุณภาพที่สำคัญนำมาใช้ในการเลือกสูตรที่เหมาะสมของครีมเทียมชนิดผง คือ สูตรที่ 2 4 5 7 และ 8 สามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้ดี และให้ค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาในแง่ของสุขภาพ ควรเลือกสูตรที่ 2 ซึ่งใช้น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 12 การใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวดำมีส่วนของไขมันปาล์มสเตียรินน้อยกว่า ทำให้มีไขมันที่อิ่มตัวน้อยกว่า และเมื่อนำมาละลายในสารละลายกาแฟ เห็นเป็นชั้นครีมได้ยากกว่าการใช้น้ำมันผสมที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า แต่หากพิจารณาในแง่ของอายุการเก็บ ครีมเทียมผงสูตรที่ใช้น้ำมันผสมจุดหลอมเหลวสูงส่งผลดีต่อคุณภาพในการเก็บรักษามากกว่า เพราะโอกาสที่ไขมันหลอมละลาย และเกิดออกซิเดชันได้ยากกว่า อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้องการผลิตครีมเทียมที่ไม่มีกรดไขมันชนิดทรานส์ ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพผู้บริโภค ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่มีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำกว่าสูตรอื่นคือสูตรที่ 2 ซึ่งใช้น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 12 ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.65 และมีไขมันร้อยละ 37

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลจากการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจากโปรตีนมะพร้าว สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สามารถใช้น้ำมันผสมระหว่างไขมันปาล์มสเตียรีนกับน้ำมันปาล์ม โอเลอินแทนน้ำมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบที่ไม่มีกรดไขมันชนิดทรานส์ได้ โดยจุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมขึ้นอยู่กับปริมาณของไขมันปาล์มสเตียรีน ยิ่งใช้ปริมาณปาล์มสเตียรีนมาก ยิ่งทำให้น้ำมันผสมมีจุดหลอมเหลวสูง
2. การใช้สารละลายโปรตีนมะพร้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 สามารถรักษาความคงตัวของอิมัลชันได้ดีกว่าสารละลายโปรตีนมะพร้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 4 6 และ 8 เมื่อใช้ปริมาณโปรตีนมากขึ้นส่งผลให้อิมัลชันมีความคงตัว และมีความสว่างมากขึ้น
3. การเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันด้วยการผสมไดโพลเทสเซียมฟอสเฟตและคาร์ราจีแนน ช่วยปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชันได้ โดยสูตรที่เหมาะสมคือ ไดโพลเทสเซียมฟอสเฟตร้อยละ 0.2 ร่วมกับคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.06
4. สามารถแก้ปัญหาความไม่คงตัวของอิมัลชันได้ด้วยการใช้อิมัลซิไฟเออร์ 3 ชนิดร่วมกัน คือ โมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 0.4 พอลิซอร์เบต 60 ร้อยละ 0.2 และเลซิทีนร้อยละ 0.6 เมื่อทดลองเติมอิมัลชันในสารละลายกาแฟ ไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีน และให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้ 24.72
5. ครีมเทียมชนิดผงจากโปรตีนมะพร้าวทั้ง 9 สูตร มีความชื้นร้อยละ 2.8 ถึง 3.2 มีอนุภาคขนาด 5.0 ถึง 7.0 ไมครอน มีความหนาแน่นบรรจุ 0.3 กรัมต่อมิลลิลิตร สามารถคงตัวในสารละลายกาแฟโดยไม่เกิดชั้นครีมได้นาน 10 นาที และไม่เกิดการตกตะกอนของโปรตีนทุกสูตร แต่สูตรครีมเทียมผงที่สามารถให้ความขาวแก่สารละลายกาแฟได้มากที่สุดและมีกรดไขมันอิ่มตัวน้อยที่สุดคือ สูตรที่ใช้น้ำมันผสมจุดหลอมเหลว 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับมอลโทเดกซ์ทรินร้อยละ 12 ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.65 และมีไขมันร้อยละ 37

ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงคุณภาพด้านการละลายของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมชนิดผงจากโปรตีนมะพร้าว ด้วยการนำไปผ่านกระบวนการแอก โกลเมเรชันเพื่อช่วยให้การละลายของครีมเทียมดีขึ้น

2. เนื่องจากโปรตีนมะพร้าวที่นำมาใช้ผลิตครีมเทียมในงานวิจัยนี้เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันมะพร้าวสด มีคุณสมบัติในการละลายต่ำจึงใช้ได้ปริมาณน้อย อาจปรับปรุงวิธีการเตรียมสารละลายโปรตีน เช่น การตัดแปร โปรตีนด้วยความร้อนร่วมกับการเติมเกลือสเตบิไลซิงซ์ เพื่อให้โปรตีนมะพร้าวสามารถกระจายตัวได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กล้าณรงค์ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____ และจุนธนีย์ วีระเจตปดีชัช. 2545. พจนานุกรม FOOD ADDITIVE สำหรับนักอุตสาหกรรมเกษตร. จาร์พา เทคโนโลยีเซ็นเตอร์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนานพนนท์. 2545. เคมีอาหาร. โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ปาริฉัตร หงสประภาส. 2548. เอกสารคำสอนวิชา 052514 โปรตีนในอาหาร.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2535. เครื่องดื่ม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

วรวรรณ ต้นสกุล. 2550. เครื่องดื่มโปรตีนจากส่วนเหลือจากการผลิตน้ำมันมะพร้าวสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายพิน ธานีฉาย และศิริชัย ส่งเสริมพงษ์. 2550. เอกสารคำสอนปฏิบัติการวิชา 052331

หลักวิศวกรรมอาหาร 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2537. เอกสารคำสอนวิชา FST 482 เทคโนโลยีของไขมันและน้ำมัน

บริโภคน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2543. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 208) พ.ศ. 2543:

ครีม. ใน ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6 ง, กรุงเทพฯ.

- Aisbitt, B. and J.L. Buttriss. 2006. Trans fats-should we be worried? **Br. Nutri. Bull**, 31: 279-281.
- Anonymous. 2006. **Nondairy creamer**. Available Source: http://en.wikipedia.org/wiki/Nondairy_creamer. February 15, 2006.
- _____. 2007. **Coffee creamer**. Available Source: <http://www.made-in-china.com>. December 5, 2007.
- _____. 2008. **Silicon Dioxide: Properties and Applications**. Available Source: http://www.timedomaincvd.com/CVD_Fundamentals/films/SiO2_properties.html. August 10, 2008.
- AOAC. 2000. **Official Method of Analysis**, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C.
- AOCS. 1997. **Official Method and Recommended Practices of the AOCS**. 5th ed. American Oil Chemists' Society. Champaign, Illinois.
- 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.
- Choi, Y.R., E.W. Lusas, and K.C. Rhee. 1982. Formulation of nondairy coffee whiteners with cottonseed protein isolates. **J. Am Oil Chem. Soc.** 59(12): 564-567.
- Gardiner, D.S. 1977. **Nondairy creamer composition**. U.S. patent. 4,046,926.
- Gilmore, C. and D.E. Miller. 1976. **Freeze-thaw stable liquid coffee whitener**. U.S. patent. 3,935,325.

Golde, A.E. and K.A. Schmidt. 2005. Quality of coffee creamers as a function of protein source. **Food Quality**. 28: 46-61.

Gruetzmacher, T.J. and R.L. Bradley .1991. Acid whey as a replacement for sodium caseinate in spray-dried coffee whitener. **J. Dairy Sci.** 74: 2838-2849.

Hagenmaier, R. 1979. Experimental coconut protein products. **J. Am Oil Chem. Soc.** 56: 448-449.

Hudson, B.J.F. 1994. **Biochemistry of food proteins**. Elsevier applied science. , London.

Hung, S.C. and J.F. Zayas. 1991. Emulsifying capacity and emulsion stability of milk protein and corn germ protein four. **J. Food Sci.** 56(5): 1216-1218, 1223.

Jimenez-flores, R. and F.V. Kosikowski. 1986. Nonfat dairy coffee whitener made from ultrafiltered skim milk retentates. **J. Food Sci.** 51(1): 235-236.

Knightly, W.H. 1969. The role of ingredients in the formation of coffee whiteners. **Food. Tech.** 23(171): 37-48.

Kolar, C.W., I.C. Cho and W.L. Watrous. 1979. Vegetable protein application in yogurt, coffee creamer and whip toppings. **J. Am Oil Chem. Soc.** 56: 389-391.

Kulmyrzaev, M., P.C. Silvestre and D.J. McClements. 2000. Rheology and stability of whey protein stabilized emulsions with high CaCl₂ concentrations. **Food Res. Int.** 33: 21-25.

Kwon, K., K.H. Park and K.C. Rhee. 1996. Fractionation and characterization of proteins from coconut (*Cocos nucifera* L.) **J. Am Oil Chem. Soc.** 44: 1741-1745.

Larsson, K. and S.E. Friberg. 1990. **Food Emulsions**. 2nd ed. Marcel Dekker, INC., New York.

- Malundo, T.M.M., A.V.A. Resurreccion., and P.E. Koehler. 1992. Sensory quality and performance of spray-dried coffee whitener from peanuts. **J. Food Sci.** 57 (1): 222-226.
- McClements, D.J. 1990. **Food Emulsion: Principles, Practices, and Techniques.** CRC Press LLC., Florida.
- Nezbed, R.L. and W.H. Zamrow. 1973. **Method for spray drying coffee whitener.** U.S. patent. 3,738,412.
- Onsaard, E., M. Vittayanont, S. Srigan and D.J. McClements. 2005. Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by coconut skim milk proteins. . **J. Agric Food Chem.** 53 (14): 5747-5753.
- Onwulata, C. 2005. **Encapsulated and powdered food.** CRC Press, New York.
- Porby, W.T. 1994. **Lowfat, low cholesterol, and low calorie dairy creamer.** U.S patent. 5,366,751.
- Porter, M.R. 1994. **Handbook of surfactants.** 2nd ed. Chapman & Hall, Glasgow.
- Samson, A.S., C.M. Cater. and K.F. Mattil. 1971. Preparation and Characterization of Coconut Protein Isolate. **Cereal Chem.** 48:182-190.
- Spiller, G.A.1996. **Lipids in Human Nutrition.** CRC Press., New York.
- Spreer, E. 1998. **Milk and dairy product technology.** Marcel Dekker Inc., New York.
- Stauffer, C.E. 1996. **Fats and oils.** Eagan press, Minnesota.

Westergaard, V. 2004. **Milk powder technology evaporation and spray drying**. Niro A/S,
Copenhagen.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. ความชื้น (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง โดยให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด อบอุ่นในตู้อบไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์จนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักและจดบันทึก นำไปอบซ้ำ โดยอบครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักคงที่ (เมื่อผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้สองครั้งติดต่อกันต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม) แล้วคำนวณตามสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้นร้อยละของตัวอย่าง} = 100 \frac{w}{W}$$

w คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่หายไป (กรัม)

W คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

2. โปรตีนโดยวิธีเคลดาล (AOAC, 2000)

1) ชั่งตัวอย่าง 0.5 ถึง 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนลงในกระดาษกรองแล้วพับเป็นรูปของจดหมายปิดให้มิดชิด

2) เติมคอปเปอร์ซัลเฟต 0.8 กรัม โปแตสเซียมซัลเฟต 7 กรัม และ glass bead 2 เม็ด ลงในหลอดย่อย เติมกรดซัลฟิวริก 12 มิลลิลิตร

3) ต่อหลอดย่อยเข้ากับชุดจับไอกรด เสียบปลั๊ก เปิดสวิทช์เครื่องย่อย ตั้งอุณหภูมิที่ 420 องศาเซลเซียส ตั้งหลอดย่อยบน stand ปิด heat shield ยก stand ที่มีหลอดย่อยใส่ลงในหลุมของเตาย่อย ปิดฝาหลอดย่อย (exhaust manifold)

4) เปิดสวิทช์ชุดจับไอกรด (scrubber unit) ที่ด้านข้างเครื่อง ย่อยจนได้สารละลายใส (ใช้เวลาประมาณ 4 ถึง 5 ชั่วโมง) ระหว่างที่ทำการย่อย หากมีบางส่วนกระเด็นขึ้นมาติดที่ข้างหลอดย่อยให้ใช้น้ำกลั่นฉีดไล่ลงไป ย้าย stand พร้อมหลอดย่อยมาตั้งไว้ข้างเครื่องย่อย โดยยังไม่ถอดฝาหลอดย่อย

5) รอให้ไอกรดหมดก่อน ทิ้งให้เย็น เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อยแต่ละหลอด แล้วนำไปกลั่น

6) นำ flask ที่บรรจุกรดบอริกร้อยละ 4 ปริมาณ 25 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ลงไป 2 ถึง 3 หยด ตั้งไว้ที่ตำแหน่งที่รองรับของเครื่องกลั่น และเลื่อนฐานขึ้นให้ปลายแท่งแก้วจุ่มอยู่ในสารละลาย

7) ใส่หลอดตัวอย่างที่ย่อยแล้วตามข้อ 6 เข้ากับเครื่องกลั่น ปิดหน้าต่างป้องกันลงมา โยกลั่นโยกลงมาจนสุดซึ่งจะเท่ากับ 50 มิลลิลิตร เปิด steam โดยโยกลั่นโยกของ steam ไปที่ตำแหน่งเปิด (open)

8) ตั้งเวลาที่ใช้ในการกลั่น 3 นาที เมื่อครบเวลา เลื่อนคันโยกของ steam ไปที่ตำแหน่งปิด (close) เลื่อนหน้าต่างป้องกันขึ้น นำ flask รองรับไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล จนได้สีเทา จดปริมาตรกรดที่ใช้นำไปคำนวณตามสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)} = \frac{(A - B) \times N \times 14.007 \times F}{W}$$

กำหนดให้ A = ปริมาตรกรดที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรกรดที่ใช้ไทเทรตกับแบลนค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรด (นอร์มัล)

F = แฟกเตอร์ (เท่ากับ 6.25)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3. ปริมาณไขมันโดยวิธี Babcock

นำตัวอย่างครีมผง 1 กรัม มาละลายน้ำกลั่น 99 มิลลิลิตร จากนั้นดูดตัวอย่าง 9 กรัม ใส่ในขวดหาไขมัน (babcock) ตวงกรดซัลฟิวริก 17.5 มิลลิลิตร แล้วแบ่งเทลงในขวดหาไขมัน 7 ถึง 8 ครั้ง แต่แต่ละครั้งค่อยๆ เติม และเขย่าขวดโดยการแกว่งช้าๆ ไปรอบๆ ให้ของเหลวผสมกันดีจึงเติมกรดครั้งต่อไปจนหมด ใส่ขวดหาไขมันลงในเครื่องหมุนเหวี่ยง Gerber centrifuge หมุนเหวี่ยงที่ 1,100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เติมน้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ลงในขวดจนระดับของเหลวขึ้นมาอยู่ในคอขวด แล้วเปิดเครื่องหมุนเหวี่ยงต่ออีก 1 นาที นำขวดออกมาแช่ในเครื่องอ่างไอน้ำ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 นาที แล้วอ่านผล

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ข1 การวิเคราะห์ดัชนีการเกิดคริมของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 3)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
between groups	20.444	4	5.111	41.099	0.000*
within groups	3.109	25	0.124		
total	23.553	29			

ตารางผนวกที่ ข2 การวิเคราะห์ความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 3)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
between groups	5444.054	4	1361.014	2273.593	0.000*
within groups	14.965	25	0.599		
total	5459.019	29			

ตารางผนวกที่ ข3 การวิเคราะห์ค่า L* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 3)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
between groups	166.212	4	41.553	90.395	0.000*
within groups	11.492	25	0.460		
total	177.704	29			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ข4 การวิเคราะห์ค่าดัชนีการเกิดคริมของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 4)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
dipotassium phosphate	2986.235	2	1493.117	281.584	0.000*
carrageenan	382.035	2	191.018	36.024	0.000*
phosphate * carrageenan	118.134	4	29.534	5.570	0.001*
error	238.616	45	5.303		
corrected total	3725.020	53			

ตารางผนวกที่ ข5 การวิเคราะห์ความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 5)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
dipotassium phosphate	50.030	2	25.015	217.829	0.000*
carrageenan	36.115	2	18.058	157.244	0.000*
phosphate *carrageenan	18.133	4	4.533	39.476	0.000*
error	3.101	27	0.115		
corrected total	107.379	35			

ตารางผนวกที่ ข6 การวิเคราะห์ค่า L* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 6)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
dipotassium phosphate	9.476	2	4.738	5.784	0.006*
carrageenan	2.444	2	1.222	1.492	0.236 ^{ns}
phosphate *carrageenan	1.418	4	0.354	0.433	0.784 ^{ns}
error	36.864	45	0.819		
corrected total	50.203	53			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ข7 การวิเคราะห์ค่าความคงตัวของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 7)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
between groups	5.700	2	2.850	11.152	0.004*
within groups	2.300	9	0.256		
total	8.000	11			

ตารางผนวกที่ ข8 การวิเคราะห์ค่า L^* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 7)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
between groups	0.465	2	0.233	4.957	0.035*
within groups	0.422	9	0.047		
total	0.887	11			

ตารางผนวกที่ ข9 การวิเคราะห์ค่า ΔL^* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 7)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
between groups	8.520	2	4.260	172.731	0.000*
within groups	0.222	9	0.025		
total	8.742	11			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ข10 การวิเคราะห์ค่า L* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 8)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
melting point (mp)	0.796	2	0.398	2.199	0.123 ^{ns}
maltodextrin	3.228	2	1.614	8.918	0.001*
mp *maltodextrin	0.094	4	0.024	0.130	0.971 ^{ns}
error	8.145	45	0.181		
corrected total	12.263	53			

ตารางผนวกที่ ข11 การวิเคราะห์ค่า a* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 9)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
melting point (mp)	0.199	2	0.099	2.555	0.089 ^{ns}
maltodextrin	0.024	2	0.012	0.314	0.732 ^{ns}
mp *maltodextrin	0.112	4	0.028	0.721	0.582 ^{ns}
error	1.752	45	0.039		
corrected Total	2.087	53			

ตารางผนวกที่ ข12 การวิเคราะห์ค่า b* ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 10)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
melting point (mp)	2	2	0.791	1.096	0.343 ^{ns}
maltodextrin	2	2	0.345	0.478	0.623 ^{ns}
mp *maltodextrin	4	4	1.188	1.647	0.179 ^{ns}
error	45	45	0.722		
corrected total	39.502	53			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ข13 การวิเคราะห์ค่า E ของอิมัลชันครีมเทียม (ผลการทดลองในตารางที่ 11)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
melting point (mp)	0.748	2	0.374	2.185	0.124 ^{ns}
maltodextrin	2.065	2	1.033	6.029	0.005*
mp *maltodextrin	0.275	4	0.069	0.401	0.807 ^{ns}
error	7.708	45	0.171		
corrected total	10.796	53			

ตารางผนวกที่ ข14 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 12)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
melting point (mp)	4.837	2	2.419	0.846	0.436 ^{ns}
maltodextrin	2.730	2	1.365	0.477	0.624 ^{ns}
mp *maltodextrin	1.249	4	0.312	0.109	0.979 ^{ns}
error	128.699	45	2.860		
corrected total	137.516	53			

ตารางผนวกที่ ข15 การวิเคราะห์ความหนาแน่นบรรจุของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 13)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
melting point (mp)	0.001	2	0.000	0.789	0.460 ^{ns}
maltodextrin	0.003	2	0.001	2.226	0.120 ^{ns}
mp *maltodextrin	0.000	4	2.50E-005	0.042	0.996 ^{ns}
error	0.027	45	0.001		
corrected total	0.030	53			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ข16 การวิเคราะห์ค่า L* ของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 14)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
melting point (mp)	1.810	2	0.905	13.887	0.000*
maltodextrin	1.009	2	0.505	7.742	0.001*
mp *maltodextrin	1.830	4	0.457	7.019	0.000*
error	2.932	45	0.065		
corrected total	7.581	53			

ตารางผนวกที่ ข17 การวิเคราะห์ค่า a* ของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 15)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
melting point (mp)	0.377	2	0.189	22.621	0.000*
maltodextrin	0.005	2	0.002	0.270	0.765 ^{ns}
mp *maltodextrin	0.033	4	0.008	1.002	0.417 ^{ns}
error	0.375	45	0.008		
corrected total	0.791	53			

ตารางผนวกที่ ข18 การวิเคราะห์ค่า b* ของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 16)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
melting point (mp)	0.530	2	0.265	1.333	0.274 ^{ns}
maltodextrin	1.023	2	0.512	2.573	0.088 ^{ns}
mp *maltodextrin	3.404	4	0.851	4.278	0.005*
error	8.951	45	0.199		
corrected total	13.909	53			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ข19 การวิเคราะห์ค่า E ของครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 17)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
melting point (mp)	1.629	2	0.815	12.115	0.000*
maltodextrin	1.140	2	0.570	8.479	0.001*
mp *maltodextrin	2.094	4	0.524	7.787	0.000*
error	3.026	45	0.067		
corrected total	7.890	53			

ตารางผนวกที่ ข20 การวิเคราะห์ค่า ΔL^* ของสารละลายกาเฟอีนผสมครีมเทียมชนิดผง (ผลการทดลองในตารางที่ 18)

Source of Variance	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
melting point (mp)	0.513	2	0.256	0.538	0.588 ^{ns}
maltodextrin	19.808	2	9.904	20.769	0.000*
mp *maltodextrin	12.865	4	3.216	6.745	0.000*
error	21.459	45	0.477		
corrected total	54.644	53			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางปริญญา จิยพงศ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 25 กรกฎาคม 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยทักษิณ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิทยาศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี