การผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผงจากวุ้นมะพร้าว และการประยุกต์ใช้ทดแทนไขมันในเค้กเนย

THE PRODUCTION OF BACTERIAL CELLULOSE POWDER FROM NATA DE COCO AND APPLICATION AS FAT REPLACER IN BUTTER CAKE

กาญจนา มะห์มูดี
กิตติภูมิ สายจันทร์
นัฏฐนันท์ นะวัว

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE PRODUCTION OF BACTERIAL CELLULOSE POWDER FROM NATA DE COCO AND APPLICATION AS FAT REPLACER IN BUTTER CAKE

KANJANA MAMUDEE
KITTIPOOM SAICHAN
NATTANAN NAWUA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (BIOTECHNOLOGY)
DEPARTMENT OF BIOLOGY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	**การผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผงจากวุ้นมะพร้าวและการประยุกต์ใช้ทดแทนไขมันในเค้กเนย** The production of bacterial cellulose powder form nata de coco and application as fat replacer in butter cake
ชื่อนักศึกษา	**นางสาวกาญจนา มะห์มูดี้ รหัสนักศึกษา 58050711** **นายกิตติภูมิ สายจันทร์ รหัสนักศึกษา 58050712** **นางสาวนัฏฐนันท์ นะวัว รหัสนักศึกษา 58050770**
ปริญญา	**วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)**
ภาควิชา	ชีววิทยา
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ลินจง สุขลำภู

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดวงใจ โอชัยกุล ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์ กรรมการ	
ผศ.ลินจง สุขลำภู กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผงจากวุ้นมะพร้าวและการประยุกต์ใช้ทดแทนไขมันในเค้กเนย The production of bacterial cellulose powder form nata de coco and application as fat replacer in butter cake
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกาญจนา มะห์มูดี้ รหัสนักศึกษา 58050711 นายกิตติภูมิ สายจันทร์ รหัสนักศึกษา 58050712 นางสาวนัฏฐนันท์ นะวัว รหัสนักศึกษา 58050770
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชา	ชีววิทยา
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ลินจง สุขลำภู

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผงจากวุ้นมะพร้าวเพื่อใช้เป็นสารทดแทนไขมันในเค้กเนย จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผงพบว่า เซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับค่าความเป็นกรดด่างให้เท่ากับ 7 ก่อนนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน (pH 7-TD) มีลักษณะเป็นผงสีขาวอมเหลือง มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และความสามารถในการพองตัวเท่ากับ 10.67±0.21 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง, 8.24±0.03 กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง และ 32.17±0.72 มิลลิตรต่อกรัมตามลำดับ จากนั้นศึกษาผลของการใช้ความร้อนต่อคุณสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสผง โดยเปรียบเทียบการใช้ความร้อนชื้นร่วมกับความดัน (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที การต้มในน้ำเดือด (Boiling) เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าการให้ความร้อนมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และความสามารถในการพองตัวสูงกว่าไม่ใช้ความร้อน อย่างไรก็ตาม pH 7-TD มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด (10.16±0.21 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง) มีใยอาหารที่ละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำในปริมาณร้อยละ 78.694 และ 18.066 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผง pH 7-TD มาศึกษาการทดแทนไขมันในเค้กเนย โดยแปรปริมาณเป็นร้อยละ 0, 10 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่า เมื่อทดแทนแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) ปริมาตรจำเพาะ และปริมาณไขมันในเค้กเนยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเนยที่ได้ พบว่ามีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าอัตราการคืนรูปมีแนวโน้มลดลง ในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าเท่ากับ 1.05±0.02, 1.32±0.09 และ 1.36±0.12 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ และความสามารถในการอุ้มน้ำมันมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.40±0.08, 0.51±0.06 และ 0.64±0.03 กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า สามารถใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงในการทดแทนไขมันบางส่วนในเค้กเนยได้ไม่เกินร้อยละ 10 จากการที่มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

คำสำคัญ : แบคทีเรียเซลลูโลสผง วุ้นมะพร้าว การทดแทนไขมัน เค้กเนย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	The production of bacterial cellulose powder form nata de coco and application as fat replacer in butter cake
Students	Kanjana Mamudee Student ID 58050711
	Kittipoom Saichan Student ID 58050712
	Nattanan Nawua Student ID 58050770
Degree	Bachelor of Science (Biotechnology)
Department	Biology
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Acadamic Year	2018
Advisor	Assist.Prof. Linchong Suklampoo

Abstract

The purposes of this study were to determine the optimal conditions suitable for the production of bacterial cellulose powder from nata de coco and use as a fat replacer in butter cake. According to the study of the optimal conditions for producing bacterial cellulose powder, it was found that cellulose powder obtained from pH 7 adjustment before tray drying (pH 7-TD) was a yellowish white powder. Its water holding capacity, oil holding capacity and swelling capacity were equal to 10.67±0.21 g water/ g sample, 8.24±0.03 g oil/ g sample and 32.17±0.72 mL/g, respectively. Then, the thermal effect on quality of bacterial cellulose powder was studied by comparison of moist heat (autoclave; 121 °C 15 min), boiling in water (2 hours) and non-thermal treatment (1 hour). Thermal treatment has effects on the oil holding capacity and swelling capacity. However, non-thermal treatment bacterial cellulose powder (pH 7-TD) has the highest water holding capacity (10.16±0.21 g water/ g sample) and it has soluble fiber and insoluble fiber of 78.694% and 18.066%, respectively. Therefore, pH 7-TD bacteria cellulose powder was selected for studying as a fat replacer in butter cake by replacing butter in the amount of 0%, 10% and 20% by weight. When replacing with bacterial cellulose powder increased, the effect on brightness (L*), specific volume and amount of fat in the butter cake significantly reduced ($P \leq 0.05$). From the texture profiles of the butter cake, it was found that the hardness was also increase and the springiness was likely to decline. The water holding capacity of 0%, 10% and 20% bacterial cellulose powder replacing butter cake was 1.05±0.02 g water/ g sample, 1.32±0.09 g water/ g sample and 1.36±0.12 g water/ g sample, respectively, and oil holding capacity of each sample was 0.40±0.08 g oil/ g sample (0%), 0.51±0.06 g oil/ g sample (10%) and 0.64±0.03 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

oil/ g sample (20%), respectively, which were increased. The sensory test results showed that bacterial cellulose powder can be used for the replacement of ≤ 10 % butter in butter cakes because the overall liking score was not significantly different from the standard formula (P≤0.05).

Keyword : Bacterial cellulose powder, Nata de coco, Fat replacer, Butter cake

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จไปด้วยดีด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ผศ.ลินจง สุขลำภู ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของคณะผู้จัดทำ ที่ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ ปรับปรุงแก้ไขงานด้วยความเอาใจใส่ตลอดจนให้ความรู้และความช่วยเหลือหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบคุณ รศ.ดวงใจ โอชัยกุล และ ผศ.ดร.วรภัทร์ สงวนไชยไผ่วงศ์ ที่เสียสละเวลามาเป็นประธานและกรรมการสำหรับการสอบครั้งนี้รวมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และตรวจสอบข้อผิดพลาด ชี้แนะแนวทางในการแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบคุณสำหรับความห่วงใยและกำลังใจจากครอบครัวซึ่งเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยห่วงใยสนับสนุนการศึกษาเป็นแรงใจสำคัญของคณะผู้จัดทำ ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจร่วมทุกข์ร่วมสุขและให้ความช่วยเหลือเกื้อกูลตลอดมา จนทำให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานพิเศษฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจและนำไปศึกษาไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใดคณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

กาญจนา มะห์มูดี้
กิตติภูมิ สายจันทร์
นัฏฐนันท์ นะวัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) 5
2.1.1 ประเภทของเส้นใยอาหาร 5
2.2 แบคทีเรียเซลลูโลส (Cellulose) 7
2.2.1 แบคทีเรียเซลลูโลสจากพืช 8
2.2.2 แบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย 9
2.2.3 ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย 10
2.2.4 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย 11
2.3 ประโยชน์ของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย 12
2.3.1 ประโยชน์ทางด้านอาหาร 12
2.3.2 ประโยชน์ทางด้านการแพทย์ 13
2.3.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม 14
2.4 การทำแห้ง (dehydration) 14
2.4.1 หลักการพื้นฐานของการทำแห้ง 15
2.4.2 การทำให้อาหารแห้งโดยธรรมชาติ 15
2.4.3 การทำให้อาหารแห้งด้วยวิธีเชิงกล 16
2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง 22
2.4.5 ประโยชน์ของการทำแห้ง 23
2.5 เค้ก (Cake) 23
2.5.1 ประเภทของเค้ก 23
2.5.2 เค้กเนย (Butter cake) 24
2.5.3 ส่วนผสมหลักของเค้กเนยสด 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 สารทดแทนไขมัน 28
2.6.1 หน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของไขมัน 28
2.6.2 การใช้สารทดแทนไขมัน (Formulation optimization) 29
2.6.3 การแบ่งชนิดของสารทดแทนไขมัน (Classification of fat replacers) 29
2.6.4 ประเภทของสารทดแทนไขมันที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร 30
2.6.5 การจัดจำแนกชนิดเพื่อระบุปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ 31
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 35
3.1 วัสดุอุปกรณ์ 35
3.1.1 วัตถุดิบ 35
3.1.2 สารเคมี 35
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ 36
3.2 วิธีการทดลอง 37
3.2.1 การเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (paste) จากวุ้นมะพร้าว 37
3.2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสผง 37
3.2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และ 39
คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่มีคุณสมบัติที่ดีจาก
ข้อ 3.2.2 กับแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้ง
แบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)
3.2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และ 39
คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผง
3.2.5 การประยุกต์ใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงเป็นสารทดแทนไขมันผลิตภัณฑ์ 45
เค้กเนย
3.2.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติ 48
เชิงหน้าที่ และการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของ
ผลิตภัณฑ์เค้กเนย
3.3 วิเคราะห์ผลทางสถิติ 50
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 51
4.1 คุณลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (Paste) 51
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสผง 52
4.2.1 การศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อคุณสมบัติของแบคทีเรีย 52
เซลลูโลสผง
4.2.2 การศึกษาความเป็นกรด-ด่างร่วมกับการให้ความร้อนต่อคุณสมบัติ 61
ของแบคทีเรียเซลลูโลสผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.3 การเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยา คุณสมบัติทางกายภาพ..... 67
คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผง
ที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่าน
การทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) และแบคทีเรีย
เซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)
4.3 การประยุกต์ใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงเป็นสารทดแทนไขมันผลิตภัณฑ์เค้กเนย..... 73
4.3.1 ลักษณะสีของเนื้อเค้ก และเซลล์ของเค้กเนยที่ทดแทนไขมันบางส่วน..... 74
4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเค้กเนย..... 76
4.3.3 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน..... 79
ของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ
4.3.4 การทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่มีการ..... 80
ทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณต่างๆ
4.3.5 ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไขมันในเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมัน..... 82
ด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณต่างๆ
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 84
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 84
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 85
เอกสารอ้างอิง..... 86
ภาคผนวก..... 91
ภาคผนวก ก..... 92
ภาคผนวก ข..... 95
ภาคผนวก ค..... 96
ภาคผนวก ง..... 116
ภาคผนวก จ..... 152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ปริมาณส่วนผสมของเค้กเนยสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0) และสูตรที่ใช้แบคทีเรีย..... 46
เซลลูโลสผงทดแทนเนยสดบางส่วนในปริมาณร้อยละ 10-20

4.1 ปริมาณความชื้น ค่าสี และความเป็นกรด-ด่าง ของแผ่นวุ้นมะพร้าวและแบคทีเรีย..... 52
เซลลูโลสชนิดข้น

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่าง..... 56

4.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการพองตัว..... 59
(Swelling capacity) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ของแบคทีเรีย
เซลลูโลสผง

4.4 คุณสมบัติทางกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง..... 64
เท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

4.5 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการ..... 66
พองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ของ
แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

4.6 คุณสมบัติทางกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความ..... 69
เป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD)
และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

4.7 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความ..... 70
เป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD)
และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

4.8 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการ..... 72
พองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption)
ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7
และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผง
ทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

4.9 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพ..... 73
ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด
(pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
(pH 4-FD)

4.10 ค่าสีของเนื้อเค้กเนยที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณต่างๆ..... 77

4.11 คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ..... 78

4.12 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันใน..... 79
ปริมาณต่างๆ

4.13 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเค้กเนย..... 80
ที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.14 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่มี..... 81
การทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของแบคทีเรียเซลลูโลส	8
2.2 แสดงองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช	9
2.3 แสดงลักษณะของแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย	9
2.4 แสดงตัวอย่างการนำวุ้นมะพร้าวมาทำผลิตภัณฑ์อาหาร	13
2.5 แสดงตัวอย่างแผ่นปิดแผลจากวุ้นมะพร้าว	13
2.6 แสดงตัวอย่างกระดาษคาร์บอนผสมวุ้นมะพร้าว	14
2.7 หลักการการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	18
2.8 ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	19
2.9 การเรียงตัวของโมเลกุลอาหารในไมโครเวฟ	20
2.10 ลักษณะของเค้กเนย	24
2.11 ประเภทของสารทดแทนไขมัน	30
3.1 ขั้นตอนการผลิตเค้กเนย	47
4.1 ลักษณะของแผ่นวุ้นมะพร้าวและลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (Paste)	51
4.2 ลักษณะของแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพและอบแห้ง แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 และแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 10	53
4.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจะเห็นลักษณะของเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยวิธีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างและผ่านการบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด Pin-mill และถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T กำลังขยาย 1000 µm	55
4.4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของแบคทีเรียเซลลูโลสผงแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่าง	58
4.5 ปริมาณความชื้นของแบคทีเรียเซลลูโลสผงแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่าง	58
4.6 ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน	62
4.7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจะเห็นลักษณะของเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากการปรับสภาพความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน และถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T กำลังขยาย 1000 µm	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่า..... 68
ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (Tray dry)
และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ปรับสภาพ
ความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4 และถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่
ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T
กำลังขยาย 1000 µm
4.9 ภาพตัดขวางของเค้กเนยที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณร้อยละ 0 ร้อยละ 10..... 74
และร้อยละ 20
4.10 ลักษณะของเนื้อเค้กที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณร้อยละ 0 ร้อยละ 10 (b)..... 75
และร้อยละ 20 (c) โดยละเอียดโดยใช้การส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ
ที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T
กำลังขยาย 1000 µm
4.11 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันบางส่วน..... 76
ด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณร้อยละ 10-20
4.12 ปริมาณไขมันในเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ..... 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วุ้นมะพร้าว (Nata de coco) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระบวนการหมักน้ำมะพร้าว โดยแบคทีเรียกรดน้ำส้ม (Acetic acid bacteria) ที่มีชื่อเรียกว่า *Acetobacter xylinum* หรือจัดประเภทใหม่เป็น *Gluconacetobacter xylinus* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปแท่งและได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางเนื่องจากเป็นผู้ผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสขนาดใหญ่ ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหมักของแบคทีเรียกรดน้ำส้มคือ โพลิแซคคาร์ไรด์ หรือที่เรียกว่า "วุ้นมะพร้าว" ซึ่งเป็นสารจำพวกแบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial cellulose) ที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานของผนังเซลล์พืช ยูคาริโอตและสาหร่าย และยังพบเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ของเชื้อรา มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเบต้า-1,4 ไกลโคซิดิค (β-1,4 glycosidic bond) (Moosavi-Nasab และ Yousefi, 2010)

จากคุณสมบัติและลักษณะโครงสร้างทางเคมีของวุ้นมะพร้าว เมื่อมนุษย์รับประทานเข้าไปในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์จะไม่มีน้ำย่อยหรือเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายวุ้นมะพร้าวนี้ได้ ดังนั้น วุ้นมะพร้าวจึงถูกจัดเป็นสารอาหารประเภทเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) และมีความน่าสนใจมากขึ้นสำหรับในการใช้งานที่หลากหลาย อย่างเช่น การผลิตผิวหนังเทียม การทำเทคโนโลยีหน้าจอแสดงผลที่ยืดหยุ่น ตัวเสริมแรงแบบคอมโพสิต (George และคณะ, 2012) กระดาษอิเล็กทรอนิกส์ (Jonas และ Farch, 1998) และใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อการลดน้ำหนัก และเป็นประโยชน์ในด้านการส่งเสริมและช่วยระบบขับถ่าย ตลอดจนสามารถนำมาแปรรูปหรือประยุกต์ใช้เป็นอาหาร หรือส่วนประกอบของอาหารคาวหวานได้มากมายหลายชนิด เช่น ยำ หรือใช้แทนปลาหมึก หรือแมงกะพรุนในอาหารประเภทต่างๆ วุ้นลอยแก้ว รวมมิตร โยเกิร์ต ไอศกรีม และเยลลี่ เป็นต้น นอกจากนี้ มีรายงานการใช้แบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียเป็นส่วนผสมของอาหาร คือ ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickening) การเกิดเจล (gelling) ให้ความคงตัว (stabilizing) และการจับกับน้ำ (water-binding) เช่น จากงานวิจัยของ Okiyama และคณะ (1992) และ Okiyama และคณะ (1993) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการใช้แบคทีเรียเซลลูโลสในการปรับปรุงการไหลของอาหาร เช่น ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด หลังจากเติมแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียลงในเครื่องปรุงรสในผลิตภัณฑ์เพสตรี พบว่าแบคทีเรียเซลลูโลสทำให้ความข้นหนืดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังใช้แบคทีเรียเซลลูโลสเป็นสารให้ความคงตัวโดยผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของแบคทีเรียเซลลูโลสจะสามารถกักเก็บความชื้นไว้ได้อย่างน้อยที่สุด 1 เดือน และนอกจากนี้ไอศกรีมที่มีส่วนผสมของแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลสยังสามารถรักษารูปทรงไว้ได้ 60 นาทีหลังจากเอาออกมาจากสภาวะแช่แข็ง ในขณะที่ไอศกรีมชุดควบคุมนั้นละลายจนหมดในช่วงเวลาเดียวกันและได้ทำการทดลองใช้แบคทีเรียเซลลูโลสเป็นสารที่ทำให้เกิดเจล โดยพบว่าการเติมแบคทีเรียเซลลูโลสร้อยละ 0.2–0.3 มีผลต่อความแข็งแรงของเจลของเต้าหู้ (Tofu) ทำให้เนื้อสัมผัสดีขึ้น และมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจเรื่องสุขภาพกันมากขึ้นจึงมีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันต่ำ ซึ่งการลดปริมาณไขมันในอาหารนั่นอาจทำได้ยากโดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เนื่องจากไขมันทำให้อาหารมีกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสที่ดี ทำให้เกิดความนุ่มและชุ่มชื้นในเค้ก ให้กรดไขมันที่จำเป็น และเป็นตัวทำละลายวิตามินที่ละลายในไขมัน โดยไขมันแต่ละชนิดนั้นยังทำให้มีลักษณะเพาะของอาหารที่แตกต่างกันออกไปเนื่องจากไขมันมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เฉพาะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ลักษณะโครงสร้าง การละลาย การแข็งตัว และการจับตัวกับน้ำ โดยการใช้สารทดแทนไขมันนั้นอาจทำให้คุณลักษณะบางประการของผลิตภัณฑ์อาหารเปลี่ยนแปลงไปจึงมีรายงานการศึกษาการใช้ใยอาหารในการนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับสูตรดั้งเดิมมากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น การใช้เยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟทดแทนไขมันในสูตรเค้ก พบว่าสามารถใช้ทดแทนไขมันได้ถึงร้อยละ 30 ในสูตรเค้กเพื่อปรับปรุงเค้กให้มีปริมาณเส้นใยที่สูงโดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของเค้กอย่างมีนัยสำคัญ (Ates และ Elmaci, 2018) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้ Equacia ในการทดแทนไขมันบางส่วนในผลิตภัณฑ์เค้กเนย พบว่าเค้กเนยที่ทดแทนไขมันบางส่วนด้วยสาร Equacia ที่ระดับร้อยละ 1.5 มีปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหาร และเถ้าใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน ในขณะที่ปริมาณไขมันและค่าพลังงานลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (จิรนาถ และนนทิภา, 2553)

การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (tray drier) เป็นการกำจัดน้ำออกโดยอาศัยการระเหยของน้ำออกอย่างช้าๆ โดยอาศัยลมร้อนในการพาโมเลกุลของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ค่อนข้างสูง จึงทำมีข้อจำกัดบางประการคือ คุณลักษณะทางด้านสี และสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการบางประการของอาหารแต่มีข้อดีคือค่าใช้จ่ายไม่มาก ในขณะที่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะใช้อุณหภูมิต่ำในการดึงเอาโมเลกุลของน้ำออก อาศัยหลักการระเหิดของน้ำจากสถานะของแข็งกลายเป็นไอ ซึ่งวัตถุดิบที่จะนำมาทำแห้งต้องอยู่ในสภาพเยือกแข็ง และใช้หลักการลดความดันร่วมด้วย ข้อดีของการทำแห้งโดยวิธีนี้คือสามารถรักษาสี และคุณลักษณะและคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบไว้ได้เนื่องจากใช้อุณหภูมิที่ใช้ต่ำ แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ มีค่าใช้จ่ายสูง เมื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของทั้งสองวิธีนี้แล้ว การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน แต่การอบแห้งแบบลมร้อนจะใช้ระยะเวลาและขั้นตอนสั้นกว่าการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และมีต้นทุนที่ต่ำกว่า

ถึงแม้ว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะเป็นวิธีการที่ได้ผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับของสด แต่มีต้นทุนที่สูง ดังนั้นโครงงานพิเศษนี้ จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผง โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบถาด เพื่อลดต้นทุนการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผง โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ได้แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ใกล้เคียงกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และนำแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้ไปทดลองใช้เป็นสารเจือปนในการทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เค้กเนยโดยศึกษาปริมาณของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เค้กเนยที่ลดปริมาณไขมันลง โดยยังมีคุณลักษณะของเค้กเนยที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเพื่อเป็นอีกทางเลือกให้ผู้ที่ให้ความสนใจในเรื่องสุขภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผงจากวุ้นมะพร้าวโดยใช้วิธีการอบแห้งแบบถาด (Tray dry) ได้แก่ ศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างและศึกษาผลของการใช้ความร้อนร่วมกับความเป็นกรด-ด่างต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้

2) เปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ คุณสมบัติทางด้านเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่มีคุณสมบัติที่ดีจากการทำแห้งแบบถาด (Tray dry) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทางการค้า (Freeze dry)

3) ศึกษาปริมาณแบคทีเรียเซลลูโลสผงในการทดแทนไขมัน (Fat replacer) ในผลิตภัณฑ์เค้กเนย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผงจากวุ้นมะพร้าว โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผง ได้แก่ การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เป็น 4, 7 และ 10 และ การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างร่วมกับการใช้ความร้อน โดยใช้หม้อนึ่งแรงดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที และใช้วิธีการต้ม ที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ โดยเปรียบเทียบกับแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และทดลองนำแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีไปใช้ทดแทนเนยสดบางส่วนในผลิตภัณฑ์เค้กเนยในปริมาณร้อยละ 0, 10 และ 20 เพื่อหาปริมาณของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่เหมาะสมที่ทำให้ได้เค้กเนยที่สามารถลดไขมันโดยยังมีคุณลักษณะของเค้กเนยที่ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) หาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผงโดยใช้วิธีการอบแห้งแบบถาด (Tray dry) ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry)

2) ได้แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผลิตจากวุ้นมะพร้าวที่มีต้นทุนต่ำและมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารจากธรรมชาติ แทนวัตถุเจือปนอาหารจากสารเคมี

3) ทำให้ทราบปริมาณที่เหมาะสมของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ใช้แทนไขมันในการผลิตเค้กเนยสูตรการลดไขมัน แต่ยังคงคุณลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์ไว้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) (กนกวรรณ และนภาวรรณ, 2547)

เส้นใยอาหารหรือที่รู้จักกันในชื่อของ "ไฟเบอร์" (fiber) คือ ส่วนที่เหลือของเซลล์พืช หลังจากการย่อยโดยเอนไซม์และผ่านระบบทางเดินอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่งเป็นคำจำกัดความทางสรีรวิทยาที่สื่อถึงความสัมพันธ์ของกระบวนการย่อยภายในระบบทางเดินอาหาร เส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบที่น้ำย่อยในร่างกายของคนไม่สามารถย่อยได้ แต่มีจุลินทรีย์บางชนิดในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยได้ โดยเฉพาะส่วนที่เป็นเพคติน ใยอาหารจากพืชโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนที่เป็น คาร์โบไฮเดรต คือ แบคทีเรียเซลลูโลส เฮมิแบคทีเรียเซลลูโลส และเพคติน อีกทั้งส่วนของพืชที่เรียกว่า มิวซิเลจ (mucilage) และกัม (gum) ก็จัดเป็นเส้นใยอาหารด้วยเช่นกัน และส่วนที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต คือ ลิกนิน โดยใยอาหารนี้จะไม่มีส่วนประกอบที่เป็นสารอาหารอยู่เลยจึงไม่สามารถให้พลังงานกับร่างกาย ส่วนเยื่อใย (crude fiber) คือ ส่วนของพืชที่ไม่ถูกย่อยสลายด้วยสารละลายของกรดและด่าง ซึ่งประกอบไปด้วย แบคทีเรียเซลลูโลส เฮมิแบคทีเรียเซลลูโลส และลิกนิน

2.1.1 ประเภทของเส้นใยอาหาร

การแบ่งประเภทของเส้นใยอาหารตามคุณลักษณะของเส้นใยอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.1.1.1 เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Water-soluble dietary fiber)

เส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้และสามารถดูดซับสารที่ละลายในน้ำได้ไว้กับตัว มีความนิ่มสามารถที่จะอุ้มน้ำและดูดซับน้ำได้ดีมาก มีความสามารถในการขยายตัวหรือพองตัวได้ถึง 10-25 เท่าของน้ำหนักเส้นใย นอกจากนี้ยังมีลักษณะเป็นเมือกเหมือนเจล ทำให้สามารถจับกับไขมัน น้ำตาล และคอเลสเตอรอล ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการสร้างกรดน้ำดีได้ดี จึงช่วยขัดขวางการดูดซึมน้ำตาลและไขมัน ซึ่งมีประโยชน์ต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด อีกทั้งยังช่วยในเรื่องของการขับถ่ายให้เป็นไปอย่างสะดวก และป้องกันการเกิดโรคริดสีดวงทวาร ใยอาหารในกลุ่มนี้จะเกิดกระบวนการหมักโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่บางชนิด แต่จะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว เส้นใยประเภทนี้จะพบได้ในถั่วบางชนิด ผลไม้และธัญพืช เช่น ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ใยอาหารชนิดนี้ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) กัม (Gum)

เป็นสารอาหารที่มีโมเลกุลของน้ำตาลจำนวนมาก ในหมู่โมเลกุลของน้ำตาลบางหมู่จะมีกลุ่มของกรดยูโรนิค ไม่มีโครงสร้างทางเคมีที่แน่นอน บางชนิดไม่ละลายน้ำ กัมเป็นเส้นใยที่มักจะรับประทานเข้าไปโดยไม่รู้ตัวเพราะมักใช้เป็นสารที่ทำให้ซอสข้นหนืด เช่น ซอสมะเขือเทศ จากการรายงานของนักวิทยาศาสตร์การแพทย์ เส้นใยอาหารประเภทกัมนอกจากจะช่วยทำให้อาหารข้นหนืดแล้ว ยังมีส่วนในการลดปริมาณคลอเลสเตอรอลในร่างกาย และช่วยลดปริมาณน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวาน กัมในที่นี้หมายรวมถึง อะการ์ (Agar) กัมอะราบิก (Gum arabic) กัมคารายา (Gum karaya) แซนแทนกัม (Xanthan gum) และคาราจีแนน (Carageenan) เป็นต้น

2) เพคติน (Pectin)

เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำตาลจำนวนมากและในหมู่โมเลกุลของน้ำตาลบางหมู่ที่มีหมู่เมทิลและกลุ่มกรดยูโรนิค บางชนิดไม่ละลายน้ำ ถ้ากลุ่มไฮดรอกซิลในกรดถูกแทนที่ด้วยกลุ่มเมทิล สารประกอบเพคตินนั้นก็จะละลายได้ในสารละลายด่าง เพคตินจะพบมากในผนังเซลล์พืชทำหน้าที่เป็นโครงสร้างยึดให้เซลล์เชื่อมติดต่อกัน เพคตินมีลักษณะคล้ายวุ้น พบมากใน แอปเปิ้ล ส้ม องุ่น กล้วย ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ มัน และแครอท จากการศึกษาวิจัยพบว่าเพคตินมีส่วนช่วยในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในร่างกายมนุษย์แต่ไม่สามารถช่วยป้องกันโรคท้องผูกได้

3) มิวซิเลจ (Mucilage)

มักพบได้จากการหลั่งในเอนโดสเปิร์ม (Endosperm) ของเซลล์พืชเพื่อทำหน้าที่ในการป้องกันการสูญเสียน้ำ (Dehydration) มากเกินไป

2.1.1.2 เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Water-insoluble dietary fiber)

เส้นใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้แต่อุ้มน้ำเอาไว้ซึ่งทำให้เกิดการพองตัวขึ้นในน้ำลักษณะคล้ายฟองน้ำ เส้นใยเหล่านี้มีผลให้เกิดการเพิ่มปริมาตรของกระเพาะอาหารเมื่อรับประทานเข้าไปจึงทำให้รู้สึกอิ่ม รวมทั้งช่วยเพิ่มปริมาตรของอุจจาระทำให้เกิดการกระตุ้นลำไส้ให้เกิดการขับถ่าย ดังนั้นเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำนี้จึงมีประโยชน์ช่วยในการป้องกันโรคท้องผูกและโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ ในขณะเดียวกันก็เป็นการลดการเกิดสารพิษที่เกิดจากการย่อยสลายของแบคทีเรีย เนื่องจากการตกค้างของกากอาหารเป็นเวลานานใยอาหารในกลุ่มนี้จัดเป็นเส้นใยชนิดหยาบซึ่งจะเป็นส่วนที่เหลือจากการย่อยอาหารแล้วและไม่ถูกย่อยในแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ ใยอาหารชนิดนี้ ได้แก่

1) แบคทีเรียเซลลูโลส (Cellulose)

เป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืชซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ โมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสคล้ายกับแป้ง (Starch) แต่จะไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยวเป็นสารชนิดเดียวกันกับที่พบในเปลือกไม้ ในพืชและผลไม้หลายชนิด จากผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าแบคทีเรียเซลลูโลสจะมีส่วนช่วยในการดูดซึมสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบทางเดินอาหารบริเวณลำไส้ เนื่องจากการกินอาหารที่มีสารไนเตรตและช่วยในการป้องกันการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่ร่างกายจึงมีประโยชน์กับผู้ป่วยโรคเบาหวาน

2) เฮมิแบคทีเรียเซลลูโลส (Hemicellulose)

เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเชิงเดี่ยวชนิดต่างๆ ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเป็นจำนวน 100 โมเลกุล ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายที่เหมือนกันคือ ละลายได้ในสารละลายด่าง น้ำตาลเชิงเดี่ยวนี้แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ เพนโทแซน (Pentosans) และ เฮกโซแซน (Hexosans) น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่พบมากในเฮมิแบคทีเรียเซลลูโลสคือ ดี-ไซแลน (D-xylans) และ ดี-กลูโค-ดี-แมนแนน (D-gluco-D-mannan) และมีสายโซ่ข้างเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น แอลอลาบิโนส (L-arabinoses) เฮมิแบคทีเรียเซลลูโลสเป็นสารที่มีลักษณะโมเลกุลคล้ายคลึงกับแบคทีเรียเซลลูโลสและมักอยู่ร่วมกับแบคทีเรียเซลลูโลส

3) ลิกนิน (Lignin)

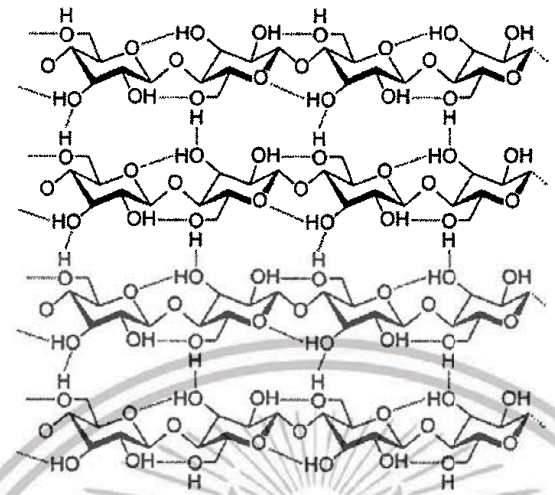
เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอลกอฮอล์ที่พืชผลิตเมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้นทำให้ส่วนต่างๆของพืชมีโครงสร้างที่แข็งแรง เช่น เปลือกนอกของเมล็ดธัญพืชส่วนประกอบของใยอาหารในอาหารจะขึ้นอยู่กับอายุ พันธุ์พืชและส่วนต่างๆพืชที่แตกต่างกัน โดยลิกนินเป็นสารที่พบในเนื้อไม้เชื่อกันว่ามีส่วนช่วยป้องกันการเกิดนิ่วในถุงน้ำดี ซึ่งพบมากในข้าว เช่น ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต รำ แป้งที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีการขัดและฟอกสี ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ และในพืชผัก เช่น ถั่วงอก กะหล่ำปลี มะเขือเทศ เป็นต้น

2.2 แบคทีเรียเซลลูโลส (Cellulose)

แบคทีเรียเซลลูโลส (Cellulose) มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ประกอบด้วยสารคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ชนิดโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysacharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สำหรับโครงสร้างของแบคทีเรียเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส (Glucose) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เป็นหมู่หลัก โมเลกุลของกลูโคสนั้นจะเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่งบีต้า-1,4 ดังนั้นจึงสามารถเรียกตำแหน่งที่สร้างพันธะนี้ว่า บีต้า-1,4 ไกลโคซิดิก (β-1,4 glycosidic bond) และเรียงต่อกันเป็นสายยาว และมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยแบคทีเรียเซลลูโลสจะมีหน่วยซ้ำที่เรียกว่าเซลโลไบโอส (Cellobiose) และทุกๆ หน่วยที่สองของกลูโคสที่ต่อกันในโมเลกุลของแบคทีเรียเซลลูโลสจะสามารถหมุนได้ 180 องศา เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของกลูโคส ซึ่งจากการเชื่อมต่อกันนี้ทำให้แบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลสมีความแข็งแรง มีอุณหภูมิการหลอมตัวสูง และไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของแบคทีเรียเซลลูโลส
ที่มา : https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Cellulose_strand.svg
(สืบค้นวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2562)

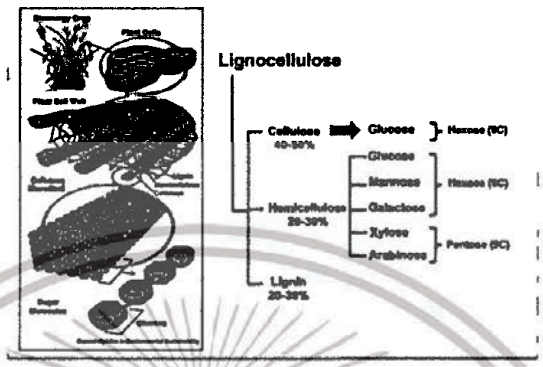
2.2.1 แบคทีเรียเซลลูโลสจากพืช

สำหรับในโครงสร้างของผนังเซลล์พืชอย่างเช่น ผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช หรือเส้นใยพืช (Vegetable fibers) จะประกอบด้วยโครงสร้างของพอลิเมอร์ 3 ชนิดคือ แบคทีเรียเซลลูโลส เฮมิแบคทีเรียเซลลูโลสและลิกนิน หรือที่เรียกว่า ลิกโนแบคทีเรียเซลลูโลส (Lignocellulose) โดยที่ปริมาณแบคทีเรียเซลลูโลสในพืชนอกจากจะขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตและสายพันธุ์ของพืชแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่แตกต่างกัน ก็มักจะมีทั้งสามองค์ประกอบในปริมาณที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 2.2

จากองค์ประกอบที่ได้จากพืชซึ่งมีทั้งแบคทีเรียเซลลูโลส เฮมิแบคทีเรียเซลลูโลส และลิกนิน การนำไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรมต่างๆจึงต้องมีการทำให้แบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากพืชบริสุทธิ์โดยผ่านการสกัดองค์ประกอบส่วนที่ไม่ต้องการออก ตัวอย่างเช่น การสกัดเบื้องต้นด้วยน้ำร้อนร่วมกับวิธีการสกัดด้วยด่าง การกำจัดองค์ประกอบและเส้นใยที่ละลายน้ำด้วยน้ำร้อน กำจัดลิกนินจากเส้นที่ไม่ละลายน้ำด้วยกรดและกำจัดโปรตีน เพคติน เฮมิแบคทีเรียเซลลูโลส สารประกอบฟีนอลิคและสารในกลุ่มไขมันที่ไม่ละลายน้ำโดยใช้ด่าง นอกจากนี้อาจจะยังมีการสกัดเบื้องต้นด้วยเอนไซม์ร่วมกับวิธีการสกัดด้วยด่าง วิธีการนี้ในขั้นตอนสุดท้ายจะต้องมีการปรับค่าความเป็นกรดด่างให้เป็นกลางและล้างด้วยน้ำกลั่นน้อยส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดแบคทีเรียเซลลูโลสจากพืชเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลายรวมถึงมีการศึกษาคุณสมบัติเส้นใยที่สกัดได้อาจเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และอาจจะนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารทดแทนแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าได้ (ฐิตา และคณะ, 2557)



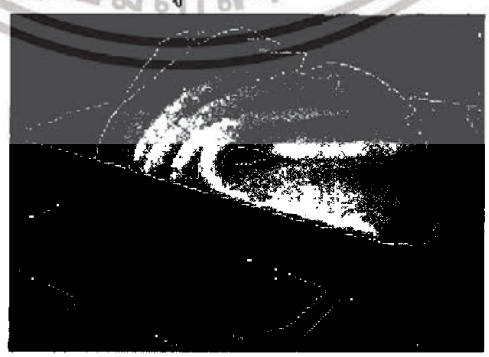
รูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช

ที่มา : https://omnimicrobes.files.wordpress.com/2012/07/cellulose.png

(สืบค้นวันที่ 31 มีนาคม 2562)

2.2.2 แบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย

มีการค้นพบแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียครั้งแรกโดย A.J. Brown (1988) โดยเกิดจากการที่เขาสังเกตว่าเซลล์ในระยะพักของเชื้อ *Acetobacter* สามารถผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และน้ำตาลกลูโคส โดยแบคทีเรียสายพันธุ์อื่นๆที่สามารถผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสได้เช่น *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Sarcina*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Salmonella* และ *Alcaligenes* ซึ่งแบคทีเรียเซลลูโลสที่แบคทีเรียเหล่านี้ผลิตได้นั้นเป็นสารพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากการผลิตและขับออกนอกเซลล์ผสานกันจนได้เป็นแผ่นที่มีลักษณะหนา นุ่ม เป็นเจล จึงมักเรียกกันโดยทั่วไปว่า วุ้นมะพร้าวหรือวุ้นสวรรค์ (ณัฐกานต์ และคณะ, 2556) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย

ที่มา : http://biology.crru.ac.th/biology/images/PDF/Industrial-micro/LabIndust-04.pdf

(สืบค้นวันที่ 22 พฤษภาคม 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วุ้นมะพร้าว หรือ วุ้นสวรรค์ (Nata de coco) เป็นโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่ได้จากการกระบวนการหมักน้ำมะพร้าว โดยแบคทีเรียกรดน้ำส้ม (acetic acid bacteria) ที่มีชื่อเรียกว่า *Acetobacter xylinum* หรือจัดประเภทใหม่เป็น *Gluconacetobacter xylinus* เป็นแบคทีเรีย แกรมลบ และได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางเนื่องจากเป็นผู้ผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสขนาดใหญ่ ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหมักของแบคทีเรียกรดน้ำส้มคือ โพลีแซคคาไรด์ หรือที่เรียกว่า "วุ้นมะพร้าว" ซึ่งเป็นสารจำพวกแบคทีเรียเซลลูโลส (bacterial cellulose) ที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานของผนังเซลล์พืช ยูคาริโอตและสาหร่าย และยังพบเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ของเชื้อรา (Moosavi-Nasab และ Yousefi, 2010)

โดยธรรมชาติแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผลิตจากแบคทีเรียที่ผสานตัวกันจนเป็นแผ่นลอยอยู่บนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อได้นั้นเนื่องจากโครงสร้างที่เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเป็นการขับออกมาจากเซลล์ของแบคทีเรียและสาเหตุที่แบคทีเรียเซลลูโลสเกิดการลอยตัวขึ้นมาที่ผิวหน้าสันนิษฐานว่าเกิดจากผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์แบคทีเรียที่ถูกจับอยู่ภายในโครงสร้างที่เป็นร่างแหแบคทีเรียเซลลูโลส (cellulose matrix) จึงก่อให้เกิดแรงพยุงให้ลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ แบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียนี้มีคุณสมบัติที่ดีด้านต่างๆเช่น มีค่าแรงตึงสูง (tensile strength) และความยืดหยุ่น (elasticity) ที่ดี ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) สูง ไม่มีความเป็นพิษและไม่ก่อให้เกิดภูมิแพ้ นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการต้านทานความร้อน (heat resistance) ที่อุณหภูมิสูง และแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียมีความบริสุทธิ์สูงปราศจากลิกนิน เฮมิแบคทีเรียเซลลูโลส และสารอื่นๆ ซึ่งจะแตกต่างจากแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากพืชซึ่งมักจะมีองค์ประกอบอื่นๆเช่นลิกนิน เฮมิแบคทีเรียเซลลูโลส และสารประกอบอื่นๆอยู่ด้วย (เพ็ญพิชชา และคณะ, 2555)

2.2.3 ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (ณัฐกานต์ และคณะ, 2556)

แบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียมีคุณลักษณะดังนี้

1) มีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กมาก หนาประมาณ 3-4 นาโนเมตร กว้าง 60-80 นาโนเมตรและยาวประมาณ 180-960 นาโนเมตร

2) เนื่องจากเส้นใยที่มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นจึงทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

3) เส้นใยไม่มีองค์ประกอบของ เฮมิแบคทีเรียเซลลูโลส ลิกนิน และเพคติน เจือปน

4) เส้นใยมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) เป็นโมเลกุลที่มีขั้วจึงสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ เป็นสารที่ชอบรวมตัวกับน้ำ ดูดน้ำได้ ละลายในน้ำได้ง่ายจึงสามารถอุ้มน้ำได้ 60 – 700 เท่าของน้ำหนักแห้ง

5) เส้นใยมีลักษณะใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) เส้นใยของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียมีความสามารถในการทนต่อแรงดึงได้สูงกว่าไฟเบอร์สังเคราะห์อื่นๆ

7) สามารถใช้สารตั้งต้นที่มีราคาถูกหาง่าย ในการผลิต

8) สามารถควบคุมคุณสมบัติทางกายภาพได้ตามที่ต้องการ โดยการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆของอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ และสภาวะการหมัก

แบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียมีค่าการอุ้มน้ำสูงแต่น้ำจะไม่จับตัวกับเส้นใย ทำให้สามารถรีดน้ำออกโดยใช้แรงกดทับเมื่อต้องการทำให้แห้งคล้ายกับการผลิตกระดาษ โดยเมื่อแห้งแล้วจะมีความหนาลดลง และมีคุณสมบัติการดูดซับน้ำที่ดี ปัจจุบันจึงมีความสนใจเกี่ยวกับแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียมากขึ้นเนื่องจากแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียใช้ระยะเวลาในการผลิตน้อยกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสจากพืช และเป็นแบคทีเรียเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูงไม่ต้องผ่านขั้นตอนการสกัดแยกองค์ประกอบอื่นๆ

2.2.4 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย

แบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียสามารถปรับปรุงค่าความหนืดของอาหารได้ โดยคุณสมบัติและโครงสร้างของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ใช้เป็นส่วนผสมในสูตรอาหารแม้จะใช้เพียงเล็กน้อยเพื่อไม่ให้ไปรบกวนรสชาติของอาหาร แต่จะมีผลในการเพิ่มความคงตัวของอาหาร เช่น การรักษาค่า pH ของอาหาร เพิ่มความคงตัวของอาหารเมื่ออาหารได้รับอุณหภูมิสูง และช่วยให้อาหารมีความคงตัวแม้สภาวะในการแช่แข็งรวมถึงการช่วยให้การละลายช้าลง ในการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอาจมีคุณสมบัติในการให้ความข้นหนืด (thickening) การเกิดเจล (gelling) ให้ความคงตัว (stabilizing) และการจับกับน้ำ (water-binding) (Okiyama และคณะ, 1992 และ Okiyama และคณะ, 1993)

1) สารให้ความข้นหนืด หลังจากเติมแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียลงในเครื่องปรุงรสในผลิตภัณฑ์เพสตรี ทำให้เพิ่มความเหนียวหนืดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจึงส่งผลให้ง่ายต่อการใช้ช้อนในการวัดปริมาณ

2) สารให้ความคงตัว ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียจะสามารถกักเก็บความชื้นไว้ได้อย่างน้อยที่สุด 1 เดือน ไอศกรีมที่มีส่วนผสมของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียสามารถรักษารูปทรงไว้ได้ 60 นาทีหลังจากเอาออกมาจากสภาวะแช่แข็ง ในขณะที่ไอศกรีมชุดควบคุมนั้นละลายจนหมดในช่วงเวลาเดียวกัน

3) สารที่ทำให้เกิดเจล เมื่อเติมแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียร้อยละ 0.2 – 0.3 มีผลต่อความแข็งแรงของเจลของเต้าหู้ (Tofu) ทำให้เนื้อสัมผัสดีขึ้น และมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น แบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียทำให้ Kamaboko มีความแข็งและการแตกหักดีขึ้น และยังทำให้ความยืดหยุ่นลดลงไปได้อย่างมาก Kamaboko ที่ได้จากการเติมแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียนี้ยังทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อกระบวนการเสื่อมสภาพได้ดีและยังคงตอบสนองความรู้สึกทางด้านประสาทสัมผัสของมนุษย์ได้อย่างปกติ

4) สารช่วยทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสคงตัวและเป็นเนื้อเดียวกัน (suspending agent) เมื่อเติมแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียลงในเครื่องดื่มช็อกโกแลตจะสามารถป้องกันการตกตะกอนของโกโก้ เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นตาข่ายของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียสามารถจับกับอนุภาคของโกโก้ได้นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงการมีเสถียรภาพต่อความร้อนที่ดีขึ้นหลังจากผ่านความร้อนในกระบวนการการฆ่าเชื้อทำให้ค่าความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากผ่านความร้อน

2.3 ประโยชน์ของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย

2.3.1 ประโยชน์ทางด้านอาหาร

มีการนำแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ทางอาหารในระดับการค้า ได้แก่ วุ้นมะพร้าว ซึ่งเป็นอาหารว่างพื้นบ้านของชาวฟิลิปปินส์ โดยผลิตได้จากการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในน้ำมะพร้าวและน้ำตาลซูโครสทำให้ได้แผ่นวุ้นแบคทีเรียเซลลูโลส โดยเชื่อกันว่าการบริโภควุ้นมะพร้าวจะช่วยในการต้านการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ โรคเครียด โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน และป้องกันการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในปัสสาวะ ดังนั้น วุ้นมะพร้าวจึงได้รับความนิยมในการบริโภคมากขึ้น

ประเทศจีนได้ผลิตอาหารที่มีส่วนประกอบของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียขึ้นเรียกว่า ชาเห็ด (Teakvass หรือ Tea-fungus) โดยได้จากการเลี้ยงเชื้อยีสต์และแบคทีเรีย กรดแอซีติกในชาที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลซึ่งจะเกิดแบคทีเรียเซลลูโลสบนผิวหน้า และเอนไซม์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยกิจกรรมของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียและชาจะไปกระตุ้นส่วนของลำไส้จำเพาะเจาะจงเพื่อป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้

นอกจากนี้มีการศึกษาการนำแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ผลิตได้จากเชื้อ *A. xylinum* มาประยุกต์ใช้เพื่อผลิตไวน์และน้ำผลไม้ โดยใช้เป็นตัวกรองและตัวตรึงสาร polyphenol ได้สำเร็จ ได้ทำการผลิต anthocyanins เป็นตัวกระตุ้นทางชีวภาพในอาหารควบคุมน้ำหนักจำพวกเส้นใย โดยนำมาใช้ในการผลิตอาหารเพื่อสุขภาพได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้แบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเบเกอรี่ที่มีบทบาทในเรื่องของเส้นใย รสชาติ กลิ่น รวมไปถึงคุณสมบัติในการยืดอายุในการเก็บรักษาได้เป็นอย่างดี

ปัจจุบันพบว่ามีการนำแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียมาทำเป็นส่วนประกอบของอาหารได้หลากหลายประเภท ทั้งประเภทอาหารคาวและอาหารหวาน เช่น วุ้นในสลัด นมเปรี้ยว ไอศกรีม วุ้นผสมน้ำผลไม้ น้ำนมถั่วเหลืองผสมวุ้นมะพร้าว และยังนำมาทำเป็นอาหารคาวเพื่อสุขภาพลดปริมาณแคลอรี่ เช่น แฮมเบอร์เกอร์ และไส้กรอก เป็นต้น (Okiyama และคณะ, 1992) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการนำวุ้นมะพร้าวมาทำผลิตภัณฑ์อาหาร

ที่มา : http://www.tidreview.com/doikham/ และ https://www.youtube.com/watch?v=nx-HQ1XR6_o (สืบค้นวันที่ 13 มีนาคม 2562)

2.3.2 ประโยชน์ทางด้านการแพทย์

แบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากการหมักในสภาวะตั้งนิ่ง จะนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งแผลได้อย่างเป็นธรรมชาติและได้รับการรับรองมาตรฐานของวัสดุตกแต่งแผลเนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถทำให้ปลอดเชื้อได้ มีรูพรุน มีความยืดหยุ่น มีความสามารถในการดูดซับ และมีความชื้นที่เหมาะสม ซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้งานและการจัดเก็บ การใช้แผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสเป็นวัสดุตกแต่งแผลจะทำให้บาดแผลสมานตัวได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังช่วยในการป้องกันการติดเชื้อในขั้นที่สอง นอกจากนี้ยังไม่ส่งผลกระทบต่อกลไกการเกิดใหม่ของเนื้อเยื่อในกรณีของบาดแผลที่เกิดจากไฟไหม้ และยังช่วยป้องกันการเจ็บปวดจากคุณสมบัติที่ช่วยในการดูดซับความร้อนของบาดแผลได้อีกด้วย (รูปที่ 2.5)

เนื่องจากสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่มีค่าทนต่อแรงดึงสูงมีความยืดหยุ่นและมีสมบัติให้ของเหลวและก๊าซซึมผ่านได้ มีการนำแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียชนิดแห้งมาทำเป็นเยื่อป้องกันการถูกตรึงออกซิเดชันของกลูโคสใน Biosensor ในการตรวจสอบระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด

รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างแผ่นปิดแผลจากวุ้นมะพร้าว

ที่มา : http://www.trueplookpanya.com/learning/detail/32323-044995 (สืบค้นวันที่ 22 พฤษภาคม 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม

ในด้านอุตสาหกรรมกระดาษที่ใช้ในการผลิตกระดาษลำโพง กระดาษที่ผลิตเพื่อใช้เป็นลำโพงต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ต้องให้คลื่นเสียงความถี่สูง (high sonic velocity) และต้องลดคลื่นที่รบกวนได้ดีเพื่อให้ได้คุณภาพเสียงที่ชัดเจน วัสดุที่ใช้ในการผลิตกระดาษลำโพงมีหลากหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันออกไป เช่น บางชนิดมีข้อจำกัดคือ คุณสมบัติในการลดคลื่นรบกวนได้ไม่ดีในขณะที่บางชนิดให้ความเร็วคลื่นได้ต่ำเกินไปเพียง 1500 เมตรต่อนาทีเท่านั้นแต่แบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จาก *A. xylinum* มาทำเป็นกระดาษลำโพงมีข้อได้เปรียบหลายประการคือ ให้เสียงสูงที่มีคุณภาพดี มีความเร็วสูงเท่ากับอลูมิเนียม และยังมีคุณสมบัติในการลดเสียงรบกวนได้เป็นอย่างดี (Yamanaka และคณะ, 1989)

ผลิตภัณฑ์กระดาษ ฟีนอลเรซิน (phenol resin fiber) หรือเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) ซึ่งไม่สามารถทำเป็นแผ่นได้แต่เมื่อนำแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผลิตได้จาก *A. xylinum* ที่ผ่านการอบแห้งและบดเป็นผงแล้วมาผสมเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม (binder) จะทำให้เส้นใยเหล่านี้ขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ ในการผลิตกระดาษคาร์บอน (activated carbon fiber sheets) เพื่อใช้ในการดูดซับสารพิษ (รูปที่ 2.6) การเติมแบคทีเรียเซลลูโลสลงไปจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษได้ดีขึ้น (เพ็ญพิชชา และคณะ, 2555)

รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างกระดาษคาร์บอนผสมวุ้นมะพร้าว
ที่มา : http://thai.airfilter-replacement.com/photo/airfilter-replacement/editor/20171205175143_78133.jpg (สืบค้นวันที่ 13 มีนาคม 2552)

2.4 การทำแห้ง (dehydration) (ประพรรัตน์ และรุจรวี, 2556)

การทำแห้งเป็นวิธีการชนิดหนึ่งที่มีความเก่าแก่และทำได้ง่ายเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้อยู่ได้นานขึ้น โดยใช้หลักการในการกำจัดน้ำในอาหารออกไป เป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นตัวการทำให้เกิดการเน่าเสียของอาหารขึ้น โดยทั่วไปปริมาณความชื้นที่ป้องกันการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เน่าเสียของอาหารจากเชื้อจุลินทรีย์ จะมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 10 ซึ่งก็จะแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร และการทำแห้งยังเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่ช่วยลดต้นทุนในการขนส่งอาหารอีกด้วย ซึ่งการทำแห้งนี้จะทำให้น้ำหนักและขนาดทั้งของอาหารและภาชนะบรรจุภัณฑ์ลดลง ทำให้เราสามารถขนย้ายอาหารได้มากขึ้น ในราคาต้นทุนเท่าเดิม การทำแห้งเป็นการใช้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำออกจากอาหาร โดยมักใช้ตัวกลางคืออากาศ โดยมีขั้นตอนหลักคือ การเคลื่อนย้ายน้ำจากภายในอาหารสู่ผิวนอกของอาหารและการเคลื่อนย้ายไอน้ำที่พื้นผิวนอกของอาหารออกไป การทำแห้งที่มีคุณภาพที่ดีควรทำโดยใช้เวลาน้อยที่สุด การทำแห้งมีปัจจัยหลักๆ ได้แก่ ขนาดและโครงสร้างทางชีวภาพของวัตถุดิบ คุณสมบัติของตัวกลางที่ใช้และลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้ง

2.4.1 หลักการพื้นฐานของการทำแห้ง

บทบาทสำคัญของกระบวนการทำแห้งคือน้ำที่มีอยู่ภายในอาหาร ซึ่งแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ (1) โมเลกุลน้ำอิสระที่พบในช่องว่างอินเตอร์ทิเชียล (interstitial pore) (2) โมเลกุลน้ำที่ยึดกับโมเลกุลกลุ่มไฮดรอกซิลและเอไมล์ (amide) ด้วยพันธะไฮโดรเจน และ (3) โมเลกุลน้ำที่ยึดกับโมเลกุลกลุ่มอิออนิก ได้แก่ กลุ่มคาร์บอกซิลและแอมิโน โดยมีกระบวนการคือเริ่มแรกน้ำอิสระจะระเหยและถูกกำจัดออกไปก่อน จากนั้นโมเลกุลของน้ำจะยึดจับด้วยพันธะไฮโดรเจน จนสุดท้ายจะเป็นน้ำที่ที่ถูกยึดจับด้วยพันธะอิออนิก ซึ่งความยากง่ายในการกำจัดน้ำออกจากอาหารนั้นจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับว่าเป็นน้ำกลุ่มใด กลไกของน้ำยึดจับกับของแข็งที่แตกต่างกัน จะมีผลต่อคุณลักษณะเฉพาะทางคุณภาพของอาหารระหว่างการเก็บรักษา โดยที่การยึดจับกันระหว่างน้ำและองค์ประกอบภายในอาหารนั้นมีหลายแบบ ได้แก่ พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bound) แรงคูลอมป์ (Coulomb force) ระหว่างน้ำ อิออน และกลุ่มโมเลกุลที่แยกตัวออกจากกัน แรงยึดจับแวนเดอร์วาวล์ (Van der Waals force) การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของส่วนที่เป็นโพลีเมอร์ (Change in mobility of polymer segments) ผลกระทบจากการละลาย (Dissolution effect) และแรงคาปิลารี (Capilary force) เป็นต้น

2.4.2 การทำให้อาหารแห้งโดยธรรมชาติ

การทำแห้งด้วยวิธีนี้ จะอาศัยลมและแสงจากดวงอาทิตย์ ที่ช่วยพัดพาไอน้ำที่ระเหยออกจากอาหาร เป็นวิธีที่ต้องใช้เวลามาก เพราะมีอัตราการทำแห้งต่ำและยังขึ้นอยู่กับสภาพอากาศอีกด้วย แต่ในประเทศที่กำลังพัฒนาและมีแสงพอเพียงจะนิยมใช้วิธีนี้กันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาไปเป็นตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการควบคุมอัตราเร็วในการทำแห้งอาหารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.1 การตากแห้งในที่ร่ม (Shade drying)

การตากแห้งในที่ร่มเป็นวิธีการทำแห้งแทนการทำแห้งแบบแสงอาทิตย์ เนื่องจากการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสและทำให้สีเปลี่ยนแปลงจนทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับ โดยแสงอัลตร้าไวโอเลตทำให้สีซีดจางและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ การตากแห้งในที่ร่มเป็นวิธีการที่มีต้นทุนต่ำที่สุดในการถนอมและยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้พลังงานความร้อนตามธรรมชาติ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ในประเทศเขตร้อนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำและไม่มีฝนในช่วงหลังการเก็บเกี่ยว วัตถุดิบที่เหมาะกับการตากแห้งในที่ร่มควรมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศสูง เพื่อให้น้ำระเหยออกไปได้เร็ว เนื่องจากวิธีการนี้เป็นวิธีที่ใช้อุณหภูมิต่ำ หากการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากอาหารเป็นไปได้ช้าอาจเกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ หรืออาจเกิดความเสียหายจากแมลงหรือสัตว์รบกวนอื่นๆ ดังนั้นจึงอาจมีการประยุกต์เครื่องมือเพื่อช่วยให้การทำแห้งมีประสิทธิภาพและทำให้อาหารมีความปลอดภัยในการบริโภคมากขึ้น เช่น การใช้ระบบหมุนเวียนอากาศเพื่อให้ตัวอย่างสัมผัสกับอากาศแห้งมากขึ้น

2.4.3 การทำให้อาหารแห้งด้วยวิธีเชิงกล

การทำแห้งวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้เทคนิคและหลักวิชาการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้องเป็นอย่างมาก ทำให้สามารถควบคุมอัตราการทำแห้งได้ ผลิตอาหารได้เร็ว คุณภาพดีขึ้น และมีปริมาณความชื้นตามที่ต้องการ เป็นการอาศัยหลักของการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในชิ้นอาหาร ทำให้น้ำกลายเป็นไอและระเหยออกไปจากผิวหน้าของอาหาร ความร้อนที่ส่งเข้าไปอาจมีกลไกที่แตกต่างกัน ได้แก่

- การนำความร้อน (Conduction) เช่น เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (drum dryer) และเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) เป็นต้น
- การพาความร้อน (Convection) เช่น เครื่องทำแห้งแบบตู้หรือแบบห้อง (cabinet dryer) เครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) และเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ (spray dryer) เป็นต้น
- การแผ่รังสี (Radiation) เช่น เครื่องทำแห้งแบบรังสีอินฟาเรด (infrared dryer) และเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟ (microwave dryer) เป็นต้น

2.4.3.1 การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Oven drying)

การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นการใช้อากาศร้อนในการทำแห้งอาหาร โดยเป็นวิธีที่พัฒนาปรับปรุงเพื่อลดข้อจำกัดบางอย่างของการทำแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ วิธีการนี้สามารถควบคุมตัวแปรในการทำแห้งได้หลายอย่างมากขึ้น ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการทำแห้ง ความเร็วลม เวลาที่ใช้ในการทำแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหนือตัวอย่าง ความชื้นในตู้อาหารจะถูกขนย้ายออกจากผิวหน้าอาหารและตู้อบด้วยระบบการทำงานในขั้นตอนเดียว ดังนั้นอากาศร้อนที่ใช้ในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนต้องมีการควบคุมระบบหมุนเวียน เพื่อให้อากาศร้อนสัมผัสอาหารอย่างทั่วถึงและต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีระบบระบายอากาศร้อนชื้นออกอย่างเหมาะสม เพื่อทำให้การระบายไอน้ำที่ระเหยออกจากอาหารเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและทำให้อุณหภูมิในตู้อบไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนเป็นวิธีการที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเคมีแบบเก่า และนอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบสูง อาหารที่ทำแห้งด้วยลมร้อนจะผ่านช่วงการทำแห้ง 3 ช่วงหลักๆ ได้แก่ (1) ช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (2) ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ และ (3) ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่อาจเกิดขึ้นแค่ 1 ครั้งหรือมากกว่า 1 ครั้งก็ได้ การทำแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีการที่ใช้เวลานานและประสิทธิภาพของพลังงานต่ำ โดยเฉพาะช่วงอัตราการทำแห้งลดลง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการลดลงอย่างรวดเร็วของความชื้นบริเวณผิวหน้าอาหาร ทำให้ผิวหน้าอาหารเกิดการหดตัวและการถ่ายเทความชื้นลดลง ในบางกรณีการถ่ายเทความร้อนก็ลดลงด้วยและเมื่อต้องใช้เวลาในช่วงเพิ่มอุณหภูมินานขึ้นจะส่งผลให้คุณภาพบางประการลดลง ได้แก่ สี คุณค่าทางอาหาร เนื้อสัมผัสและกลิ่นรส

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำแห้งด้วยลมร้อน

1) ปริมาณอาหาร ปริมาณอาหารมากทำให้จำเป็นต้องใช้เวลาในการทำแห้งมากขึ้น

2) อุณหภูมิ ถ้าใช้อุณหภูมิสูงการทำแห้งจะใช้เวลาต่ำ แต่ผิวของอาหารจะแห้งเร็วเกินไปและทำให้เกิดการแข็งตัวหรือการไหม้ของผิวอาหาร

3) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อน อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับไอน้ำจากชิ้นอาหารได้มากกว่าและทำให้ใช้เวลาในการทำแห้งน้อยกว่า

4) ความเร็วของลมร้อน ถ้าความเร็วลมร้อนต่ำจะเกิดการสะสมของไอน้ำในอากาศทำแห้ง ความชื้นในอากาศกับความชื้นในชิ้นอาหารมีความแตกต่างกันน้อยลง ส่งผลทำให้อัตราการทำแห้งลดลงเช่นกัน

2.4.3.2 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying หรือ Freeze dehydration หรือ Lyophilization) หมายถึงการทำให้แห้ง (Dehydration) ด้วยการแช่เยือกแข็ง (Freezing) โดยทำให้น้ำในเซลล์ที่เป็นของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นผลึก (ของแข็ง) น้ำแข็งเล็กๆ ก่อน จากนั้นจะลดความดันแวดล้อมลงให้ต่ำกว่าบรรยากาศปกติเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งดังกล่าวสามารถระเหิด (Sublimation) กลายเป็นไอ (ภายใต้อุณหภูมิเท่ากับหรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำแข็งจะระเหิดที่ความดัน 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า) ดังรูปที่ 2.7 (สุกิจ, 2561)

ซึ่งการใช้ความร้อนในการทำแห้งนั้น ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งทางประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ แต่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นสามารถทำให้ปริมาณน้ำในอาหารลดลงได้เช่นกันด้วยอุณหภูมิที่ต่ำทำให้คุณภาพของอาหารนั้นถูกทำลายน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการทำแห้งแบบ

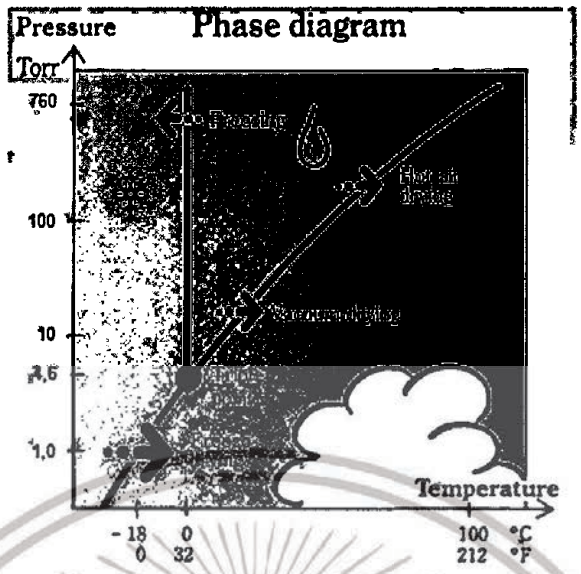
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นๆ (ปธานัน และพีรธัช, 2558) นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการสูญเสียลักษณะโครงสร้างภายนอกของอาหารได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการที่ใช้เวลานานและมีต้นทุนในการผลิตสูง (ประพรรัตน์ และรุจรวี, 2556)

ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะน้ำ อุณหภูมิ และความดันสามารถอธิบายได้ด้วย เฟสไดอะแกรม แผนภาพดังกล่าวบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำที่อุณหภูมิและความดันต่างๆกัน โดยมีเส้นกำกับจุดตัดของเส้นแบ่งเรียกว่า จุด Triple point จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าถ้าอุณหภูมิและความดันต่ำกว่าจุด Triple point น้ำจะสามารถเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นไอได้เลยโดยไม่ต้องผ่านการละลาย กล่าวคือ การจะทำให้น้ำระเหิดนั้นต้องควบคุมสภาวะความดันให้ต่ำกว่า 0.006 atm หรือ 4.58 mmHg จากนั้นจะเพิ่มอุณหภูมิเล็กน้อยจะทำให้น้ำแข็งกลายเป็นไอทั้งหมดโดยไม่ผ่านการละลาย (ปธานัน และพีรธัช, 2558)

รูปที่ 2.7 หลักการการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2553)

<u>ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง</u>

1) การแช่เยือกแข็ง (Freezing) การลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจนต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Freezing point) นั้นจะทำให้สารละลายหรือน้ำเปลี่ยนสถานะอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ น้ำนอกเซลล์อาหารนั้นจะเกิดการแข็งตัวเป็นผลึกเล็กๆ ทำให้ไม่ทำลายเซลล์อาหาร

2) การทำแห้งขั้นปฐมภูมิ (Primary Drying) เป็นการลดความดันไอ โดยควบคุมความดันไอให้ลดลงต่ำกว่า 4.58 mmHg และต่ำลงเรื่อยๆจนทำให้น้ำแข็งในอาหารเกิดการระเหิดออกโดยไม่ผ่านการละลาย ลักษณะชิ้นอาหารจะเป็นรูพรุน

3) การทำแห้งขั้นทุติยภูมิ (Secondary Drying) เป็นการรักษาระดับความดันที่ต่ำเอาไว้ หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆจนถึงอุณหภูมิห้องเพื่อที่จะกำจัดน้ำที่ยังอยู่ในสถานะของเหลวให้เหลืออยู่ระดับที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา

<u>ข้อดีของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง</u>

1) เกิดความเสียหายกับโครงสร้างและเซลล์ของอาหารน้อย ทำให้รสสัมผัสของอาหารค่อนข้างใกล้เคียงจากเดิม

2) เนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำ สารอาหารจึงถูกทำลายน้อยทำให้รักษาคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กลิ่น รส สี ไม่ค่อยเปลี่ยนเนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำ สารเคมีในอาหารจึงมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก

2.4.3.3 การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ (Microwave drying)

การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ คือการส่งถ่ายพลังงานความร้อนในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ ภายในชิ้นอาหารนั้นประกอบไปด้วยน้ำ โมเลกุลของน้ำที่มีประจุลบของออกซิเจน ประจุบวกของไฮโดรเจน การทำแห้งด้วยวิธีนี้คือการนำอาหารเข้าไปอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำและสารประกอบอื่นๆที่มีประจุไฟฟ้า เกิดการเรียงตัวที่สอดคล้องกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่ออะตอมเคลื่อนที่จากการเรียงตัวจะทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างอะตอมซึ่งการเสียดสีนี้จะทำให้เกิดความร้อนภายในชิ้นอาหาร (รูปที่ 2.9) (ปธานัน และพีรธัช, 2558)

รูปที่ 2.9 การเรียงตัวของโมเลกุลอาหารในไมโครเวฟ
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2553)

<u>ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ</u>

1) คลื่นความถี่ ไมโครเวฟที่มีคลื่นความถี่ต่ำนั้นมีความสามารถในการทะลุผ่านชิ้นอาหารได้ดีกว่าคลื่นความถี่สูง

2) ความเข้มของสนามไฟฟ้า การเพิ่มความเข้มของสนามไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนมากขึ้นและใช้เวลาน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความชื้นในชิ้นอาหาร น้ำสามารถดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี และสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้มาก ดังนั้นอาหารที่มีความชื้นสูงจะสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้เร็ว

4) ขนาดและรูปร่าง อาหารที่มีชิ้นใหญ่เมื่อใช้ไมโครเวฟที่คลื่นความถี่สูงอาจทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่สามารถผ่านเข้าสู่กึ่งกลางได้ ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอ

5) การนำไฟฟ้า การเพิ่มประจุไฟฟ้าในอาหาร เช่น การเติมเกลือ จะทำให้อัตราการให้ความร้อนสูงขึ้น

ข้อดีของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

1) ผิวอาหารไม่เกิดการแข็งตัว เนื่องจากไมโครเวฟมีการให้ความร้อนจากภายในชิ้นอาหารทำให้มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร ทำให้ไม่เกิดการแข็งตัวหรือเกิดการไหม้ที่ผิวอาหารจากการถ่ายเทความร้อน

2) คุณภาพด้านโภชนาการ การทำแห้งด้วยไมโครเวฟใช้เวลาในการทำแห้งประมาณ 1 ใน 4 ของการทำแห้งด้วยความร้อน การใช้เวลาที่น้อยลงทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการที่น้อยลงด้วย

3) ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน เนื่องจากความร้อนเกิดจากการเสียดสีของอะตอมภายในชิ้นอาหารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้การทำแห้งด้วยไมโครเวฟไม่ต้องเสียพลังงานความร้อนให้กับอากาศหรือมีการสูญเสียพลังงานที่น้อยกว่า

2.4.3.4 การทำแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum drying)

การทำแห้งแบบสุญญากาศคือสภาวะความดันภายในห้องอบแห้งจะอยู่ในสภาวะสุญญากาศ นั่นคือ ค่าความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (101.330 กิโลปาสคาล) ซึ่งการทำแห้งแบบนี้จะอาศัยกระบวนการระเหยน้ำ คือเปลี่ยนสถานะของน้ำในวัสดุซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวให้กลายเป็นไอ จะทำภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่า 0.01 องศาเซลเซียส และความดันสูงกว่า 0.612 กิโลปาสคาล แต่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งในการทำแห้งแบบนี้ควรที่จะให้การระเหยน้ำเกิดขึ้นทั่วทั้งปริมาตรของวัสดุในรูปแบบของการเดือด นั่นคือเกิดขึ้นที่อุณหภูมิจุดเดือด ณ ความดันดังกล่าว เพื่อให้การระเหยน้ำออกจากวัสดุอาหารเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความดันไอภายในวัสดุจะมากพอที่จะก่อตัวเป็นฟองและระเหยออกมา ทำให้การระเหยไม่ได้เกิดขึ้นที่พื้นผิวของวัสดุเท่านั้นแต่เกิดขึ้นทั่วทั้งปริมาตรของวัสดุไปพร้อมๆ กัน โดยทั่วไปแล้ว จะใช้ความดันอยู่ในช่วง 5 ถึง 20 กิโลปาสคาล ซึ่งอุณหภูมิจุดเดือด ณ ความดันดังกล่าวจะอยู่ที่ 32 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (วีรเชษฐ์, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำแห้งแบบสุญญากาศ

1) ระยะเวลาการทำแห้งที่ยาวนานภายใต้สภาวะสุญญากาศ ส่งผลให้ใช้ต้นทุนพลังงานที่สูงมากกว่าการทำแห้งภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศปกติ

2) การถ่ายเทความร้อนให้กับวัสดุอาหารเพื่อใช้ในการระเหยน้ำภายใต้สภาวะสุญญากาศไม่สามารถกระทำได้ง่ายเหมือนกับการทำแห้งภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศปกติ สาเหตุคือ ภายใต้สภาวะสุญญากาศมีปริมาณโมเลกุลของอากาศน้อยมากจนไม่สามารถอาศัยการถ่ายเทความร้อนโดยการพาได้ ดังนั้น ในระหว่างการทำแห้งแบบนี้จะต้องอาศัยการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนำและบางครั้งก็อาศัยการแผ่รังสีจากชั้นวางวัสดุอาหารภายในห้องอบแห้ง

3) อัตราการป้อนความร้อนให้กับอาหารจะไม่สามารถเร่งให้มีค่าสูงมากได้ เนื่องจากหากป้อนในอัตราที่สูงเกินไป จะทำให้บางบริเวณของวัสดุได้รับความร้อนมากเกินไปจนเกิดความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะบริเวณที่สัมผัสกับแหล่งความร้อน เพราะค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุอาหารมีค่าน้อยโดยเฉพาะกรณีที่วัสดุเริ่มแห้งและมีรูพรุนของอากาศภายในของวัสดุมาก

ข้อดีของการทำแห้งแบบสุญญากาศ

1) เป็นวิธีการทำแห้งที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากสามารถลดปัญหาเรื่องการหดตัวของผลิตภัณฑ์ การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และการสูญเสียสีและกลิ่นรส

2) ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความพรุนสูงทำให้มีคุณสมบัติในการคืนรูปได้ดีหากนำกลับไปแช่น้ำ

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

2.4.4.1 ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมาก อัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัตถุเพิ่มขึ้นมาก

2.4.4.2 ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหารที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อยกว่า เนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

2.4.4.3 ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้า เนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อยให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

2.4.4.5 ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่ความดันต่ำๆ ลงมาน้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

2.4.5 ประโยชน์ของการทำแห้ง

1) ป้องกันการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมี และเอนไซม์
2) ทำให้มีผลิตภัณฑ์ไว้ใช้ในยามขาดแคลน นอกฤดูกาลหรือแหล่งห่างไกล
3) เก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องแช่ตู้เย็น
4) ลดน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ เก็บรักษาและขนส่ง
5) ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่
6) ให้ความสะดวกในการใช้ เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป

2.5 เค้ก (Cake)

เค้กเป็นอาหารชนิดหนึ่งที่มักจะมีลักษณะหวานและผ่านกระวนการอบ ซึ่งมักจะทำมาจากแป้ง น้ำตาล และส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ไข่ แป้งสาลี ผัก ผลไม้ที่ให้รสหวานหรือเปรี้ยว เป็นต้น หรือส่วนประกอบที่มีไขมัน เช่น เนย ชีส ยีสต์ นม เนยเทียม เป็นต้น และนิยมรับประทานเป็นของหวานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานเฉลิมฉลองเทศกาลต่างๆซึ่งมีสูตรการทำเค้กเป็นจำนวนมากอีกทั้งตำหรับการทำเค้กบางสูตรก็มีการสืบทอดการทำต่อกันมาเป็นเวลาหลายทศวรรษ และเค้กนั้นยังเป็นอาหารหวานที่นิยมรับประทานกันทั่วโลกอีกด้วย

2.5.1 ประเภทของเค้ก

2.5.1.1 เค้กเนย (Butter cake) ส่วนผสมหลักที่ทำให้ขึ้นฟูคือเนยโดยจะต้องตีเนยกับน้ำตาลให้เป็นครีมฟูก่อน จึงเติมไข่ นม และแป้งลงไปตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งเค้กเนยย่อยๆได้อีกหลายชนิดเช่น เค้กชั้น ฟรุตเค้ก และเค้กปอนด์ ซึ่งทั้งหมดนี้หมายถึง เค้กที่ทำมาจากแป้งสาลีหนึ่งปอนด์ น้ำตาลหนึ่งปอนด์ และเนยหนึ่งปอนด์

2.5.1.2 เค้กไข่ (Foam cake) เป็นเค้กที่ขึ้นฟูโดยอาศัยการตีฟองอากาศเข้าไปในไข่ ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 ชนิดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ชิฟฟอนเค้ก (Chiffon cake) หรือชีฟองเค้ก เป็นเค้กที่ใช้น้ำมันพืชแทนเนย โดยปัจจุบันเป็นเค้กที่นิยมกันมากในกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการบริโภคเค้กที่มีไขมันไม่มาก และรสชาติไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมและด้วยเอกลักษณะประจำตัวของชิฟฟอนเค้ก นั่นก็คือความนุ่ม ละมุน อีกทั้งยังสามารถดัดแปลงรสชาติได้มาก

2) เค้กไข่ขาว (Angle food cake) จะใช้ไข่ขาวล้วนไม่ใส่ไข่แดงและไขมันใดๆ แต่จะใส่น้ำตาลในปริมาณมากในส่วนผสมของเค้กชนิดนี้

3) สปันจ์เค้ก (Sponge cake) เป็นเค้กที่ต้องตีทั้งไข่ขาวและไข่แดงกับน้ำตาลให้ขึ้นฟู เป็นลักษณะของเค้กชนิดนี้

2.5.1.3 มูสเค้ก (Mousse cake) เป็นเค้กที่ตีไข่ขาวหรือวิปปิ้งครีมให้ขึ้นฟูก่อนที่จะผสมกับส่วนผสมอื่นๆ จะทำให้เค้กนุ่ม เบา และมักจะใส่เจลาตินเพื่อให้เค้กคงรูปร่าง และจะต้องแช่เย็นไว้จนกว่าจะรับประทาน

2.5.1.4 ชีสเค้ก (Cheesecake) เป็นเค้กที่มีครีมชีสเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีทั้งแบบอบและไม่อบแต่จะใส่เจลาตินเป็นตัวช่วยให้คงรูปร่างของเค้กซึ่งต้องแช่เย็นจนกระทั่งรับประทาน เช่นเดียวกับมูสเค้ก

2.5.2 เค้กเนย (Butter cake)

เค้กเนย เป็นเค้กที่มีส่วนผสมหลักคือเนยสด ส่วนผสมของเค้กเนยประกอบด้วย แป้ง น้ำตาล และไข่ เพื่อให้ได้เค้กที่มีเนื้อหนักและมีกลิ่นหอมจากเนยสด โดยปริมาตรของเค้กขึ้นฟูด้วยการตีเนยกับน้ำตาลซึ่งทำให้ไขมันเก็บกักอากาศระหว่างตี จนมีลักษณะเป็นครีม ดังนั้นขั้นตอนการผสมแป้งจึงต้องทำอย่างรวดเร็ว เพื่อไม่ให้สูญเสียอากาศภายในส่วนผสม เนื้อเค้กมีความนุ่ม แน่นละเอียดเสมอกัน (รูปที่ 2.10) เช่น เค้กเนยสด เค้กผลไม้ เค้กสินอ่อน คัพเค้ก เค้กเนยสดใช้วิธีการตีครีม โดยนำเอาเนยและน้ำตาลมาตีจนเนื้อเนียนเพื่อเก็บอากาศลงไปในเนย จากนั้นใส่ไข่ลงไป ตามด้วยการทยอยใส่ส่วนผสมเปียกและแห้งสลับกัน

รูปที่ 2.10 ลักษณะของเค้กเนย
ที่มา : https://cooking.kapook.com/view139174.html (สืบค้นวันที่ 20 พฤษภาคม 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ส่วนผสมหลักของเค้กเนยสด

2.5.3.1 แป้งสาลี (จิตธนา และอรอนงค์, 2556)

แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทุกชนิด ไม่มีแป้งชนิดอื่นใช้แทนแป้งสาลีได้ ทั้งนี้เพราะแป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิดที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมคือ กลูเตนินและไกลอะดินซึ่ง เมื่อแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ถูกต้องจะทำให้เกิดสารชนิดหนึ่งเรียกว่า กลูเตน (gluten) มีลักษณะเป็นยาง เหนียว ยืดหยุ่นได้ กลูเตนนี้จะเป็นตัวเก็บก๊าซไว้ทำให้เกิดโครงร่างที่จำเป็นของผลิตภัณฑ์ และจะเป็นโครงร่างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของแป้งสาลีได้ ดังนี้

1) แป้งสาลีอเนกประสงค์ (All-purpose flour) มีโปรตีนสูงปานกลางร้อยละ 10 ถึง 11 เป็นแป้งที่ได้มาจากการผสมของข้าวสาลีชนิดแข็งและข้าวสาลีชนิดอ่อนในสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์หลายชนิดใช้ทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้หลายอย่าง เช่น ขนมปังจืดและหวาน ขนมเค้กบางชนิด ปาท่องโก๋ บะหมี่ เพสตรี ใช้เวลาในการนวดแป้งน้อยกว่าขนมปัง ลักษณะของแป้งชนิดนี้จะมีลักษณะของแป้งขนมปังและแป้งเค้กรวมกัน สารที่ทำให้ขึ้นฟูสำหรับแป้งชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งยีสต์และผงฟู

2) แป้งขนมปัง (Bread Flour) เป็นแป้งสาลีชนิดหนัก มีโปรตีนสูง ร้อยละ 12 ถึง 14 โม่จากข้าวสาลีชนิดแข็งพวก Hard Red Spring หรือ Hard Red Winter ซึ่งเป็นแป้งข้าวสาลีที่มีเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนสูง ใช้ทำผลิตภัณฑ์พวกขนมปังจืด ขนมปังหวาน และผลิตภัณฑ์ที่ทำการหมักด้วยยีสต์ทุกชนิด ลักษณะของแป้งจะรู้สึกคายมือคล้ายมีกรวดหรือหยาบเหมือนทราย มีสีครีมไม่ขาว เมื่อเอานิ้วกดลงไปจะไม่ปรากฏรอยนิ้วมือบนขนมปัง แป้งจะไม่มีการเกาะตัว แป้งชนิดนี้มีการใช้ยีสต์เพื่อทำให้เกิดการขึ้นฟูเพราะยีสต์สามารทำให้ก้อนโดพองตัวขึ้นได้

3) แป้งเค้ก (Cake Flour) เป็นแป้งสาลีที่มีโปรตีนต่ำร้อยละ 7 ถึง 9 ทำมาจากข้าวสาลีชนิดเบา เนื้อแป้งจะมีเนื้อที่เนียน ละเอียด เบา นุ่มมือ และมีสีขาว เมื่อเอานิ้วกดลงไปในเนื้อแป้งจะปรากฏเห็นเป็นรอยนิ้วมือเด่นชัด และจะทำให้แป้งชนิดนี้ขึ้นฟูได้จะต้องใช้ผงฟูหรือเบคกิ้งโซดา เป็นตัวทำให้ขึ้นฟูเท่านั้น แป้งชนิดนี้จึงเหมาะที่จะใช้กับเบเกอรี่พวกขนมเค้ก และขนมที่มีเนื้อละเอียด ฟูเบา เช่น ถ้วยฟู ปุยฝ้าย ซาลาเปา เป็นต้น

2.5.3.2 เนย (พิมพ์เพ็ญ, 2554)

เนย หรือ butter เป็นไขมันสัตว์ที่แยกได้จากน้ำนมหรือครีม (dairy product) มีน้ำนมจากสัตว์หลายชนิดที่สามารถนำมาผลิตเนยได้ เช่น วัว ควาย แพะ และแกะ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่ในท้องตลาดมักจะผลิตเนยจากน้ำนมวัว เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนที่เป็นไขมันของนมซึ่งผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยมีมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนัก และมีน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 16 ของน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเนื่องจากเนยแท้นั้นมีราคาสูงจึงมีผลิตภัณฑ์ทางเลือกขึ้นมาเพื่อลดต้นทุนในการผลิต คือเนยผสม หรือ blend butter คือเนยที่มีมันเนยผสมกับน้ำมันพืชในสัดส่วนที่ต่างกัน โดยร่วมกันแล้วได้ปริมาณไขมันร้อยละ 80 แต่เนยชนิดนี้ไม่ใช่เนย ตามที่ อย. ระบุ และไม่สามารถติดฉลากออกจำหน่ายว่าเนยได้

ไขมันหรือเนยที่เติมลงไปในส่วนผสมของเค้ก มีหน้าที่จับอากาศไว้ในขณะที่ผสมแป้งเค้ก อากาศที่ไขมันเก็บไว้ในระหว่างการตี มีหน้าที่เป็นตัวทำให้เค้กอ่อนนุ่มมากกว่าตัวไขมันจริงๆ ไขมันทุกชนิดถือว่ามีหน้าที่ทำให้ขนมมีความนุ่ม ไขมันในการทำเค้กโดยทั่วๆ ไปมีเนยสดเป็นไขมันที่ให้กลิ่นรสดีที่สุดในจำนวนไขมันทุกชนิดที่ใช้ในการทำขนมอบ แต่มีค่าของการเป็นชอตเทนนิ่งต่ำ คือ เวลาผสมจะมีน้ำหนักเนื้อไม่เนียนเป็นครีม และมักไม่เข้ากันดี

เค้กที่ทำด้วยเนยสดล้วนจึงมักจะมีปริมาตรไม่ดี และมีเนื้อเค้กหยาบกว่าเค้กที่ทำด้วยเนยขาวที่มีคุณภาพสูง ซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นครีมที่ดี แต่จะไม่มีกลิ่นรสที่ดีเหมือนเนยสด

ดังนั้นในการทำเค้กจึงนิยมใช้เนยสดหรือมาการีนหรือเนยขาวอย่างละครึ่ง โดยเนยสดมีหน้าที่ให้กลิ่นรส และเนยขาวมีส่วนช่วยในด้านการผสมและด้านปริมาณของเค้ก นอกจากนั้นมาการีน เนยขาว น้ำมัน ก็เป็นไขมันที่สำคัญในการให้ความชุ่มชื้นในเนื้อเค้ก

2.5.3.3 น้ำตาล (จิตธนา และอรอนงค์, 2554)

น้ำตาล เป็นตัวทำให้เค้กมีรสหวาน และยังทำให้เค้กเกิดความนุ่ม เพราะน้ำตาลมีผลทำให้โปรตีนในแป้งอ่อนตัว ช่วยให้เค้กมีอายุการเก็บไว้ได้ยาวนานขึ้น เนื่องจากน้ำตาลมีคุณสมบัติในการเก็บความชื้นที่ดี และยังทำ ให้เค้กมีผิวสีสวย น้ำตาลที่นิยมใช้ในการทำเค้กส่วนมากจะใช้น้ำตาลทรายเม็ดละเอียด อาจใช้น้ำตาลทรายแดงบ้างในการทำเค้กบางชนิด ปัจจัยที่ทำให้น้ำตาลละลายได้ในระหว่างผสมมี 4 ประการ คือ เวลาที่ใช้ผสม ขนาดของเม็ดน้ำตาล ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในส่วนผสม อุณหภูมิในระหว่างผสม

2.5.3.4 ไข่ (จิตธนา และอรอนงค์, 2556)

ไข่ที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เค้กและเบเกอรี่ส่วนมากใช้ไข่ไก่ ในประเทศไทยนิยมใช้ไข่ไก่สดซึ่งหมายถึงไข่ทั้งฟองที่อยู่ในเปลือกไข่เป็นส่วนผสมที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการทำผลิตภัณฑ์ เบเกอรี่และการบริโภค โดยเฉพาะการทำเค้กจะมีส่วนผสมของไข่ประมาณ 50% ซึ่งจะใช้ไข่ไก่ขนาดกลางน้ำหนักทั้งเปลือก 1 ฟอง เท่ากับ 55 กรัม

ไข่ในสูตรขนมหวานทั้งแบบอบและไม่อบทำหน้าสำคัญหลายอย่างซึ่งอาจแตกต่างกันแล้วแต่สูตรและชนิดของขนม โดยรวมแล้วมีหน้าที่ดังนี้

1) ทำให้ส่วนผสมเกาะตัวกัน (Binder) โปรตีนในไข่เมื่อเจอความร้อนจะแข็งตัวทำให้ส่วนผสมอื่นๆเกาะกัน เป็นโครงสร้างของเค้ก ถ้าในสูตรมีแป้งสาลี เมื่อผสมกับน้ำในไข่บวกกับการตีหรือตะล่อมจะทำให้เกิด gluten มาเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเค้กด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทำให้ส่วนผสมข้นขึ้น คุณสมบัตินี้เกิดจากโปรตีนมีทั้งในไข่แดงและไข่ขาว หลักการคล้ายกับข้อ 1 คือเมื่อถูกความร้อน โปรตีนในไข่จะแข็งตัวขึ้นและเปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นเจล กึ่งของเหลว หรือของแข็ง ขึ้นกับความร้อนที่ได้รับและเวลา โดยปกติไข่จะเริ่มเกาะตัวเป็นเจลเมื่อได้รับความร้อน 140 F ขึ้นไป ซึ่งใช้ในการทำให้ส่วนผสมในเค้กข้นขึ้นเท่านั้น

3) ทำให้เค้กนุ่มชุ่มชื้น ชุ่มฉ่ำ (moisture) จากคุณสมบัติของไขมันในไข่แดงเป็นหลัก นอกจากนี้ยังทำให้ขนมมีความ rich และได้รสชาติที่อร่อยขึ้น

4) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) คุณสมบัตินี้ได้มาจากไขมันบางชนิดในไข่แดง (Lecithin) ทำให้ไขมันและน้ำผสมกัน ผลคือส่วนผสมและเนื้อขนมที่เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน

5) ตัวทำให้เค้กฟูและนุ่ม เมื่อมีการตีไข่ แรงจากการตีและอากาศที่แทรกเข้าไปในไข่ทำให้โครงสร้างของไข่เปลี่ยนแปลงไป จากของเหลวกลายโฟมเล็กๆเกาะกันอยู่ นั่นคืออากาศที่แทรกอยู่ในร่างแหของโปรตีนและส่วนประกอบอื่นๆของไข่ เมื่อนำไปอบ ความร้อนจะทำให้อากาศในโฟมขยายตัวขึ้นทำให้เค้กขึ้นฟู

6) เพิ่มปริมาตร (volume) เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นพร้อมกับข้อ 5 คือ เมื่อตีไข่จนเกิดโฟมแล้ว ปริมาตรจะเพิ่มขึ้นด้วย และอาจมากกว่าเดิมได้ถึง 3 เท่า

2.5.3.5 นมผง (จิตธนา และอรอนงค์, 2554)

นมผง คือนมสดที่ระเหยเอาน้ำออกเกือบหมด จะนำมาผสมในน้ำหรือนำไปใช้เลยโดยไม่ผสมน้ำก็ได้ มีทั้งนมผงชนิดไขมันเต็ม และนมผงขาดมันเนยหรือ ที่ส่วนมากรู้จักกันว่า “หางนม” มีราคาถูก เก็บไว้ได้นาน ต่างจากนมไขมันเต็มที่มักเหม็นหืนและจับตัวเป็นก้อน

นมผงช่วยให้เกิดโครงสร้าง และความมันแก่เค้ก และยังทำให้เค้กเกิดความแข็งและแห้งในขณะเดียวกัน เนื่องจากนมผงมีการเชื่อมกับโปรตีนในแป้ง ทำให้เกิดการแข็งตัว นอกจากนี้นมผงยังเป็นตัวให้สีที่ผิวเค้ก เนื่องจากในนมผงมีน้ำตาลแลคโตสอยู่และยังช่วยให้เกิด กลิ่นรส และเป็นตัวเก็บความชื้นได้ดีด้วย นมจะดูดน้ำ ทำให้เนื้อเค้ก เก็บความชุ่มไว้มากขึ้น (http://ibakedhomemadebakery.blogspot.com/2015/03/blog-post_94.html สืบค้นวันที่ 20 พฤษภาคม 2562)

2.5.3.6 น้ำ (จิตธนา และอรอนงค์, 2554)

น้ำเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เพราะน้ำช่วยให้ส่วนผสมต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์เข้ากันได้ดี น้ำยังช่วยให้ผงฟูทำปฏิกิริยาเปลี่ยนสภาพจากแป้งดิบเป็นแป้งสุก เมื่อได้ความร้อนขณะที่อบ และช่วยป้องกันไม่ให้เนื้อด้านในของเบเกอรี่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ทำให้เก็บได้นานขึ้น น้ำที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ควรเป็นน้ำที่ใสสะอาดบริสุทธิ์ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อน น้ำที่สามารถดื่มได้ก็สามารถใช้ทำผลิตภัณฑ์ เบเกอรี่ได้ซึ่งน้ำมีหน้าที่ดังนี้ น้ำช่วยทำให้เกิดกลูเต็น เป็นตัวละลายส่วนผสมอื่น ๆ เช่น น้ำตาล เกลือ ช่วยควบคุมอุณหภูมิและความหนืดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โด ทำให้แป้งเปียกชื้น เกิดการพองโต และเอนไซม์ทำงานได้ดี และช่วยทำให้เก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น โดยไม่เสียความชุ่มชื้น

2.5.3.7 ผงฟู (Baking Powder) (จิตธนา และอรอนงค์, 2554)

เป็นสารเสริมที่ช่วยทำให้ขนมต่าง ๆ มีความโปร่งเบา ฟู และเพิ่มปริมาตร โดยผงฟูจะช่วยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างผลิต ผงฟูเป็นส่วนผสมของโซเดียมไบคาร์บอเนตหรือเบคกิ้งโซดา ผสมกับสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นกรด และแป้งข้าวโพดที่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้สารทั้งสองสัมผัสกันโดยตรงเพราะจะทำปฏิกิริยากัน

2.5.3.8 เกลือ

เกลือ เป็นส่วนผสมที่ช่วยเพิ่มรสชาติสำหรับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ส่วนใหญ่ใช้เกลือ ธรรมดาซึ่งประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 99 เกลือที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ คือ เกลือธรรมดา (Normal salts) หมายถึง โซเดียมคลอไรด์ มีผงละเอียด สีขาว ช่วยปรับรสชาติให้มีความกลมกล่อมขึ้น (https://ninlawantaa.weebly.com/362736093656362336183607363736561 .html สืบค้นวันที่ 20 พฤษภาคม 2562)

2.6 สารทดแทนไขมัน

ไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานมากกว่าโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต 2.25 เท่าในปริมาณน้ำหนักแห้งที่เท่ากัน ไขมันทำให้อาหารมีกลิ่นรสและมีเนื้อสัมผัสที่ดี ให้กรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid) และเป็นตัวนำวิตามินบางชนิดที่ละลายได้ดีในไขมันได้แก่ วิตามิน เอ ดี อี และ เค เข้าสู่ร่างกาย ไขมันมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่เฉพาะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ลักษณะโครงสร้าง การละลาย และ การแข็งตัวการจับตัวกับน้ำ และ โมเลกุลอื่นๆที่ไม่ใช่ไขมัน ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารแตกต่างกัน

2.6.1 หน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของไขมัน

ไขมันมีหน้าที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 4 ประการคือ

1) ลักษณะปรากฏ (appearance) เช่น ความมันวาว (gloss) ความโปร่งใส (translucency) สี

.

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) เช่น ความหนืด ความยืดหยุ่น (elasticity) และความแข็ง (hardness)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) รสชาติ (flavor) เช่น ความเข้มของรสชาติ โปรไฟล์ของสารให้กลิ่นรส (flavor Profile)

4) ความรู้สึกเมื่ออยู่ในปาก (mouthfeel) เช่น การละลาย (meltability), creaminess

2.6.2 การใช้สารทดแทนไขมัน (Formulation optimization)

ปัจจุบันได้มีการผลิตสารทดแทนไขมัน (fat replacer) เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร อย่างแพร่หลาย การลดปริมาณของไขมันในผลิตภัณฑ์ลงทำให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ เพิ่มขึ้นจึงต้องมีการใช้ส่วนผสมอาหารที่ให้คุณสมบัติทางหน้าที่คล้ายไขมัน (functional ingredients) เช่น โปรตีน แป้ง และ thickener ชนิดต่างๆ กัม, stabilizer, gelling agent, bulking agent, อิมัลซิไฟเออร์ และไฟเบอร์ การเลือกชนิดของส่วนผสมเพื่อใช้ในการแทนที่ไขมันจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ และระดับของปริมาณไขมันที่ต้องการให้ลดลงซึ่งจะต้องทำให้เกิดสมดุลเพื่อให้ได้

2.6.3 การแบ่งชนิดของสารทดแทนไขมัน (Classification of fat replacers)

ปัจจุบันมีการใช้สารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารประมาณ 300 ชนิด สาร ทดแทนไขมัน ได้แก่ สตาร์ชดัดแปร (modified starch) ไฟเบอร์ (fiber) กัม (gum) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers) restructured protein และ แบคทีเรียเซลลูโลส (cellulose) สารทดแทน ไขมันแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ fat substitute และ fat mimetic (รูปที่ 2.11)

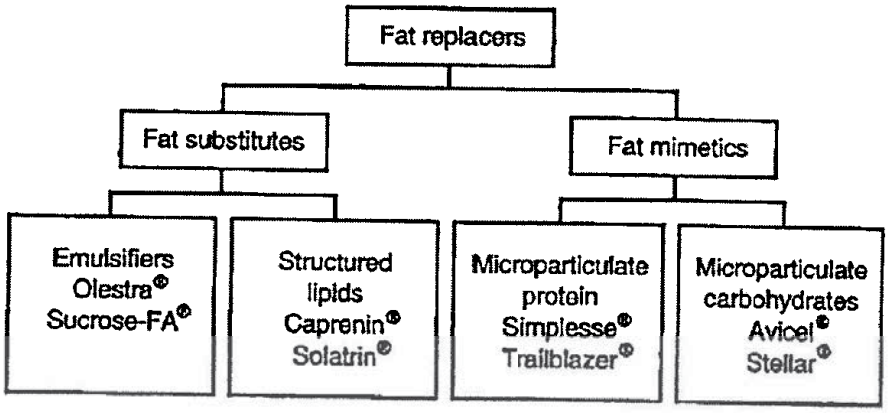
1) Fat substitute

fat substitute เป็นเทอมที่ใช้เรียกส่วนผสมของอาหาร ที่นำมาใช้ในการทดแทน ไขมันซึ่งส่วนผสมเหล่านี้มีโครงสร้างทางเคมี และลักษณะทางกายภาพคล้ายไขมันแต่ไม่สามารถย่อยสลายโดย digestive enzyme และให้พลังงานน้อยที่สุดหรือไม่ให้พลังงานต่อร่างกายเลย

2) Fat mimetic

Fat mimetic เป็นโปรตีน หรือ คาร์โบไฮเดรต หรือ ส่วนผสมของสารทั้งสองชนิดซึ่งสามารถ เลียนแบบคุณสมบัติทางหน้าที่ของไขมันได้แก่ คุณลักษณะทางกายภาพ เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปาก (mouthfeel) และ คุณสมบัติทาง ประสาทสัมผัสของไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ประเภทของสารทดแทนไขมัน
ที่มา : http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-5.pdf
(สืบค้นวันที่ 23 พฤษภาคม 2562)

2.6.4 ประเภทของสารทดแทนไขมันที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

สารทดแทนไขมันที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) Carbohydrate based fat replacer

สารทดแทนไขมันที่จัดอยู่ในกลุ่ม carbohydrate – based fat replacer ได้แก่ แบคทีเรียเซลลูโลส (cellulose), มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) กัม (gum) สตาร์ช (starch) ไฟเบอร์ (fiber) และ polydextrose

คาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในทดแทนไขมันส่วนใหญ่จะทำหน้าที่เป็น thickeners และ stabilizers และ สามารถใช้ทดแทนไขมันได้ใน formulated food หลายชนิด รวมถึง ผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการให้ความร้อนแต่ไม่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องผ่าน การทอด (frying foods)

2) Protein – based fat replacer

สารทดแทนไขมันประเภทนี้สามารถใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหาร หลากหลายชนิด โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง (frozen product) และ ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็น (refrigerated products) ถึงแม้ว่าสารทดแทนไขมันที่ได้จาก โปรตีนจะไม่เหมาะกับการใช้กับอาหารประเภททอดแต่ก็สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ที่ต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน ได้แก่ cream soups, ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ และ ผลิตภัณฑ์ขนมอบ

3) Fat – based fat replacer

นักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันเพื่อผลิตสาร ทดแทนไขมัน ซึ่งไม่ให้พลังงานกับร่างกาย สารทดแทนไขมันประเภทนี้เมื่อผ่านเข้าสู่ ร่างกายจะไม่สามารถย่อยสลายโดย digestive enzyme ตัวอย่างของสารทดแทนไขมัน ประเภทนี้ได้แก่ Olestra ซึ่งสารชนิดนี้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเสถียรต่อความร้อนสามารถใช้กับ ผลิตภัณฑ์อาหารประเภททอด และ สามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้ (cocoa butter substitute) ได้

เทคโนโลยีสมัยใหม่ทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันต่ำ ได้หลายชนิด เช่น น้ำสลัด น้ำมันที่ใช้ทอด (cooking oil) ชีส ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และผลิตภัณฑ์อาหารว่าง (salty snacks) และ แครกเกอร์ (crackers) เป็นต้น

2.6.5 การจัดจำแนกชนิดเพื่อระบุปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์

US Food Labeling Regulation ได้จำแนกการการระบุการลดลงของปริมาณไขมันและพลังงานบนฉลากของผลิตภัณฑ์ดังนี้

2.6.5.1 ไขมัน (fat)

1) Fat – free หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันน้อยกว่า 0.5 กรัม / reference serving size

2) Low fat หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 กรัม / reference serving size

3) Reduced or less fat หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 25 / serving regular (full fat) product

2.6.5.2 แคลอรี (calories)

1) Calorie – free: ให้พลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 แคลอรี / reference serving size

2) Low calorie: ให้พลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 แคลอรี / reference serving size

3) Reduced or fewer calories: ให้พลังงานน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ไขมันเต็มร้อยละ 25 / reference serving size

4) Light calories: ให้พลังงานต่ำกว่า 1/3 หรือ 1/2 ของไขมันใน reference food (http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-5.pdf สืบค้นวันที่ 20 พฤษภาคม 2562)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิรนาถ และนนทิภา (2553) ได้ศึกษาการใช้สารทดแทนไขมันจากอีควาเซีย (Equacia) บางส่วนในผลิตภัณฑ์เค้กเนย โดยทดลอง แปรระดับอีควาเซีย ที่ร้อยละ 0-3 (กรัมสารทดแทนไขมันต่อกรัมเนยและมาการีน) ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่าเค้กเนยมีค่าปริมาตรจำเพาะ ค่าการคืนตัวลดลง ในขณะที่ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณอีควาเซียมากขึ้น สำหรับคุณสมบัติด้านสี พบว่า ค่าความสว่าง (L*) เพิ่มขึ้น แต่มีค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ลดลง ตามปริมาณอีควาเซียที่มากขึ้น ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ทางด้าน ลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความชอบโดยรวมพบว่าเค้กเนยที่มีการใช้สารทดแทนไขมันบางส่วนด้วยอีควาเซีย ที่ระดับร้อยละ 1.5 ได้รับการยอมรับมากที่สุดเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าเค้กเนยที่ทดแทนไขมันบางส่วนด้วยสารอีควาเซีย ที่ระดับร้อยละ 1.5 มีปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหาร และเถ้าใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน ในขณะที่ปริมาณไขมันและค่าพลังงานลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ฐิตา และคณะ (2557) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการพรีไฮโดรไลซิส โดยใช้อุณหภูมิที่ 70 และ 90 องศาเซลเซียส จากการวิจัยพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดแบคทีเรียเซลลูโลสที่ 70 และ 90 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อปริมาณแบคทีเรียเซลลูโลสที่สกัดได้แต่จะส่งผลต่อขนาดอนุภาค รูปร่าง และจำนวนรูพรุนของเส้นใย จะส่งผลต่อความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการอุ้มน้ำ

ณรงค์ และคณะ (2561) ได้ศึกษาผลของการใช้ด่างในการปรับสภาพแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรียโดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งเป็นกลาง แล้วนำมาทำให้แห้งบดเป็นผง ผลการทดลองพบว่า แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นเล็กๆที่มีความนุ่มกว่าวิธีการปรับสภาพด้วยน้ำ

วันเพ็ญ (2551) ศึกษาการสกัดแบคทีเรียเซลลูโลสจากเปลือกส้มโอ พบว่า การใช้ความร้อนในการต้มเป็นเวลา 5 และ 10 นาที จะส่งผลให้แบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการกักเก็บน้ำและความสามารถในการพองตัวดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกส้มโอที่ไม่ได้ผ่านการต้ม ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำมัน พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการต้มจะทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการกักเก็บน้ำและความสามารถในการพองตัวดีขึ้น ส่วนค่าสี พบว่า การต้มทำให้น้ำตาลบางส่วนในแบคทีเรียเซลลูโลสสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ต้ม เมื่อนำมาทำแห้งจึงไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ทำให้สีเข้ม สีของแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จึงมีสีที่อ่อนกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสที่ไม่ได้ผ่านการต้ม

Ates และ Elmaci (2018) ทำการศึกษาถึงผลของการใช้เยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟทดแทนไขมันในสูตรเค้กและผลต่อคุณลักษณะทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของเค้ก โดยศึกษาผลในการทดแทนไขมันด้วยเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟเป็นร้อยละ 20 25 และ 30 พบว่าการทดแทนไขมันด้วยเยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจำเพาะและน้ำหนักที่หายไปของเค้ก ค่า L*และ b* มีค่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ค่า a* มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนื้อและค่าการเคี้ยวของเค้กมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการคืนกลับขนาดเดิมและค่าความสามารถในการยึดเกาะของโครงสร้างมีค่าลดลง เยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟที่ทรีตด้วยน้ำสามารถใช้ทดแทนไขมันได้ถึงร้อยละ 30 ในสูตรเค้กเพื่อปรับปรุงเค้กให้มีปริมาณเส้นใยที่สูง โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของเค้กอย่างมีนัยสำคัญ

Bicu และ Mustata (2011) ได้ศึกษาการสกัดแบคทีเรียเซลลูโลสโดยใช้เปลือกส้มเป็นวัตถุดิบและทดลองใช้สารในการสกัดเปลือกส้มที่แตกต่างกันคือ โซเดียมซัลไฟต์ และโซเดียมเมตาไบ-ซัลไฟต์ โดยศึกษาผลของ ปริมาณสารซัลไฟต์และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณผลผลิตของแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้ โดยมีตัวแปรคงที่อีก 2 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydromodulus ผลการศึกษาพบว่าอัตราผลได้ที่เหมาะสมซึ่งสังเกตจากน้ำหนักเปลือกส้มที่ผ่านการสกัดสองครั้งที่ได้จากการย่อยด้วยโซเดียมซัลไฟต์และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เท่ากับ ร้อยละ 40.4 และ 45.2 ตามลำดับ จากนั้นแบคทีเรียเซลลูโลสที่สกัดได้ในขั้นแรกจะนำไปฟอกด้วยไฮโปคลอไรท์และออกซิเจน และนำมาศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสพบว่าแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้มีความบริสุทธิ์ที่ดี คือมีความเป็นผลึกต่ำ มีความขาว มีคุณสมบัติในการการกักเก็บน้ำที่ดีและมีน้ำหนักโมเลกุลในระดับปานกลาง จากคุณสมบัติเฉพาะเหล่านี้แบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้สามารถนำมาใช้เป็น ฟิลเลอร์ สารดูดซับน้ำหรือเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับการสร้างอนุพันธ์แบคทีเรียเซลลูโลส

Borneo และคณะ (2010) ศึกษาถึงการใช้เมือกของเมล็ดเจียในการทดแทนไข่และไขมันในสูตรเค้ก โดยใช้เมือกของเล็ดเจียที่ร้อยละ 25, 50 และ 75 และพบว่าการใช้เมือกของเมล็ดเจียที่ระดับร้อยละ 25 ไม่มีความแตกต่างกับสูตรมาตรฐานในด้านค่าสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณลักษณะโดยรวม

Deepa และคณะ (2011) ได้ศึกษาคุณลักษณะด้านโครงสร้าง สัณฐานวิทยา และการทนความร้อนของเส้นใยกล้วยระดับนาโนที่ได้จากการสกัดด้วยไอน้ำ ได้ทำการสกัดเส้นใยนาโนแบคทีเรียเซลลูโลสจากเส้นใยกล้วยโดยใช้เทคนิคการสกัดด้วยไอน้ำ จากนั้นศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คุณลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสมบัติการทนความร้อนของเส้นใยระดับนาโนเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผสมทางชีวภาพ จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยกล้วยพบว่าปริมาณแบคทีเรียเซลลูโลสมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 64 เป็นร้อยละ 95 เป็นผลมาจากการย่อยด้วยด่างและกรด จากการประเมินองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยก่อนและหลังการย่อยทางเคมีพบว่าหลังจากผ่านการสกัดด้วยความร้อน การฟอก และการย่อยด้วยกรดช่วยกำจัดองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ที่ไม่ใช่แบคทีเรียเซลลูโลส เช่น เฮมิแบคทีเรียเซลลูโลส และลิกนิน เมื่อนำมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวเส้นใยโดยใช้ SEM และ AFM พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีขนาดลดลงระหว่างการสกัดด้วยไอน้ำและรองลงมาคือการย่อยด้วยกรด

Fernandes และคณะ (2017) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เมือกของเมล็ดเจียที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสและในรูปของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อลดปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบในขนมปังและเค้ก ในระดับที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้เมือกของเมล็ดเจียสามารถทดแทนไขมันได้ถึงร้อยละ 50 โดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้

Naowakul และคณะ (2013) ได้ศึกษาผลของความเร็ว (16,820 18,220 และ 20,220 รอบต่อนาที) และ ระยะเวลา (1, 3 และ 5 นาที) ในการบดเปียกต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยอาหารผงที่เตรียมจากเปลือกในส้มโอ จากผลการศึกษาพบว่า ความเร็วในการบดเปียกเปลือกในส้มโอมีอิทธิพลต่อสมบัติของเส้นใยอาหารผงที่เตรียมจากเปลือกในส้มโอมากกว่าระยะเวลาในการบดเปียก การเพิ่มความเร็วทำให้ค่า L* ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน วอเตอร์แอคทิวิตี้ และปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำลดลง การเพิ่มระยะเวลาในการบดเปียกทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง การบดเปียกด้วยความเร็วระดับสูง เป็นเวลา 1 นาที ทำให้ได้เส้นใยอาหารผงที่มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีคือ มีค่า L* เท่ากับ 97.29 ปริมาณผลผลิตที่ได้เท่ากับร้อยละ 11.40 วอเตอร์แอคทิวิตี เท่ากับ 0.207 ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 7.84 โดยน้ำหนักเปียก ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.10 ความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 14.50 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ความสามารถในการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 2.38 กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารทั้งหมดเท่ากับ ร้อยละ 44.57, 35.45 และ 80.02 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ดังนั้นสภาวะในการบดเปียกด้วยความเร็ว 20,220 รอบ เป็นเวลา 1 นาที จึงเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ร่วมกับขั้นตอนอื่นๆ ในการผลิตเส้นใยอาหารผงต่อไป

Pizarro และคณะ (2013) ประเมินผลกระทบของการผสมผงเมล็ดเจียและน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนในเค้กปอนด์ ผลที่ได้คือการเติมผงเมล็ดเจียส่งผลต่อปริมาตรจำเพาะ และค่าสีของเค้ก โดยการเติมในระดับที่ดีที่สุดคือ 15 กรัมต่อส่วนผสมแป้ง 100 กรัม และเติมน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนในระดับ 20 กรัมต่อแป้ง 100 กรัม ซึ่งทำเค้กปอนด์ที่ได้มีระดับโปรตีนสูง ปริมาณน้ำมันและเถ้าใกล้เคียงกับสูตรควบคุม

Roman และ Winter (2004) ทดลองใช้กรดซัลฟิวริกในการปรับสภาพแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย เพื่อทำให้บริสุทธิ์โดยการแช่ในสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 6-7 วัน จากนั้นนำไปล้างน้ำจนกระทั่ง pH เป็นกลาง และนำมาแช่ในสารละลายกรดแอซิติก 1-4 วัน และล้างด้วยน้ำจากนั้นนำไปกรอง นำแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้ไปทำแห้งและนำมาแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 12 (w/v) จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของกรดที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ปริมาณของแบคทีเรียเซลลูโลสที่เพิ่มมากขึ้น

Zeng และคณะ (2014) ได้ศึกษาการผลิตแผ่นฟิล์มบางจากแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผลิตจากแบคทีเรีย โดยใช้แบคทีเรียสองสายพันธุ์ ได้แก่ *Gluconacetobacter xylinus* (GX) และ *Gluconacetobacter europaeus* (GE) และใช้วิธีการอบแห้งแผ่นฟิล์มสามวิธี ได้แก่การทำแห้งที่อุณหภูมิห้อง การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการทำแห้งยิ่งยวด (supercritical drying) จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่ได้มาศึกษาคุณลักษณะ ความพรุน ความโปร่งใส ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAC) และสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ได้ พบว่าวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันเกิดจากการเลือกใช้สายพันธุ์แบคทีเรียหรือวิธีการทำให้แห้งที่แตกต่างกัน แผ่นฟิล์มของ GE ที่ผ่านการทำแห้งยิ่งยวดได้ฟิล์มที่มีความแข็งแรงเชิงกลและมีน้ำหนักเบามากอยู่ที่ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความพรุนสูงถึงร้อยละ 96 และมีความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 110 เท่าของน้ำหนักแห้ง แผ่นฟิล์มที่ได้จากสายพันธุ์ GE ไม่ได้รับผลกระทบจากวิธีการทำแห้งมากนัก ในทางตรงกันข้าม แผ่นฟิล์มแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย GX มีความไวต่อวิธีการอบแห้งที่ใช้ โดยแผ่นฟิล์มมีความหนาแน่น 0.6 – 0.2 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความพรุนตั้งแต่ร้อยละ 60 ถึงร้อยละ 90 และความสามารถในการดูดซับน้ำที่สูงที่สุดเป็น 66 เท่าของน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

1. วุ้นมะพร้าวที่ได้รับความอนุเคราะห์จากห้างหุ้นส่วนจำกัด นิรุตโคโค่ (NIRUT COCO LIMITED PARTNERSHIP) ซึ่งใช้ระยะเวลาในการหมักเป็นเวลา 10-12 วัน ซึ่งมีความหนาอยู่ที่ 23-25 มิลลิเมตร ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.30

2.ส่วนผสมของเค้กเนย

- 2.1 แป้งแค้ก ตราพัดโบก
- 2.2 น้ำตาลทรายเบเกอรี่ ตราลิน
- 2.3 เนยสดชนิดจืด ตราออร์คิด
- 2.4 นมผง ตราแดรี่ ฟาร์ม Dairy Farm
- 2.5 ไข่ไก่ เบอร์ 2
- 2.6 เกลือ ตราปรุงทิพย์
- 2.7 ผงฟู ตราอิมพีเรียล
- 2.8 น้ำ
- 2.9 ยูเอฟเอ็ม เอสพี (UFM SP)

3.1.2 สารเคมี

1. สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ความเข้มข้น 1 M
2. กรดแอซีติกเข้มข้น (Food Grade)
3. สารละลายเอนไซม์ α – amylase ยี่ห้อ SIGMA
4. สารละลายเอนไซม์ Protease ยี่ห้อ SIGMA
5. สารละลายเอนไซม์ Amyloglucosidase ยี่ห้อ SIGMA
6. Ethanol 95 % ยี่ห้อ PURE
7. Phosphate buffer 0.08 M, pH 6.0 (ซึ่ง sodium phosphate dibasic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

anhydrous 1.4000 กรัม และ sodium phosphate monobasic anhydrous 8.4000 กรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร ปรับ pH 6)

8. สารละลาย NaOH 0.275 N (ตวงสารละลาย sodium hydroxide 1 N ปริมาตร 275 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร)

9. สารละลาย HCl 0.325 N (ตวงสารละลาย hydrochloric acid 1 N ปริมาตร 325 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร)

10. กรดซัลฟูริกเข้มข้น ยี่ห้อ ajax finechem

11. สารละลาย NaOH ร้อยละ 40

12. สารละลายกรดบอริก ร้อยละ 4

13. Catalyst (ตัวเร่งปฏิกิริยา) ประกอบด้วย K_2SO_4 ร้อยละ 98 และ $CuSO_4$ ร้อยละ 2

14. สารละลายอินดิเคเตอร์ เมธิลเรด

15. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือวิเคราะห์ใยอาหาร (Dietary fiber analyzer) ยี่ห้อ VELP Scientifica รุ่น Enzymatic Digester (GDE) และ Filtration unit (CSF6)

2. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น Z383K ยี่ห้อ HERMLE

3. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ยี่ห้อ Aqualab

4. เครื่องทำแห้งแบบถาด (Tray dry) ยี่ห้อ กล้วยน้ำไท รุ่น เตาอบแห้งระบบลมร้อนไฟฟ้า 12 ถาดสแตนเลส

5. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert

6. เตาเผาอุณหภูมิสูง รุ่น CSF1200 ยี่ห้อ Carbolite Furnces

7. เครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น Miniscan EZ

8. เครื่องวัด pH (pH meter) ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น SevenCompact pH/Ion meter S220

9. กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T

10. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น Valor1000 ยี่ห้อ OHAUS

11. Micropipette ขนาด 20-200 ไมโครลิตร และ 100-1000 ไมโครลิตร

12. เครื่องบดอาหารไฟฟ้า ยี่ห้อ Philip

13. กระบอกตวงขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร

14. Crucible P2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. บีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร 100 มิลลิลิตร 400 มิลลิลิตร 500 มิลลิลิตร และ 1000 มิลลิลิตร

16. โถดูดความชื้น (desiccator)

17. เครื่องบดละเอียด Pin Mill

18. หลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร

19. เตาอบไฟฟ้า รุ่น LR-GS3

20. เครื่องตีผสม ยี่ห้อ Semon รุ่น Si-MX5

21. อุปกรณ์การย่อย ยี่ห้อ Gerhardt

22. อุปกรณ์การกลั่น ยี่ห้อ Gerhardt

23. เครื่อง FT-IR รุ่น IRTracer-100 ยี่ห้อ SHIMADZU

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (paste) จากวุ้นมะพร้าว

1. นำแผ่นวุ้นมะพร้าวไปตัดให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมเพื่อให้มีขนาดประมาณ 10 X 10 มิลลิเมตร

2. บดโดยใช้เครื่องบดอาหารไฟฟ้าให้ละเอียด แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง

3. ใส่ถุงผ้าบีบน้ำออก จะได้ตัวอย่างที่อยู่ในรูปชนิดข้น (paste)

4. นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าสี และความเป็นกรด-ด่าง

3.2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสผง

3.2.2.1 การศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อคุณสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสผง

1. นำแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผ่านการบดแล้ว (paste) ไปปรับให้มีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4, 7 และ 10 โดยใช้กรดแอซีติกเข้มข้นและสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ความเข้มข้น 1 โมลาร์

2. แช่แบคทีเรียเซลลูโลสทิ้งไว้ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง คนส่วนผสมเป็นระยะ

3. นำแบคทีเรียเซลลูโลสมากรองและล้างด้วยน้ำสะอาด จนกระทั่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 6-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้ไปเกลี่ยให้เป็นแผ่นบางๆ ความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร บนตะแกรง

5. นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dry) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

6. นำแบคทีเรียเซลลูโลสที่แห้งแล้วไปทำให้มีขนาดเล็กลงโดยใช้เครื่องบดไฟฟ้า จากนั้นนำไปทำให้เป็นผงละเอียดโดยใช้เครื่องบดละเอียด Pin-mill ที่มีขนาดของรูตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที

7. นำแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ค่าสี ค่าความหนาแน่นจำเพาะ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ คุณสมบัติทางเคมีได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption)

3.2.2.2 การศึกษาความเป็นกรด-ด่างร่วมกับการให้ความร้อนต่อคุณสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสผง

1. นำแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้มาปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมจากข้อ 3.2.2.1

2. นำมาให้ความร้อน 2 แบบได้แก่ การให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งแรงดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที และให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยในระหว่างให้ความร้อนจะทำการคนตัวอย่างเป็นระยะ

3. นำมากรองและล้างแบคทีเรียเซลลูโลสด้วยน้ำสะอาด จนกระทั่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6-7

4. นำแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้ไปเกลี่ยให้เป็นแผ่นบางๆ ความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร บนตะแกรง

5. นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

6. นำแบคทีเรียเซลลูโลสที่แห้งแล้วไปทำให้มีขนาดเล็กลงโดยใช้เครื่องบดไฟฟ้า และนำไปทำให้เป็นผงละเอียดโดยใช้เครื่องบดละเอียด Pin-mill ที่มีขนาดของรูตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ค่าสี ค่าความหนาแน่นจำเพาะ (Specific volume) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity (a_w)) และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการพองตัวและความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

3.2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่มีคุณสมบัติที่ดีจากข้อ 3.2.2 กับแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

นำแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่มีคุณสมบัติที่ดีที่ได้จากวิธีการอบแห้งแบบถาดและแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD) มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่าสี ค่าความหนาแน่นจำเพาะ ลักษณะสัณฐานของแบคทีเรียเซลลูโลสผงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble fiber) เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble fiber) ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการพองตัวและความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

3.2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผง

3.2.4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1) วัดค่าสี ในระบบ L*, a* และ b* ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น MiniScanEZ

บรรจุตัวอย่างในถ้วยพลาสติก เกลี่ยผิวหน้าตัวอย่างให้เรียบ ใช้หัววัดสีวางทาบลงบนตัวอย่างในแนวตั้งฉากและอ่านค่า

โดยที่ ค่า L* บ่งบอกถึง ความสว่าง (lightness) มี ค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว

ค่า a* บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*)

ค่า b* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*)

2) การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ โดยใช้เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ยี่ห้อ AquaLab รุ่น Series 3 TE

3) การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของแบคทีเรียเซลลูโลสผง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การวิเคราะห์ความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk Density; BD) ตามวิธีการของ Kaur และคณะ (2007) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1) นำตัวอย่างแห้งน้ำหนัก 2 กรัมใส่ในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร

2) วัดปริมาตรตัวอย่างที่ได้

3) คำนวณหาค่าความหนาแน่นจำเพาะ โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นจำเพาะ (กรัมตัวอย่างต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง}}$$

3.2.4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

1. การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

โดยใช้เครื่อง pH meter ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น SevenCompact pH/Ion meter S220

2. การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ(soluble dietary fiber and insoluble dietary fiber) ตามวิธีการของ AACC method 32-05.01 , AOAC method 985.29 และ AOAC, 2000

1) นำ crucible P2 เผาด้วยเตาอบอุณหภูมิสูง 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำสะอาด และทิ้งให้แห้ง

2) บรรจุซีไลท์ 0.1 กรัม กระจายซีไลท์ให้ทั่วโดยการเขย่าเบาๆ

3) นำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

4) เก็บในโถดูดความชื้นจนกระทั่งนำไปใช้ ซึ่งก่อนใช้ต้องนำ crucible P2 ฉีดน้ำกลั่นให้ชุ่ม

5) ชั่งตัวอย่าง 0.02 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร และใส่แท่งกวนแม่เหล็ก

6) ขั้นตอนการเจลาติไนส์ด้วยเอนไซม์ α- amylase

6.1 เติมสารละลาย phosphate buffer (pH 6.0) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง

6.2 เติมเอนไซม์ α - amylase ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน ปิดปากบีกเกอร์ด้วยแผ่นอะลูมินัม นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และบ่มต่ออีก 15 นาที โดยเปิดระบบการกวนด้วยแม่เหล็ก ใน water bath (GDE)

7) ขั้นตอนการกำจัดโปรตีนออกจากตัวอย่างโดยใช้เอนไซม์ protease

7.1 นำสารละลายที่ผ่านการเจลาติไนส์มาทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ล้างผนังข้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

7.3 ปรับ pH ของสารละลายตัวอย่างให้มี pH 7.5±0.2 ด้วย NaOH ความเข้มข้น 0.275 M (ใช้ปริมาตรประมาณ 10 มิลลิลิตร)

7.4 เติมเอนไซม์ protease ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยแผ่นอะลูมินัม บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ใน water bath (GDE) เปิดระบบการกวนด้วยแม่เหล็ก

8) ขั้นตอนการกำจัดแป้ง (starch) ออกจากตัวอย่างโดยใช้เอนไซม์ Amyloglucosidase

8.1 นำสารตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดโปรตีนออกแล้วมาทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

8.2 ปรับ pH ของสารละลายตัวอย่างให้มี pH 4.5 ± 0.2 ด้วย HCl ความเข้มข้น 0.325 M (ใช้ปริมาตรประมาณ 10 มิลลิลิตร)

8.3 เติมเอนไซม์ Amyloglucosidase ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยแผ่นอะลูมินัม บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ใน water bath (GDE) เปิดระบบการกวนด้วยแม่เหล็ก

9) ปิดระบบการกวนและปิดเครื่อง water bath (GDE)

10) นำตัวอย่างออกจาก water bath (GDE) และนำแท่งกวนแม่เหล็กออก

11) ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

12) กรองผ่าน Crucible P2 โดยใช้เครื่อง Filtration unit (CSF6) ล้างผนังข้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่น จำนวน 2 รอบ รอบละ 10 มิลลิลิตร และล้างต่อด้วย ethanol ร้อยละ 95 จำนวน 2 รอบ รอบละ 10 มิลลิลิตร ทำให้ได้เป็นตะกอน (insoluble) กับสารละลายส่วนใส (soluble)

13) นำสารละลายส่วนใส (soluble) ที่กรองออกมาจากเครื่อง Filtration unit (CSF6) มาตกตะกอนด้วย ethanol ร้อยละ 95 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 400 มิลลิลิตร (ล้างผนังข้างบีกเกอร์ด้วย ethanol ร้อยละ 95)

14) ตั้งทิ้งให้ตกตะกอน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

15) ใช้ ethanol ร้อยละ 78 ฉีดให้ชุ่ม crucible P2 และกรองสารละลายส่วนใส (soluble) ผ่าน Crucible P2 โดยใช้เครื่อง Filtration unit (CSF6) ล้างตะกอนด้วย ethanol ร้อยละ 78 จำนวน 3 รอบ รอบละ 20 มิลลิลิตร จากนั้นล้างต่อด้วย ethanol ร้อยละ 95 จำนวน 2 รอบ รอบละ 10 มิลลิลิตร และล้างต่อด้วยอะซิโตน จำนวน 2 รอบ รอบละ 10 มิลลิลิตร

16) นำ Crucible P2 ที่มีตะกอน ทำให้แห้งด้วยการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของ residue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17) ชูด residue จาก Crucible P2 อันแรกเพื่อนำไปหาปริมาณโปรตีน

18) ชูด residue จาก Crucible P2 อันที่สองเพื่อนำไปหาปริมาณเถ้า (โดยการเผาด้วยเตาอบอุณหภูมิสูง 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง)

19) เพื่อควบคุมการทดลองควรทำ blank โดยทำการย่อยและขั้นตอนตามข้อ 1 ถึงข้อ 18 โดยไม่ต้องเติมตัวอย่างลงในบีกเกอร์

20) คำนวณหาปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำได้จากสมการ

$$\text{เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนัก residue} - P - A - B}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

$$\text{เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนัก residue} - P - A - B}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

เมื่อ น้ำหนัก residue = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก residue ที่ใช้ (มิลลิกรัม)

P = น้ำหนักโปรตีนของ residue จาก Crucible P2 อันแรก (มิลลิกรัม)

A =น้ำหนักเถ้าของ residue จาก Crucible P2 อันที่สอง (มิลลิกรัม)

B = blank (มิลลิกรัม) ซึ่งคำนวณได้จาก

Blank = น้ำหนัก residue ของ blank – ปริมาณโปรตีนของ blank – ปริมาณเถ้าของ blank

น้ำหนักตัวอย่าง = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิกรัม)

3. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash) (AOAC, 2000)

1) นำ crucible ไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส จน crucible มีน้ำหนักที่คงที่ ทำให้เย็นใน desiccator และนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ใส่ลงใน crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว จากนั้นนำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆจนหมดควัน

3) นำ crucible ที่มีตัวอย่างไปเผาในเตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว

4) นำออกมาใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

การคำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl Method (AOAC, 2000)

<u>เตรียมตัวอย่าง</u>

1) ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.05 กรัม อย่างละเอียดใส่ลงในหลอดย่อย

2) ใส่คะตะลิสต์ 1 เม็ด

3) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ลงไปปริมาตร 15 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเบาๆ

<u>การย่อย</u>

4) เปิดเครื่องย่อย แล้วตั้งหลอดย่อยในเครื่อง สวมเครื่องดักจับไอกรดลงบนส่วนบนของหลอดย่อย และเปิด Power ของเครื่องดักจับไอกรด โดยทำการย่อยในตู้ดูดควัน

5) กดปุ่ม Start ที่เครื่องย่อย เมื่ออุณหภูมิได้ 420 องศาเซลเซียสแล้ว เครื่องจะทำการย่อยต่อไปอีก 1 ชั่วโมง จนตัวอย่างเป็นสารละลายสีฟ้าใส (หากเมื่อครบ 1 ชั่วโมงแล้วยังไม่เป็นสีฟ้าใสให้ทำการย่อยต่อ)

6) ยกหลอดย่อยออกมาตั้งพักไว้ให้เย็น

7) ปิด Power เครื่องย่อย แต่ยังคงเปิดเครื่องดักจับไอกรดไว้เพื่อดักจับไอกรดที่ยังคงเหลืออยู่

<u>การกลั่น</u>

8) เปิด Power เครื่องหล่อเย็น แล้วเปิดเครื่องกลั่นทำการล้างระบบด้วยการล้างน้ำกลั่น

9) ตวงสารละลายกรดบอริก ร้อยละ 4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตรพร้อมหยดอินดิเคเตอร์ ซึ่งจะทำให้กลายเป็นสารละลายสีแดงอมชมพู

10) นำหลอดย่อยประกอบเข้ากับเครื่องกลั่น และวางไว้บริเวณ Platform ให้แท่งแก้วจุ่มอยู่ใต้สารละลายกรดบอริก ร้อยละ 4

11) ปิด Safety door ลง เครื่องกลั่นจะทำการกลั่นเป็นเวลาประมาณ 4 นาที

12) เมื่อกลั่นเสร็จแล้ว เอาขวดรูปชมพู่และหลอดย่อยออกจากเครื่อง

13) นำสารละลายในขวดรูปชมพู่ไปไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N จะได้สารละลายเป็นสีชมพูอ่อน

14) คำนวณผลการวิเคราะห์ดังนี้

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{14 \times (V1-V2) \times \text{Normality of HCl (mol/L)} \times 100}{\text{Weight of Sample (g)} \times 1000}$$

เมื่อ V1 = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรทตัวอย่าง

V2 = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรท Blank

ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) = ปริมาณไนโตรเจน x Conversion factor

เมื่อ Conversion factor = 6.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content) ดัดแปลงจากวิธีการของ (AOAC, 2000) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1) อบจานหาความชื้น (moisture can) พร้อมด้วยฝาปิดในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักจานและฝาปิดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน

2) ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 0.5 กรัม ใส่จานหาความชื้นพร้อมฝาปิดที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอนและเกลี่ยให้กระจาย

3) นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4) นำออกจากตู้อบลมร้อน จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งหาน้ำหนัก

5) อบซ้ำอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงจนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่

6) นำออกจากตู้อบลมร้อน จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน

7) คำนวณปริมาณร้อยละความชื้นของตัวอย่าง (% moisture content) โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ-น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

3.2.4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่

1. การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity; WHC) ดัดแปลงจากวิธีการของ ฐิตา และคณะ (2557) และ Sowbhagya และคณะ (2007) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1) นำตัวอย่างแห้งน้ำหนัก 0.5 กรัมใส่ในหลอด Centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำปริมาตร 20 มิลลิลิตรแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

2) ปั่นเหวี่ยงแยกน้ำโดยใช้ความเร็วรอบ 4000 x g (5580 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 20 นาที

3) รินส่วนใสทิ้งและนำกากไปชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักกากเปียก

4) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากตู้อบลมร้อน ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งหาน้ำหนักกากแห้ง แล้วคำนวณหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมของน้ำต่อกรัมตัวอย่าง)} = \frac{\text{น้ำหนักกากเปียก-น้ำหนักกากแห้ง}}{\text{น้ำหนักกากแห้ง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity; SWC) ตามวิธีการของ Robertson และคณะ (2000) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1) นำตัวอย่างแห้งน้ำหนัก 0.5 กรัมใส่ในกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร
2) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง
3) วัดปริมาตรตัวอย่างที่พองตัว
4) คำนวณหาค่าความสามารถในการพองตัว โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{ความสามารถในการพองตัว (มิลลิลิตรของตัวอย่างที่พองตัวต่อกรัมตัวอย่างแห้ง)} = \frac{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่พองตัว}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

3. การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Fat adsorption capacity; FAC) ตามวิธีการของ Femenia และคณะ (1997) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1) นำตัวอย่างแห้งน้ำหนัก 0.5 กรัมใส่ในหลอด Centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำมันพืชปริมาตร 10 มิลลิลิตรแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18 ชั่วโมง
2) ปั่นเหวี่ยงแยกน้ำมันพืชโดยใช้ความเร็ว 2000 x g (3940 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 20 นาที
3) รินส่วนใสทิ้งและนำกากไปชั่งน้ำหนัก
4) คำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมของน้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่ตัวอย่างดูดซับไว้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

3.2.5 การประยุกต์ใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงเป็นสารทดแทนไขมันผลิตภัณฑ์เค้กเนย

จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงพบว่ามีค่า ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) เท่ากับ 10.67±0.21 กรัมน้ำต่อกรัมแบคทีเรียเซลลูโลสผง และมีค่าความสามารในการดูดซับน้ำมันเท่ากับ 8.24±0.03 กรัมน้ำมันต่อกรัมแบคทีเรียเซลลูโลสผง คุณสมบัติที่สามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมันได้ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของเส้นใยที่ใช้ในการทดแทนไขมัน จึงทำการศึกษาปริมาณในการใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงเพื่อทดแทนเนยสดบางส่วนในสูตรเค้กเนย โดยนำแบคทีเรียเซลลูโลสผง มาทำการทรีตด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผง 10 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตรจากนั้นจึงกรองด้วยตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ แล้วจึงนำมาใช้ในการทดแทนเนยสด ในปริมาณร้อยละ 0, 10 และ 20 โดยน้ำหนักในส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และมีวิธีการทำดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

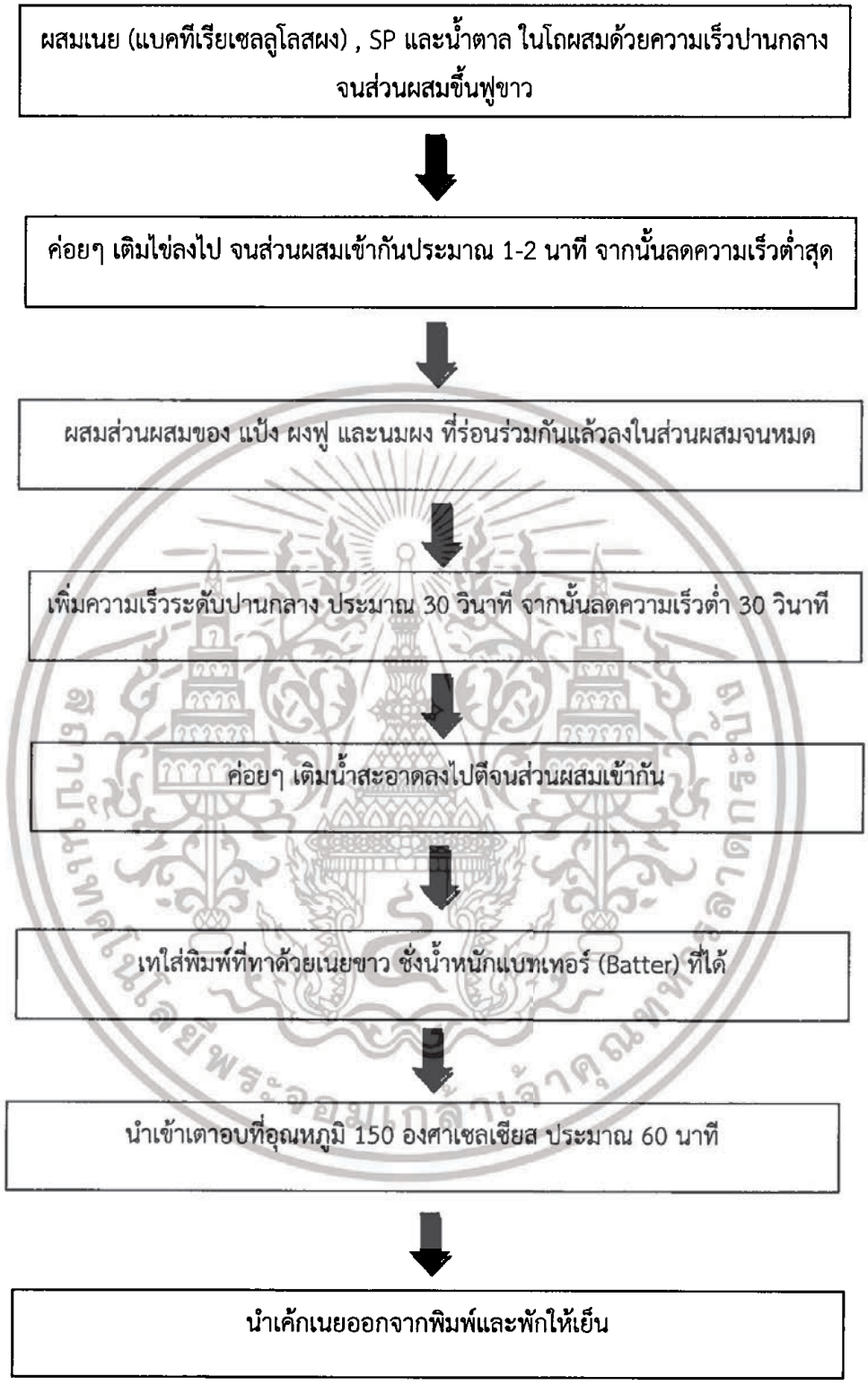
ตารางที่ 3.1 ปริมาณส่วนผสมของเค้กเนยสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0) และสูตรที่ใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงทดแทนเนยสดบางส่วนในปริมาณร้อยละ 10-20

ส่วนผสม	โดยน้ำหนัก (กรัม)		
	สูตรที่ 1 (0)	สูตรที่ 2 (10)	สูตรที่ 3 (20)
เนยสดจืด	325	292.5	260
แบคทีเรียเซลลูโลสผง	0	32.5	65
แป้งเค้ก	295	295	295
น้ำตาลทราย	215	215	215
นมผง	100	100	100
ไข่ไก่	405	405	405
เกลือ	2	2	2
ผงฟู	4	4	4
น้ำ	115	115	115
SP	4	4	4

ที่มา : https://goodlifeupdate.com/healthy-food/recipe/20042.html
(สืบค้นวันที่ 21 พฤษภาคม 2562)

นำเค้กเนยที่ได้มาบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำมาวิเคราะห์คุณภาพได้แก่ ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) ค่าสี ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (aw) คุณลักษณะเนื้อสัมผัส ปริมาณความชื้น ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding Capacity) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (oil holding Capacity) ปริมาณไขมัน (Crude fat) และการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตเค้กเนย

ที่มา : https://goodlifeupdate.com/healthy-food/recipe/20042.html

(สืบค้นวันที่ 21 พฤษภาคม 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติเชิงหน้าที่ และการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เค้กเนย

3.2.6.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1. วัดปริมาตรจำเพาะ ตามวิธีการของ มอก.374-2524

1) วัดปริมาตรของภาชนะ โดยการเติมเมล็ดงาให้เต็มภาชนะ แล้วเทเมล็ดงานั้นลงกระบอกตวง จดปริมาตรที่วัดได้ (1)

2) ชั่งตัวอย่างเค้กที่จะตรวจสอบ (2) จากนั้นบรรจุเค้กลงในภาชนะที่มีความสูงและความกว้างมากกว่าขนาดของเค้กที่ใช้ตรวจสอบ

3) เติมงาให้เต็มช่องว่างทั้งด้านข้างและด้านบนของภาชนะ จากนั้นเทเมล็ดงาลงในกระบอกตวง จดปริมาตรที่วัดได้ (3) และนำมาคำนวณหาปริมาตรจำเพาะได้โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)} = \frac{\text{ปริมาณของงา (1) - ปริมาณของงา (3)}}{\text{น้ำหนักของเค้ก (2)}}$$

2. ค่าสีในระบบ L*, a* และ b* ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น MiniScanEZ

3. การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity) โดยใช้เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ยี่ห้อ AquaLab รุ่น Series 3 TE

4. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเค้กเนย ถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T กำลังขยาย 1000 µm

5. คุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเนย โดยใช้วิธี Texture profile analysis ด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยใช้โพรบทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร และโหลดเซลล์ 20 นิวตัน เตรียมเค้กรูปทรง สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 x 5 มิลลิเมตร ความเร็วในการทดสอบ 2.5 มิลลิเมตรต่อวินาที กดลงบนตัวอย่างลงไป 50 เปอร์เซนต์ของความหนา วิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TPA) ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness) ค่าอัตราการคืนรูป (Springiness) และ ค่าการเกาะตัวกัน (Adhesiveness)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

1. ปริมาณความชื้น ดัดแปลงจากวิธีการของ AOAC (2000)

3.2.6.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่

1. ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเค้กเนย (Eshak, 2016)

1) ชั่งตัวอย่างเค้กเนย 1 กรัมใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 25 ml

2) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที

3) นำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่อง centrifuged ที่ความเร็วรอบ 4000 x g (5580 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 20 นาที

4) เทส่วนใสทิ้ง แล้วชั่งน้ำหนักของตัวอย่างและน้ำที่ตัวอย่างดูดซับไว้ได้แสดงในหน่วยกรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง

หมายเหตุ : กรณีในการวัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำกรัมให้ใช้น้ำมันแทนน้ำกลั่นและมีขั้นตอนเช่นเดียวกับการวัดค่าความสามารถในการอุ้มน้ำข้างต้น

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Crude fat) (AOAC, 2000)

1) นำฟลาสก์สกัดไขมันไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2) นำตัวอย่างเค้กเนยที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว ประมาณ 2 กรัม ใส่ในกระดาษกรองและห่อให้มิดชิด

3) นำตัวอย่างที่อยู่ในกระดาษกรองใส่ใน Extraction Unit it of Soxhlet ซึ่งเชื่อมต่อกับ 1046 Service Unit โดยใช้เครื่อง adapter

4) เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในฟลาสก์สกัดไขมันที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ประกอบเครื่อง Soxhlet เข้าด้วยกัน

5) ให้ความร้อนทำการสกัดไขมันออกจากตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

6) กลั่นเอาปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากไขมัน โดยใช้เครื่องกลั่นสารระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator) นำฟลาสก์สกัดไขมันและไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาข้ามคืน จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

การคำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

3.2.6.4 การทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของเค้กเนยสูตรต่างๆ โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นนักศึกษา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 30 คน โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 7-Point Hedonic Scale (7 = ชอบมากที่สุด และ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) โดยทดสอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะที่ปรากฏของเค้ก สีของเนื้อเค้ก เนื้อสัมผัสของเนื้อเค้ก กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม

3.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และวิเคราะห์การทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ 2 ทรีตเมนท์ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ Independent Sample T-test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 คุณลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (Paste)

จากการนำเอาแผ่นวุ้นมะพร้าว ที่ใช้ระยะเวลาในการหมักเป็นเวลา 10-12 วัน ซึ่งมีความหนาประมาณ 23-25 มิลลิเมตร (รูปที่ 4.1 (a)) ไปวิเคราะห์ ปริมาณความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง และค่าสี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 แผ่นวุ้นมะพร้าวมีปริมาณความชื้นร้อยละ 97.60±0.08 ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 3.76±0.02 และค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 61.86±0.04, -2.43±0.04 และ 0.95±0.02 ตามลำดับ

รูปที่ 4.1 ลักษณะของแผ่นวุ้นมะพร้าว (a) และลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (Paste) (b)

จากนั้นนำแผ่นวุ้นมะพร้าวมาผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (paste) โดยนำแผ่นวุ้นมะพร้าวไปผ่านการบดด้วยเครื่องบดไฟฟ้าด้วยความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 5 นาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด และบีบน้ำออก จะได้แบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาวเกาะตัวกันเป็นก้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (b) และนำเอาแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น ที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ ปริมาณความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง และค่าสี ผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 4.1) พบว่า ปริมาณความชื้นของแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 90.91±0.69 ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นวุ้นมะพร้าว เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้นมีการบีบน้ำออกจึงทำให้มีปริมาณน้ำลดลง จึงทำให้มีค่าความชื้นต่ำกว่าแผ่นวุ้นมะพร้าว ค่าความเป็นกรดด่างของแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น มีค่าเท่ากับ 4.23±0.09 ซึ่งพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นวุ้นมะพร้าว เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น มีขั้นตอนการล้างวุ้นมะพร้าวที่บดละเอียดแล้วด้วยน้ำสะอาด จึงทำให้กรดแอซีติกที่ติดมากับวุ้นมะพร้าวถูกชะล้างไปจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลสชนิดข้นมีค่ามากกว่าแผ่นวุ้นมะพร้าว ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น พบว่าค่าความสว่าง (L*) มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะขั้นตอนการบดมีผลทำให้ขนาดของแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสเล็กลง มีความละเอียด และเกิดการกระจายตัวของเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสมากขึ้นทำให้มีค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (+a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้น ค่าสี และความเป็นกรด-ด่าง ของแผ่นวุ้นมะพร้าวและแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น

วัตถุดิบ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ระบบค่าสี		
			L*	a*	b*
แผ่นวุ้นมะพร้าว	97.60^{a}±0.08	3.76^{b}±0.02	61.86^{b}±0.04	-2.43^{b}±0.04	0.95^{b}±0.02
แบคทีเรียเซลลูโลส-ชนิดข้น	90.91^{b}±0.69	4.23^{a}±0.09	72.72^{a}±0.04	0.94^{a}±0.01	9.64^{a}±0.03

หมายเหตุ : ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 โดยใช้ T-test

ค่าสี L* หมายถึง ความสว่าง (lightness) มี ค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว

a* หมายถึง จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*)

b* หมายถึง จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึง สีเหลือง (+b*)

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสผง

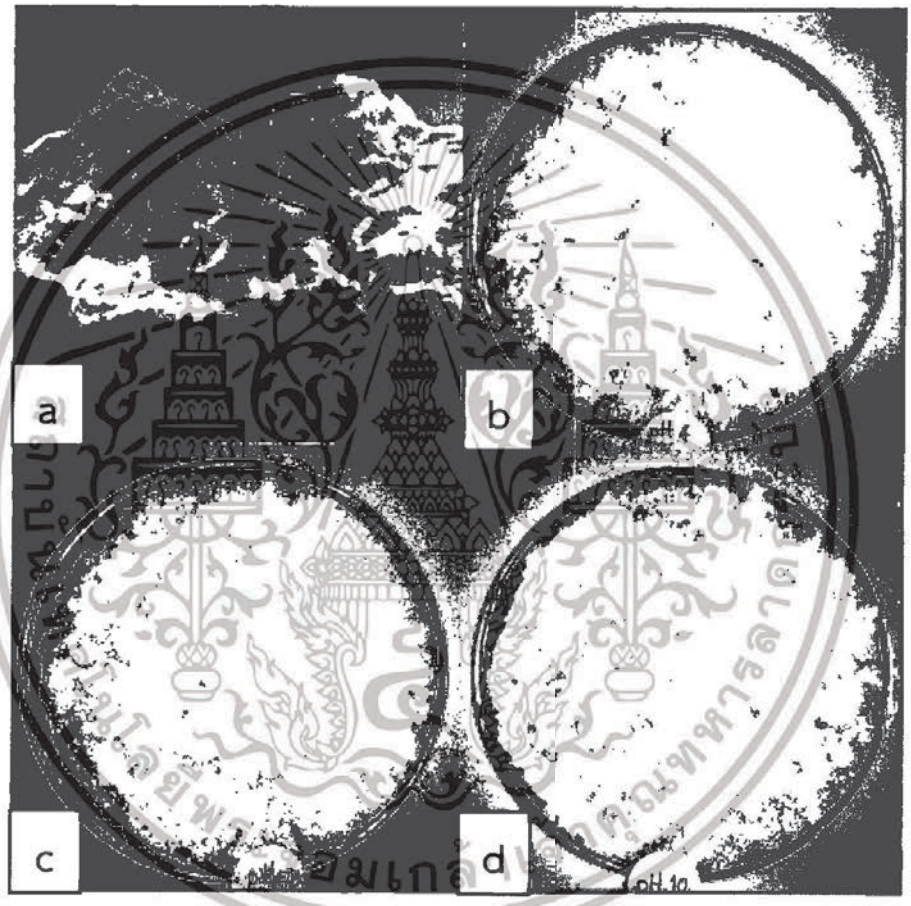
เมื่อได้แบคทีเรียเซลลูโลสในรูปของแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น จากขั้นตอนการเตรียมในหัวข้อที่ 3.2.1 แล้วจึงนำแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น มาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสผง โดยได้ทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสผงเพื่อให้มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

4.2.1 การศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อคุณสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสผง

จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อคุณสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสผง โดยการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น ให้มีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10 โดยใช้กรดแอซีติกเข้มข้นและสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ แช่แบคทีเรียเซลลูโลสทิ้งไว้ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และคนส่วนผสมเป็นระยะ นำแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลี่ยให้เป็นแผ่นบางๆ ความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร บนตะแกรง แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dry) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมงจะได้แผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสดังแสดงในรูปที่ 4.2 (a) จากนั้นนำแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสที่แห้งแล้วไปทำให้มีขนาดเล็กลงโดยใช้เครื่องบดไฟฟ้า และนำไปทำให้เป็นผงละเอียดโดยใช้เครื่องบดละเอียด Pin-mill ที่มีขนาดของรูตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที จะได้แบคทีเรียเซลลูโลสผง ที่มีลักษณะเป็นผงขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร สีขาวอมเหลืองอ่อนเนื้อสัมผัสมีความฟู นุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (b),(c) และ(d)



รูปที่ 4.2 ลักษณะของแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพและอบแห้ง (a) แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 (b) แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 (c) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 10 (d)

จากนั้นจะนำแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T กำลังขยาย 1000 μm ค่าสี ในระบบ L*, a* และ b* ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น MiniScanEZ วัดค่าความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk Density)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) คุณสมบัติทางเคมีได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.3

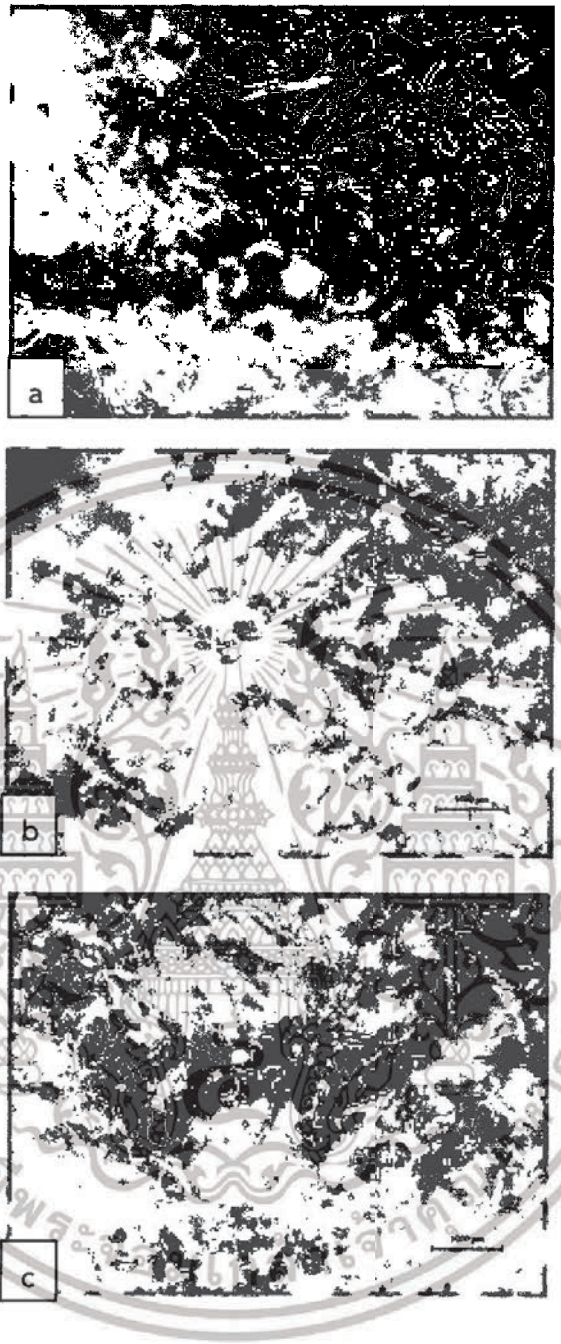
4.2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดและด่าง

จากการทดลองพบว่า ผลของการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4, 7 และ 10 มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสผง ดังนี้

1) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดและด่าง

จากรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางสัณฐานวิทยาจะเห็นลักษณะของเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยวิธีการต่างๆ และผ่านการบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด Pin-mill ทำให้มีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาวอมเหลืองอ่อน โดยที่ ผลของการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 มีเส้นใยหยาบเหลืออยู่มากที่สุด (รูปที่ 4.3 (a)) รองลงมาคือ แบคทีเรียเซลลูโลสผงปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 (รูปที่ 4.3 (b)) โดยจะสังเกตว่ามีเส้นใยหยาบได้จากเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสที่ยังเกาะตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ และการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 (รูปที่ 4.3 (c)) ซึ่งมีลักษณะเส้นใยฟู สีขาว มีเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสที่ยังเกาะตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ อยู่น้อยมาก มีความละเอียดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 และ 7 แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพโดยการค่าความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจะเห็นลักษณะของเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากการปรับสภาพด้วยวิธีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างและผ่านการบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด Pin-mill และถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T กำลังขยาย 1000 µm

a คือ ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4

b คือ ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7

c คือ ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดและด่าง

การปรับสภาพแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้นด้วยกรดและด่างมีผลต่อค่าสีที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 มีค่าความสว่าง (L*) สูงสุดเท่ากับ 83.82±0.01 และเมื่อปรับสภาพแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้นด้วยค่าความเป็นกรดด่างที่เพิ่มขึ้นเป็น 7 และ 10 มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) มีค่าลดลงเป็น 83.62±0.03 และ 82.34±0.03 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากขั้นตอนของการปรับสภาพด้วยกรด-ด่าง ร่วมถึงขั้นตอนการทำให้เป็นผง ซึ่งทำให้เส้นใยของแบคทีเรียเซลลูโลสนั้นมีขนาดเล็กลงและกระจายตัวได้ดีขึ้น จึงทำให้มีค่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น ค่า a* ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ส่วนค่า b* มีค่าเป็นบวกแสดงถึงสีเหลืองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้นทำให้แบคทีเรียเซลลูโลสผงมีค่าความเป็นสีเหลืองลดลงจาก 7.59±0.01 เป็น 5.68±0.00 ดังแสดงในรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่าง

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ระบบค่าสี			ความหนาแน่นจำเพาะ (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)
	L*	a*	b*		
pH 4 -TD	83.82^{a}±0.01	0.76^{c}±0.01	7.59^{a}±0.01	0.0469^{ab}±0.00	0.454^{b}±0.00
pH 7-TD	83.62^{b}±0.03	1.04^{b}±0.01	7.51^{b}±0.01	0.0459^{b}±0.00	0.4843^{a}±0.00
pH 10-TD	82.34^{c}±0.03	1.07^{a}±0.02	5.68^{c} ±0.00	0.0480^{a}±0.00	0.4847^{a}±0.00

หมายเหตุ : ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

pH 4-TD หมายถึง แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 อบแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (Tray dry)

pH 7-TD หมายถึง แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 อบแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (Tray dry)

pH 10-TD หมายถึง แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 อบแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (Tray dry)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ค่าความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk density) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดและด่าง

ค่าความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk density) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงเกล็ด และเมล็ดโดยสามารถวัดได้จากหน่วยของน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อดูความฟู หรือความเบาของวัสดุ ซึ่งจากการทดลองพบว่า แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดและด่างที่ 4, 7 และ 10 มีค่าความหนาแน่นจำเพาะเท่ากับ 0.0469±0.00058, 0.0459±0.00069 และ 0.0480±.00069 ตามลำดับ ซึ่งการปรับสภาพแบคทีเรียเซลลูโลสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 มีค่าความหนาแน่นจำเพาะต่ำที่สุด ซึ่งจากค่าที่ได้จะเห็นได้ว่าเซลลูโลสผงที่ได้มีค่าความหนาแน่นจำเพาะที่น้อยมาก นั่นหมายถึงเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสมีการกระจายตัวได้ดี ไม่เกาะตัวกันเป็นกลุ่ม มีความฟู และเบากว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 และ 10 (ตารางที่ 4.2)

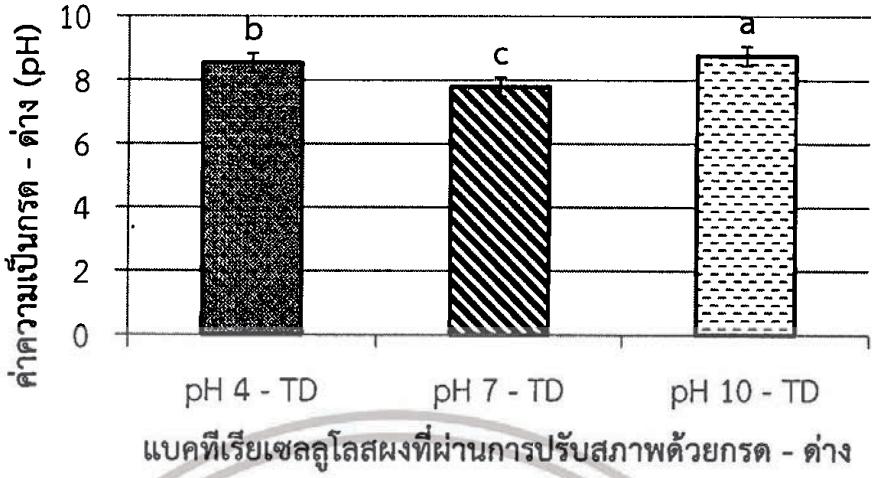
4) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดและด่าง

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) หรือ ปริมาณน้ำอิสระ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำต่ำสุดที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ จากตารางที่ 4.2 พบว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดและด่างที่ 4, 7 และ 10 มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) อยู่ในช่วง 0.4540-0.4847 ซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าที่ปลอดภัยต่อการเจริญของเชื้อรา ทั้งนี้เนื่องจากราส่วนใหญ่จะไม่มีการเจริญที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.7

4.2.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดและด่าง

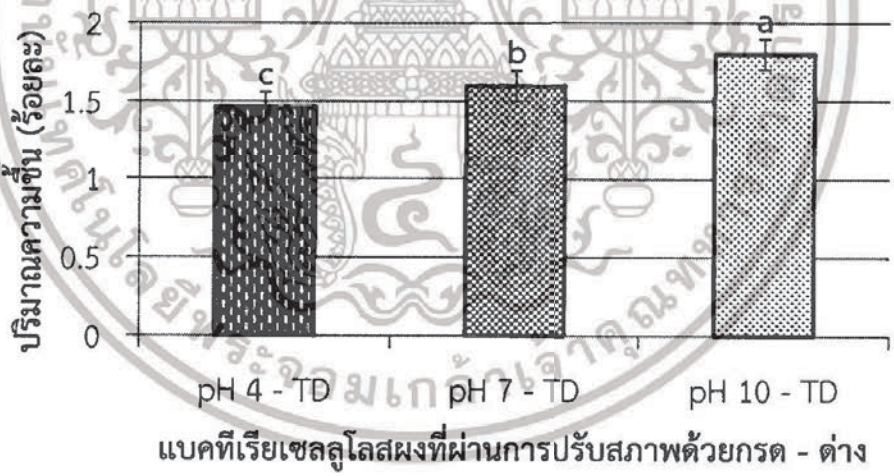
จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณความชื้นของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีค่าเท่ากับ 4, 7 และ 10 พบว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.53±0.01, 7.78±0.01 และ 8.77±0.01 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของแบคทีเรียเซลลูโลสผงแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่าง

สำหรับปริมาณความชื้นของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.46±0.08 - 1.80±0.02 ซึ่งในแต่ละสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่ใช้แบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) แต่ค่าที่ได้ยังมีค่าต่ำ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงแห้ง (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 ปริมาณความชื้นของแบคทีเรียเซลลูโลสผงแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ได้ผลการทดลองดังนี้

1) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity)

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) คือความสามารถของวัสดุจะกักเก็บน้ำเมื่ออยู่ภายใต้แรงเหวี่ยงภายนอก (external centrifugal gravity force) ซึ่งพบว่า แบคทีเรียเซลลูโลสผง มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ อยู่ในช่วง 9.86±0.14 - 10.67±0.21 กรัมน้ำต่อกรัมของแบคทีเรียเซลลูโลสผง ซึ่งจากการศึกษาการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ พบว่าการปรับสภาพแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงที่สุดเท่ากับ 10.67±0.21 กรัมน้ำต่อกรัมของแบคทีเรียเซลลูโลสผง ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งมีค่าสูงกว่าใยอาหารที่สกัดได้จากพืช เช่น การศึกษาการสกัดแบคทีเรียเซลลูโลสจากเม็ดมะรุม มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 5.92 กรัมน้ำต่อกรัมของแบคทีเรียเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม (ฐิตา และคณะ, 2557) , เส้นใยเสาวรสมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 7.2 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง และเส้นใยส้มมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 8.39 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง (จากการรายงานของ Felisberto และคณะ, 2015)

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผง

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง)	ความสามารถในการพองตัว (มิลลิลิตรต่อกรัม)	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง)
pH 4-TD	10.16^{b}±0.21	31.50^{a}±0.54	8.12^{c}±0.05
pH 7-TD	10.67^{a}±0.21	32.17^{a}±0.72	8.24^{b}±0.03
pH 10-TD	9.86^{b}±0.14	27.17^{b}±0.53	8.50^{a}±0.09

หมายเหตุ : ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity)

ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาตรของตัวอย่างหลังจากผ่านการแช่ด้วยน้ำเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติในการนำไปใช้เป็นสารเพิ่มปริมาตร (bulking agent) ซึ่งจากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง ต่อความสามารถในการพองตัวของแบคทีเรียเซลลูโลสผงทั้ง 3 ตัวอย่างพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 27.17±0.53 - 32.17±0.72 มิลลิลิตรต่อกรัมแบคทีเรียเซลลูโลสผง โดยที่แบคทีเรียเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 มีความสามารถในการพองตัวสูงที่สุด เท่ากับ 32.17±0.72 มิลลิลิตรต่อกรัมแบคทีเรียเซลลูโลสผง รองลงมาคือตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 31.50±0.54 มิลลิลิตรต่อกรัมแบคทีเรียเซลลูโลสผง อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 และ 7 มีความสามารถในการพองตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ส่วนแบคทีเรียเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 มีค่าความสามารถในการพองตัวน้อยที่สุดเท่ากับ 27.17±0.53 มิลลิลิตรต่อกรัมแบคทีเรียเซลลูโลสผง ทั้งนี้เป็นผลมาจากด่างที่ใช้ในการปรับสภาพมีหมู่แคลเซียมเป็นองค์ประกอบเมื่อจับกับเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสแล้วทำให้คุณสมบัติในการดูดซับน้ำของเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสลดลงจึงทำให้มีค่าการพองตัวน้อยที่สุด ซึ่งค่าที่ได้มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการอุ้มน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

3) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption)

ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผง ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ 4, 7 และ 10 พบว่ามีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันเท่ากับ 8.12±0.05, 8.24±0.03 และ 8.50±0.08 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) โดยพบว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 มีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้สูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.3 มีรายงานว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อคุณลักษณะของเส้นใยซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมัน โดยจากการศึกษาพบว่าการทำแห้งใยอาหารที่อุณหภูมิ 30-50 องศาเซลเซียส ใยอาหารจะดูดซับน้ำมันได้มากกว่าใยอาหารที่ทำแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส (วันเพ็ญ, 2551)

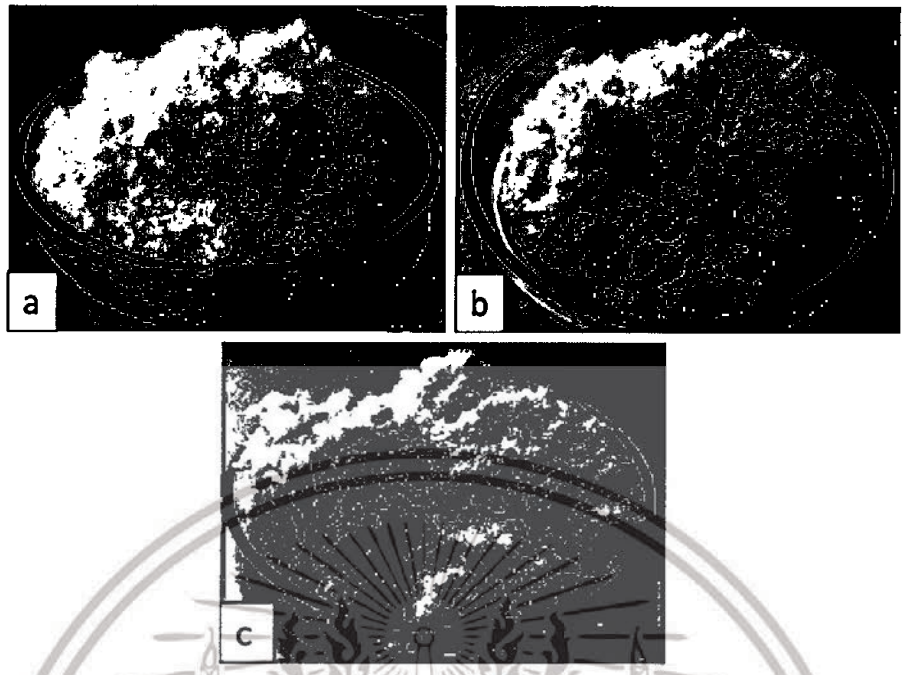
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การศึกษาความเป็นกรด-ด่างร่วมกับการให้ความร้อนต่อคุณสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสผง

จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างที่ 4, 7 และ 10 ต่อคุณสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสผง พบว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 มีคุณสมบัติด้าน ความสามารถในการพองตัว ความหนาแน่นจำเพาะ และความสามารถในการอุ้มน้ำดีที่สุด แม้ว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันจะมีค่าต่ำกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 เล็กน้อย และมีการรายงานการศึกษาที่รายงานว่าการใช้ความร้อนในการผลิตใยอาหาร มีผลทำให้แบคทีเรียเซลลูโลสผงมีคุณสมบัติด้านเชิงหน้าที่ที่ดีขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การผลิตใยอาหารจากเปลือกส้มโอ พบว่าการให้ความร้อนโดยการต้มทำให้ใยอาหารที่ผลิตได้ มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีกว่าใยอาหารที่ไม่ได้ผ่านการต้ม (วันเพ็ญ, 2551) และแบคทีเรียเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุมที่ใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 70 องศาเซลเซียสร่วมกับการสกัดด้วยด่าง มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีกว่าการสกัดด้วยเอนไซม์ (ฐิตา และคณะ, 2557) ดังนั้นจึงทดลองเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 มาศึกษาร่วมกับการให้ความร้อนสองรูปแบบ คือ การให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งแรงดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที และให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นจะนำแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ค่าสี ค่าความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk Density) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption)

จากการศึกษาการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างร่วมกับการให้ความร้อนต่อคุณสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงพบว่าเมื่อพิจารณาถึงลักษณะภายนอกของแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากการปรับสภาพทั้งสามสภาวะไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผลิตได้ มีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด มีความนุ่มฟู ดังแสดงในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

a คือ ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน

b คือ ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

c คือ ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งแรงดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

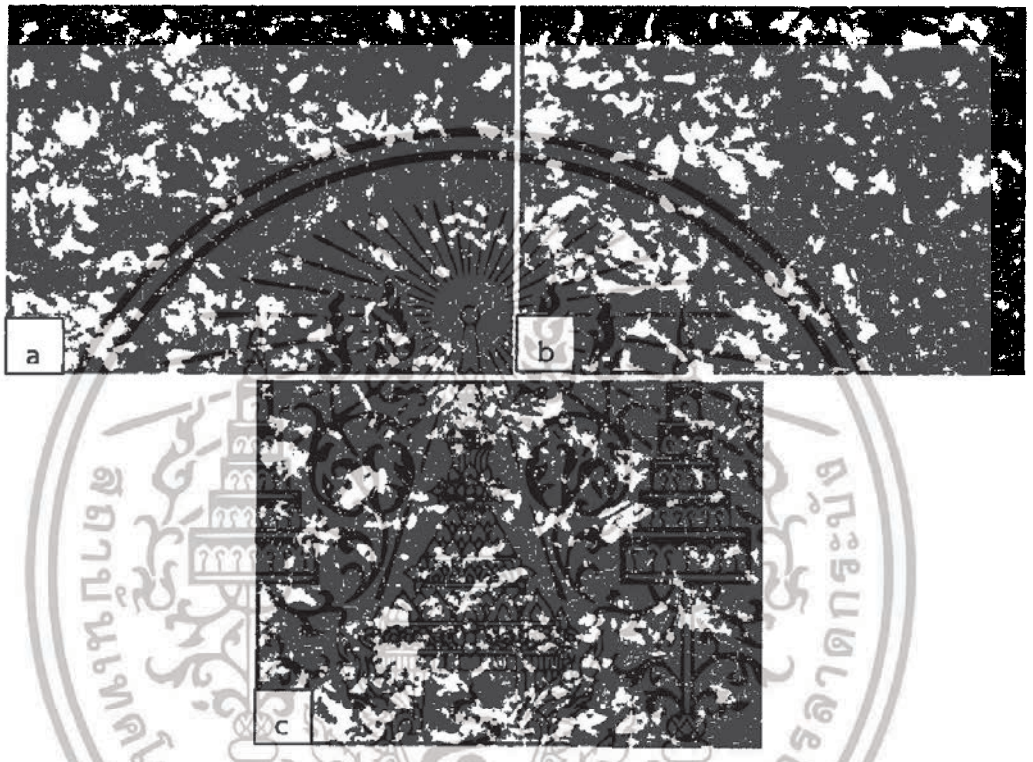
และเมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ค่าสี ค่าความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk Density) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ได้ผลดังนี้

4.2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

1) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนและผ่านการบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด Pin-mill ทำให้มีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว ละเอียด มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนแสดงให้เห็นว่าความร้อนมีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาจะเห็นลักษณะของเส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากการปรับสภาพความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน และถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T กำลังขยาย 1000 µm

a คือ ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน

b คือ ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

c คือ ลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งแรงดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

จากการวิเคราะห์ค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างร่วมกับการให้ความร้อนพบว่า วิธีการใช้ความร้อนโดยการต้ม ที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งแรงดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 84.05±0.03 และ 85.87±0.01 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสว่างของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 (L*= 83.63±0.03) ส่วนค่า a* ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากวิธีการใช้ความร้อน 2 รูปแบบมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่า a* ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 นอกจากนี้ค่า b* ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด มีค่า b* ลดลงและค่า b* ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งแรงดันสูงมีค่า เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่า b* ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติทางกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ระบบค่าสี			ความหนาแน่นจำเพาะ (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)
	L*	a*	b*		
pH 7	83.63^{c}±0.03	1.04^{a}±0.01	7.51^{b}±0.01	0.0459^{a}±0.00	0.48^{b}±0.00
pH 7 Boiling	85.87^{a}±0.01	0.37^{c}±0.01	6.92^{c}±0.01	0.0398^{b}±0.00	0.52^{a}±0.00
pH 7 Autoclave	84.05^{b}±0.03	0.52^{b}±0.01	8.01^{a}±0.01	0.0399^{b}±0.00	0.47^{c}±0.00

หมายเหตุ : ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

pH 7 คือ แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน

pH 7 Boiling คือ แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

pH 7 Autoclave คือ แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งแรงดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความหนาแน่นจำเพาะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

ความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk density) พบว่าการให้ความร้อนทั้งสองวิธี มีผลทำให้มีค่าความหนาแน่นจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ตารางที่ 4.4) แสดงว่าความร้อนมีผลทำให้เส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสเสียสภาพและเกิดการกระจายตัวได้ดีขึ้นทำให้มีความฟู นุ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ซึ่งแตกต่างกับค่าความหนาแน่นจำเพาะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4. ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผง ที่ได้มีค่าที่ต่ำอยู่ในช่วง 0.47±0.00 - 0.52±0.00

4.2.2.2 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

1) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity)

จากการศึกษา ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) พบว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 10.67±0.21 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการใช้ความร้อนทั้งสองรูปแบบอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยการให้ความร้อนทั้งสองรูปแบบ ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง เนื่องมาจากผลของความร้อนมีผลทำให้โมเลกุลของแบคทีเรียเซลลูโลสผงส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ถูกทำลายไปบางส่วน ทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อยลง ดังแสดงในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง)	ความสามารถในการพองตัว (มิลลิลิตรต่อกรัม)	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง)
pH 7	$10.16^{a}\pm0.21$	$32.17^{c}\pm0.72$	$8.12^{c}\pm0.05$
pH 7 Boiling	$9.68^{b}\pm0.14$	$34.67^{a}\pm0.58$	$10.02^{a}\pm0.18$
pH 7 Autoclave	$9.07^{c}\pm0.08$	$32.72^{b}\pm0.04$	$9.08^{b}\pm0.02$

หมายเหตุ : ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

pH 7 คือ แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน

pH 7 Boiling คือ แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

pH 7 Autoclave คือ แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งแรงดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

2) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity)

ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าความสามารถในการพองตัวสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 34.67±0.58 เนื่องมาจากผลของความร้อนมีผลทำให้แบคทีเรียเซลลูโลสผงมีขนาดอนุภาค รูปร่าง และจำนวนรูพรุน ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการพองตัวได้ดีขึ้น (ฐิตา และคณะ, 2557) ทั้งนี้ระยะเวลาในการให้ความร้อนอาจมีผลร่วมด้วยเนื่องจากการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งแรงดันสูงซึ่งใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด ส่งผลให้มีค่าความสามารถในการพองตัวน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption)

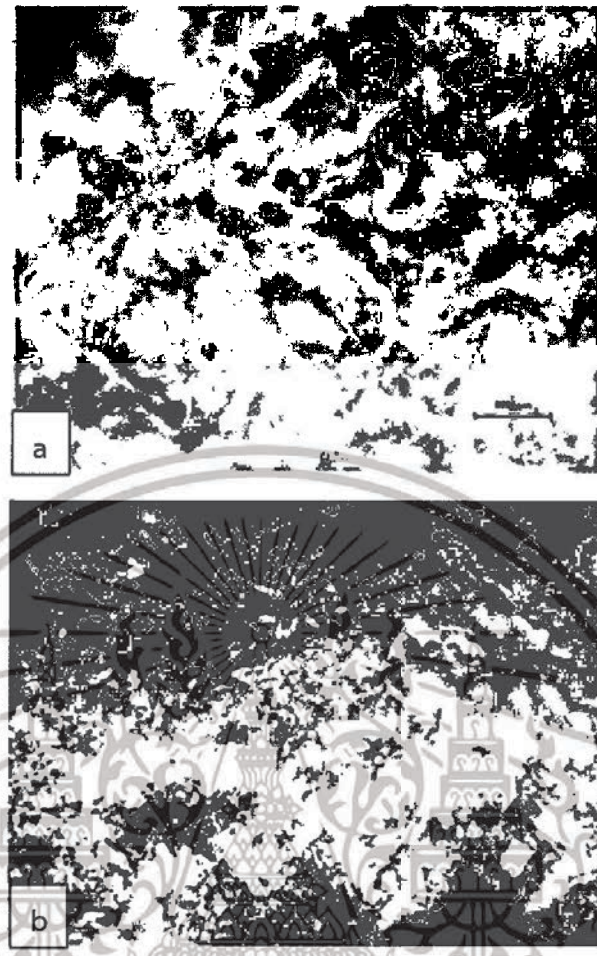
จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพโดยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน มีค่าเท่ากับ 8.12 ±0.05 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพโดยการให้ความร้อนทั้งสองรูปแบบพบว่า ความร้อนที่ใช้ในการปรับสภาพ มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของแบคทีเรียเซลลูโลสผงเพิ่มขึ้น โดยที่ได้จากการปรับสภาพโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งแรงดันสูง มีค่าความสามารถในดูดซับน้ำมันเท่ากับ 10.01±0.18 และ 9.08±0.02 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งสอดคล้องกับการรายงาน การศึกษาการผลิตใยอาหารจากเปลือกส้มโอพบว่าใยอาหารที่ได้จากเปลือกที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการต้ม มีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันมากกว่าใยอาหารที่ได้จากเปลือกส้มโอดิบ (วันเพ็ญ, 2551)

จากการศึกษาถึงผลของการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างร่วมกับการให้ความร้อนต่อคุณสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสผง เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านต่างๆแล้ว พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมงให้คุณสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงได้ดีที่สุด ถึงแม้ว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 แต่ค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมาก อีกทั้งการให้ความร้อนยังใช้ระยะเวลานานและเป็นการเพิ่มขั้นตอนการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผงทำให้มีความยุ่งยากและใช้พลังงานมากกว่า จึงเลือกใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมาใช้ในการศึกษาต่อไป

4.2.3 การเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยา คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

จากการศึกษาคุณลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) (รูปที่ 4.8 (a)) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD) (รูปที่ 4.8 (b)) พบว่า แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 เป็นเส้นใยสีขาว มีความละเอียดน้อยกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งเส้นใยมีความละเอียด มีสีขาว-เหลืองอ่อน อาจเป็นผลมาจากการที่แบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไม่ได้ผ่านขั้นตอนการล้างในขณะที่เตรียมให้อยู่ในรูปแบคทีเรียเซลลูโลสซนิดข้น จึงทำให้สีที่ได้มีสีเหลืองอ่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (Tray dry) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ปรับสภาพความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4 และถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T กำลังขยาย 1000 µm

a คือ แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (Tray dry)

b คือ แบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ปรับสภาพความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

จากการศึกษาคุณสมบัติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) เปรียบเทียบกับแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD) พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

1) ค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสผง

ผลการวัดค่าสี พบว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 7-TD มีค่าความสว่าง ($L^*=83.63\pm0.03$) สูงกว่า แบคทีเรียเซลลูโลสแบบผงชนิด pH 4-FD ($L^*=82.47\pm0.01$) ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง b^* ของแบคทีเรียเซลลูโลสชนิด pH 4-FD มีค่าสูงกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 7-TD (ตารางที่ 4.6) แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างส่งผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองซึ่งเป็นผลมาจาก ในกระบวนการเตรียม pH 7-TD ได้ผ่านขั้นตอนการล้างด้วยน้ำ และปรับให้ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7 ทำให้เส้นใยแบคทีเรียเซลลูโลสมีลักษณะเป็นเส้นใยหยาบ และอาจเป็นเพราะแบคทีเรียเซลลูโลสชนิด pH 4-FD ไม่ได้ผ่านขั้นตอนการปรับสภาพความเป็นกรดด่าง และการล้างด้วยน้ำ อาจทำให้มีส่วนของน้ำหมักและสารอื่นๆที่แบคทีเรียแอซีติกสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักติดมาด้วย ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งแล้วทำให้มีสีเหลืองอ่อนดังแสดงในรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติทางกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ระบบค่าสี			ความหนาแน่นจำเพาะ (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)
	L*	a*	b*		
pH 7-TD	$83.63^{a}\pm0.03$	$1.04^{a}\pm0.01$	$7.51^{b}\pm0.01$	$0.046^{a}\pm0.001$	$0.484^{b}\pm0.001$
pH 4-FD	$82.47^{a}\pm0.01$	$2.16^{a}\pm0.01$	$14.75^{a}\pm0.02$	$0.038^{b}\pm0.001$	$0.508^{a}\pm0.001$

หมายเหตุ : ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 โดยใช้ T-test

pH 7-TD หมายถึง แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD)

pH 4-FD หมายถึง แบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ปรับสภาพความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4 (pH 4-FD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความหนาแน่นจำเพาะ และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผง

เมื่อนำตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผงทั้ง 2 ชนิดไปทดสอบความหนาแน่นจำเพาะ พบว่า แบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 4-FD มีค่าเท่ากับ 0.038±0.001 กรัมต่อมิลลิลิตรซึ่งน้อยกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 7-TD (0.046±0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 เนื่องจากแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความนุ่ม ละเอียดมากกว่า pH 7-TD คาดว่าอาจเป็นผลมาจากวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะทำให้โครงสร้างของแบคทีเรียเซลลูโลสยังคงลักษณะตามธรรมชาติได้มากกว่าการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนจึงทำให้มีความฟูมากกว่า ส่วนค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ของทั้งแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้สองวิธีการอยู่ในช่วง 0.484±0.001 - 0.508±0.001 ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นาน

4.2.3.2 คุณสมบัติทางเคมีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตารางที่ 4.7 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
pH 7-TD	7.77^{b}±0.01
pH 4-FD	4.12^{a}±0.00

หมายเหตุ : ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 โดยใช้ T-test

pH 7-TD หมายถึง แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD)

pH 4-FD หมายถึง แบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ปรับสภาพความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4 (pH 4-FD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นกรด-ด่าง ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีค่าเท่ากับ 7 พบว่า มีค่าเท่ากับ 7.77±0.01 (ตารางที่ 4.7) ซึ่งสูงกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 4.12±0.00 เพราะในขั้นตอนการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งไม่ได้ผ่านขั้นตอนการล้างแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้นซึ่งมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.23 ทำให้ยังมีกรดแอซีติกหลงเหลืออยู่จึงมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วงที่เป็นกรด ดังแสดงในตารางที่ 4.7

4.2.3.3 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ความสามารถในการพองตัวของแบคทีเรียเซลลูโลสแบบผงชนิด pH 4-FD มีค่าสูงกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 7-TD ทั้งนี้เนื่องจาก การทำแห้งมีผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแบคทีเรียเซลลูโลสผง โดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ผงแบคทีเรียเซลลูโลส มีความละเอียด มีความนุ่ม และเป็นแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำมาก ซึ่งทำให้โครงสร้างของแบคทีเรียเซลลูโลสไม่เหนียวและเกาะตัวกันแน่นเนื่องจากเป็นการทำแห้งโดยอาศัยการระเหิด เนื่องจากกระบวนการทำแห้งจะทำให้โครงสร้างของใยอาหารถูกทำลาย แต่การทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง จะทำให้ใยอาหารมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน (วันเพ็ญ, 2551)

จากผลการทดลองพบว่า แบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 4-FD และ pH 7-TD มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ เท่ากับ 12.06±0.72 และ 10.16±0.21กรัมน้ำต่อกรัมแบคทีเรียเซลลูโลสผง ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของแบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 4-FD และ pH 7-TD มีค่าเท่ากับ 10.06±0.07 และ 8.12±0.05 กรัมน้ำมันต่อกรัมแบคทีเรียเซลลูโลสผง ตามลำดับ ความสามารถในการพองตัวของแบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 4-FD และ pH 7-TD มีค่าเท่ากับ 44.30±0.53 และ 31.50 ±0.54 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง)	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง)	ความสามารถในการพองตัว (มิลลิลิตรต่อกรัม)
pH 7-TD	$10.16^{b}\pm0.21$	$8.12^{b}\pm0.05$	$32.17^{b}\pm0.72$
pH 4-FD	$12.06^{a}\pm0.72$	$10.06^{a}\pm0.07$	$44.30^{a}\pm0.53$

หมายเหตุ : ตัวอักษร a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 โดยใช้ T-test

pH 7-TD หมายถึง แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD)

pH 4-FD หมายถึง แบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ปรับสภาพความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4 (pH 4-FD)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 4-FD และ pH 7-TD พบว่า มีปริมาณเถ้า เท่ากับร้อยละ 87.969 และ 70.370 ตามลำดับ มีปริมาณโปรตีน เท่ากับร้อยละ 2.786 และ 1.202 ตามลำดับ มีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเท่ากับ 9.584 และ 18.066 ตามลำดับ และ ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำของแบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 4-FD มีค่าเท่ากับร้อยละ 61.536 และ pH 7-TD มีค่าเท่ากับร้อยละ 78.694 ดังแสดงในตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	pH 4-FD	pH 7-TD
เถ้า	87.969	70.370
โปรตีน	2.786	1.202
ใยอาหารที่ละลายน้ำ	61.536	78.694
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	9.584	18.066

หมายเหตุ : pH 7-TD หมายถึง แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด

pH 4-FD หมายถึง แบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ปรับสภาพความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4

อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสผงให้มีคุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี โดยใช้วิธีการที่ทำให้มีต้นทุนและขั้นตอนในการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติในด้านต่างๆแล้ว พบว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 7-TD มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติในด้านต่างๆอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 หรือ 10 และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้าน กายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่แบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 7-TD กับ pH 4-FD พบว่ามีคุณลักษณะในด้านต่างๆ ใกล้เคียงกับแบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 4-FD จึงเลือกใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 7-TD ในการประยุกต์ใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เค้กเนย

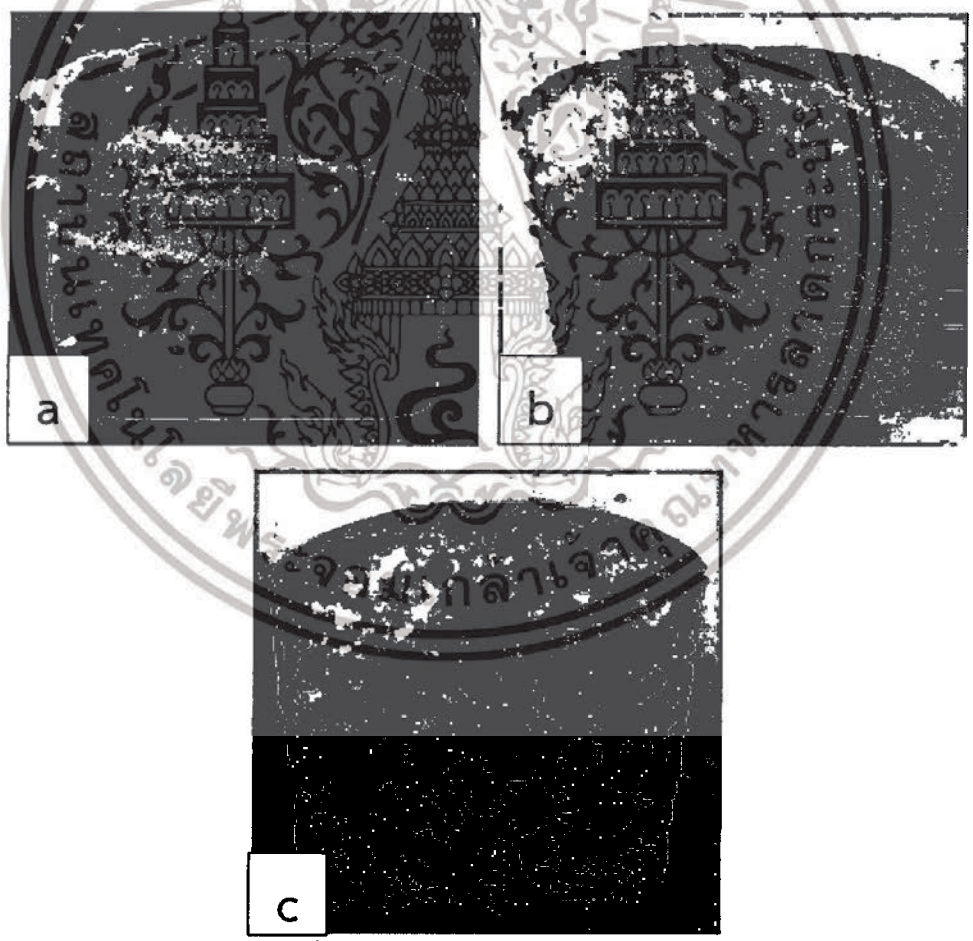
4.3 การประยุกต์ใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงเป็นสารทดแทนไขมันผลิตภัณฑ์เค้กเนย

จากการนำแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 มาใช้ทดแทนไขมันบางส่วนผลิตภัณฑ์เค้กเนย ในปริมาณร้อยละ 0, 10 และ 20 จากนั้นนำเค้กเนยที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ลักษณะสีของเนื้อเค้ก และเซลล์ของเค้กเนยที่ทดแทนไขมันบางส่วน

จากรูปที่ 4.8 ลักษณะภายนอกของเค้กเนยในสูตรต่างๆ ตามภาพตัดขวางจะเห็นได้ถึงรูปร่างลักษณะของเค้กเนยที่ได้ในสูตรที่มีการทดแทนไขมันที่ร้อยละ 20 ขนาดแตกต่างไปจากสูตรอื่นๆ โดยมีปริมาตรที่ลดลง รวมทั้งเนื้อด้านในของเค้กหยาบ ไม่เรียบเนียน สูตรที่มีการทดแทนไขมันร้อยละ 10 และ 20 มีลักษณะของเนื้อเค้ก ไม่แตกต่างกันมาก สีใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน แต่เนื้อเค้กยังไม่เรียบเนียน เมื่อศึกษาลักษณะของเนื้อเค้กโดยละเอียดโดยใช้การส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T กำลังขยาย 1000 µm ดังรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ถึงความแตกต่างของความเรียบเนียนของเนื้อเค้ก ความเรียบเนียนของสูตรมาตรฐานนี้เกิดจากปริมาณไขมันที่ทำให้อากาศปริมาณมากเข้าไปรวมตัวกับแป้งในระหว่างการตีผสมอีกทั้งยังช่วยยับยั้งการร่วมตัวกันของฟองอากาศที่เป็นสาเหตุทำให้เนื้อเค้กเกิดรูพรุนขนาดใหญ่และไม่เรียบเนียน (Felisberto และคณะ, 2015) จึงเห็นได้อย่างชัดเจนในสูตรที่มีการทดแทนไขมันร้อยละ 20 (รูปที่ 4.9 (c))



รูปที่ 4.9 ภาพตัดขวางของเค้กเนยที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณร้อยละ 0 (a) ร้อยละ 10 (b) และร้อยละ 20 (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

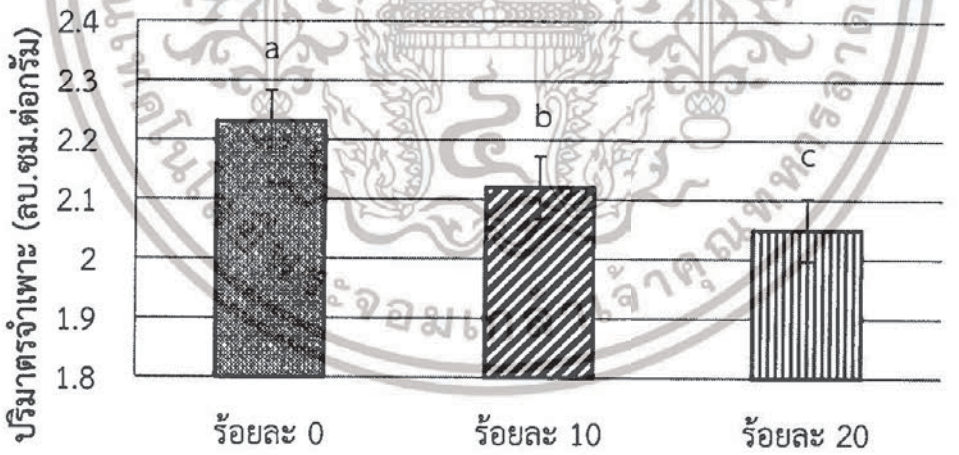
รูปที่ 4.10 ลักษณะของเนื้อเค้กที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณร้อยละ 0 (a) ร้อยละ 10 (b) และร้อยละ 20 (c) โดยละเอียดโดยใช้การส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่ถ่ายภาพได้ (Stereo Microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ745T กำลังขยาย 1000 µm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเค้กเนย

4.3.2.1 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume)

ปริมาตรจำเพาะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพของเค้กเนยซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาตรของเค้กและน้ำหนักของเค้ก จากการศึกษาผลของการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆมีผลต่อปริมาตรจำเพาะของเค้กเนยที่ได้ พบว่าเมื่อระดับการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาตรจำเพาะของเค้กเนยที่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาตรจำเพาะของเค้กเนยสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0) มีค่าเท่ากับ 2.23±0.02 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเมื่อมีการทดแทนเนยสดเป็นร้อยละ 10 และ 20 ปริมาตรจำเพาะมีค่าลดลงเท่ากับ 2.12±0.02 และ2.05±0.03 ตามลำดับ Felisberto และคณะ (2015) ซึ่งได้ศึกษาถึงการทดแทนไขมันด้วยเมือกของเมล็ดเจียในเค้กปอนด์พบว่าการลดลงของปริมาตรจำเพาะอาจมีสาเหตุมาจากการลดปริมาณเนยในสูตรเค้กปอนด์ลง เนื่องจากขั้นตอนสำคัญของการทำเค้กเนยคือการตีเนยเพื่อเติมอากาศจะทำให้เค้กเนยนั้นขึ้นฟูและมีเนื้อเค้กเรียบเนียน เมื่อลดปริมาณเนยจึงทำให้การขึ้นฟูลดลงจึงส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะลดลง เนื่องจากการขึ้นฟูของเค้กส่วนใหญ่มาจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นในช่วงการตีไขมันกับน้ำตาล เมื่อปริมาณไขมันในสูตรลดลง ปริมาณฟองอากาศในแบทเทอร์ (Batter) จึงลดลง (จิรนาถ และนนทิภา, 2553) ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันบางส่วนด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณร้อยละ 10-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 ค่าสีของเนื้อเค้กเนยที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณต่างๆ

จากตารางที่ 4.10 เมื่อใช้แบคทีเรียเซลลูโลสทดแทนเนยสดบางส่วนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้มีค่า L* มีแนวโน้มลดลง เท่ากับ 80.76±0.13, 79.45±0.24, 78.30±0.25, ตามลำดับ เมื่อมีการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 0, 10 และ20 (รูปที่ 4.9) สูตรที่มีการทดแทนไขมันตั้งแต่ร้อยละ 10 กับสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0) มีค่าความสว่างแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่า a* ของเค้กเนยในสูตรที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณร้อยละ 10 กับสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) แต่สูตรที่มีการทดแทนเนยสดร้อยละ 20 กับสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยสูตรที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณร้อยละ 20 พบว่ามีค่า a* เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ค่า b* มีค่าเป็นบวกและมีค่าอยู่ในช่วง 33.92±0.11-39.63±0.43 โดยที่สูตรที่มีการ สูตรที่มีการทดแทนไขมันตั้งแต่ร้อยละ 10 ค่า b* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) กับสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0)

ตารางที่ 4.10 ค่าสีของเนื้อเค้กเนยที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณต่างๆ

ปริมาณการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ระบบค่าสี		
	L*	a*	b*
0	80.76^{a}±0.13	5.49^{b}±0.09	35.23^{c}±0.07
10	79.45^{b}±0.24	5.43^{b}±0.10	39.63^{a}±0.43
20	78.30^{c}±0.25	5.91^{a}±0.10	35.75^{b}±0.22

หมายเหตุ : ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

4.3.2.3 คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

จากการนำเค้กเนยที่มีการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณต่างๆมาวัดคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสโดยวิธี TPA พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแบคทีเรียเซลลูโลสในส่วนผสมของเค้กเนยมีผลทำให้ ค่าความแข็ง (Hardness) ของเค้กเนยมีค่าเพิ่มขึ้น การเติมแบคทีเรียเซลลูโลสผงลงในส่วนผสมในปริมาณร้อยละ 10-20 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่ามีนัยสำคัญ ($P>0.05$) กับเค้กเนยสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness) ของเค้กเนยทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.27±.014 - 0.36±0.09 ส่วนค่าอัตราการคืนรูป (Springiness) เค้กเนยสูตรที่มีการทดแทนไขมันตั้งแต่ร้อยละ 10 -20 มีค่าอัตราการคืนรูป (Springiness) ต่างจากสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0) อย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) นั่นคือการเติมแบคทีเรียเซลลูโลสผงลงในส่วนผสมมีผลทำให้อัตราการคืนรูปลดลง เนื่องจาก เมื่อไขมันในสูตรลดลง และถูกแทนที่ด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ของเค้กเนยที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นแข็ง และหยาบขึ้น ค่าความแข็งจึงมีค่าเพิ่มขึ้น และอัตราการคืนรูปจึงลดลง

ค่าการเกาะตัวกัน (Adhesiveness) แสดงถึงความสามารถในการยึดเกาะของเค้กกับหัววัดที่ระยะหลังการบีบอัดครั้งแรก พบว่า เค้กทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) ค่าโดยมีค่าอยู่ในช่วง -0.0681±0.12 ถึง 0.0013±0.03 ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัส			
	Hardness (นิวตัน)	Cohesiveness	Springiness (มิลลิเมตร)	Adhesiveness
0	5.64^{a}±0.25	0.36^{a}±0.09	7.27^{a}±0.17	-0.0681^{a}±0.12
10	6.07^{a}±0.24	0.27^{b}±.014	6.05^{b}±0.20	-0.0025^{a}±0.014
20	6.24^{a}±0.15	0.33^{ab}±0.02	5.64^{b}±0.28	-0.0013^{a}±0.03

หมายเหตุ : ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

4.3.2.4 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ค่าความชื้นของเค้กเนยที่ได้ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมแบคทีเรียเซลลูโลสลงในส่วนผสมในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น เค้กเนยสูตรที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณร้อยละ 0, 10 และ 20 มีค่าความชื้นเท่ากับ 25.01±0.80, 26.46±0.79 และ 28.34±0.70 ตามลำดับ โดยเค้กเนยสูตรที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณร้อยละ 20 มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด อาจเป็นผลมาจากขั้นตอนของการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสมีการแช่แบคทีเรียเซลลูโลสผงในน้ำสะอาดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วพักให้สะเด็ดน้ำ ซึ่งจากการนำไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้นพบว่ามีค่าเป็นร้อยละ 86.14±0.48 และเมื่อนำแบคทีเรียเซลลูโลสผงไปเติมลงในส่วนผสมปริมาณการทดแทนเนยสดที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำในสูตรและผงแบคทีเรียเซลลูโลสยังสามารถกักเก็บน้ำไว้ในระหว่างการอบทำให้เค้กเนยมีความชุ่มชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ของเค้กเนยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญ (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.861±0.04 - 0.890±0.01 (ตารางที่ 4.12) ซึ่งเป็นค่าที่สูง และมีผลทำให้เกิดการเจริญของแบคทีเรียทั้งแกรมบวกแกรมลบ และยีสต์ (Felisberto, 2014)

ตารางที่ 4.12 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้นของเค้กเนย (ร้อยละ)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)
0	25.01^{c}±0.80	0.861^{a}±0.04
10	26.46^{b}±0.79	0.884^{a}±0.01
20	28.34^{a}±0.70	0.890^{a}±0.01

หมายเหตุ : ตัวอักษร a b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

4.3.3 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

จากตารางที่ 4.13 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ในช่วง 1.05±0.02 - 1.73±0.07 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง พบว่าเค้กสูตรที่มีการทดแทนไขมันที่ร้อยละ 10 และ 20 มีค่าการอุ้มน้ำแตกต่างจากสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ซึ่งค่าการอุ้มน้ำที่ดีที่สุดคือสูตรที่มีการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณร้อยละ 20 มีค่าเท่ากับ 1.36±0.12 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง รองลงมาคือสูตรที่มีการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณร้อยละ 10 และ ร้อยละ 0 ซึ่งมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ เท่ากับ 1.32±0.09 และ 1.05±0.02 ตามลำดับ และพบว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ ปริมาณการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาคุณลักษณะของขนมปังที่มีการทดแทนแป้งและเพิ่มใยอาหารด้วยเปลือกกล้วยผง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกกล้วยผงในสูตรขนมปัง มีผลทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของใยอาหารจากเปลือกกล้วยผงที่เติมลงในสูตรขนมปัง โดยที่ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันนี้มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากเป็นคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญ (Eshak, 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง)	ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง)
0	$1.05^{c}\pm0.02$	$0.40^{c}\pm0.08$
10	$1.32^{b}\pm0.09$	$0.51^{b}\pm0.06$
20	$1.36^{a}\pm0.12$	$0.64^{a}\pm0.03$

หมายเหตุ : ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

4.3.4 การทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณต่างๆ

จากการนำเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณต่างๆ มาทดสอบความชอบในด้าน สีของเนื้อเค้ก กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของเค้กเนย โดยการให้คะแนนความชอบ 7 ระดับ (7-Point Hedonic Scale) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.14

จากการทดสอบ ด้านลักษณะที่ปรากฏของเนื้อเค้ก โดยพิจารณาจากความสม่ำเสมอและขนาดเซลล์ของเนื้อเค้ก พบว่าเค้กเนยสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0) มีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะที่ปรากฏ สูงที่สุด เท่ากับ 6.03±0.99 เมื่อมีการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น พบว่าคะแนนความชอบของเค้กเนยที่ทดแทนไขมันในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 มีค่าลดลงเป็น 5.50±0.86 และ 5.47±0.82 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อไขมันถูกแทนที่ด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงทำให้ความสม่ำเสมอของขนาดของเซลล์เค้กลดลง อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏของเนื้อเค้กเนยที่ทดแทนไขมันในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P> 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณต่างๆ

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ปริมาณการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผง (ร้อยละ)		
	0	10	20
ลักษณะที่ปรากฏของเนื้อเค้ก	6.03^{a}±0.99	5.50^{b}±0.86	5.47^{b}±0.82
สีของเนื้อเค้ก	6.07^{a}±0.87	5.83^{a}±1.02	5.70^{a}±1.02
เนื้อสัมผัสของเนื้อเค้ก	5.63^{a}±1.27	4.87^{b}±1.33	4.63^{b}±1.19
กลิ่นรส	5.97^{a}±0.89	5.43^{a}±1.07	5.50^{a}±1.16
รสชาติ	5.67^{a}±1.06	5.20^{a}±1.10	5.20^{a}±1.21
ความชอบโดยรวม	5.86^{a}±0.82	5.47^{ab}±0.94	5.33^{b}±1.03

หมายเหตุ : ตัวอักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาความชอบด้านสีพบว่า สีของเนื้อเค้กทั้งสามสูตรไม่มีความแตกต่างกันในความรู้สึกของผู้ทดสอบ แต่ผลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดสี พบว่าการเติมแบคทีเรียเซลลูโลสผงลงในสูตรในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 มีผลทำให้ค่าความสว่างลดลงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 ไม่ส่งผลต่อความเปลี่ยนแปลงด้านค่าสีในความรู้สึกของผู้ทดสอบ

ความชอบด้านเนื้อสัมผัสเค้กเนยโดยพิจารณาความนุ่มของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 มีแนวโน้มลดลง เท่ากับ 4.87±1.33 และ 4.63±1.19 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐานพบว่าคะแนนความชอบของเค้กเนยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่ทั้งสองสูตรนี้มีความแตกต่างกันกับสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0) ในด้านเนื้อสัมผัส

ด้านกลิ่นรสพบว่าการลดปริมาณเนยสดลงในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 ไม่มีผลทำให้กลิ่นรสของเค้กเนยสดลดลงเมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐาน เนื่องจากไขมันเนยที่ลดลง ส่งผลให้กลิ่นเนยลดลง เนื่องจากไขมันจากเนยจะเป็นตัวทำให้เกิดกลิ่นรสให้กับเค้กเนย (จิรนาถ และนนทิภา, 2553)

ส่วนด้านความชอบรสชาติของผู้ทดสอบรู้สึกว่าความหวานลดลงในสูตรที่มีการเติมแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 อาจเนื่องมาจาก ในขั้นตอนการเตรียมใยอาหารผงจะต้องผ่านการแช่น้ำ เมื่อนำไปผสมในส่วนผสมของแบทเทอร์มีผลทำให้เพิ่มปริมาณของเหลวที่อยู่ในสูตรซึ่งสังเกตได้จากความหนืดของแบทเทอร์ในสูตรที่มีการเติมแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณร้อยละ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

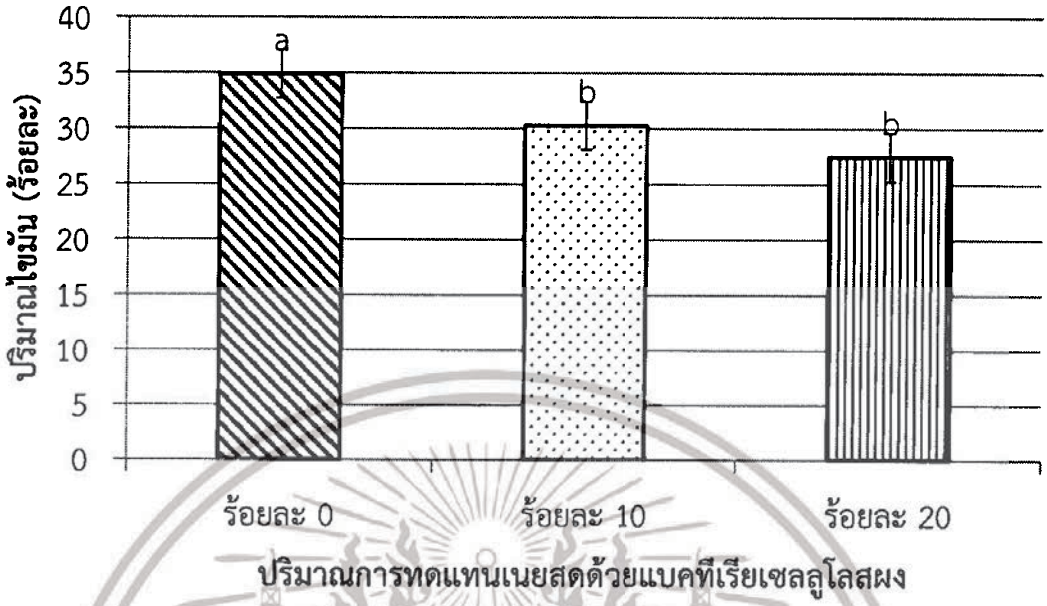
และ 20 มีลักษณะเหลวมากกว่าสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0) ซึ่งส่งผลถึงความหวานของเค้กที่ได้ทั้ง 2 สูตร ดังนั้นผู้ทดสอบจึงมีความรู้สึกว่าความหวานลดลง

คะแนนความชอบโดยรวมของเค้กเนยพบว่า การเติมแบคทีเรียเซลลูโลสผงลงในสูตรเค้กเนยสดเพื่อทดแทนไขมันบางส่วนในปริมาณร้อยละ 20 ยังเป็นที่ยอมรับได้ของผู้บริโภคซึ่งทั้งสามสูตรเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วมีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันแต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรมาตรฐาน และสูตรที่มีการทดแทนไขมันบางส่วนในระดับ ร้อยละ 20 พบว่าความชอบโดยรวมยังมีความแตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่า การทดแทนไขมันในเค้กเนยโดยใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงสามารถเติมลงในส่วนผสมเพื่อทดแทนไขมันได้ไม่เกิน ร้อยละ 10 เพื่อให้คุณลักษณะของเค้กเนยที่ได้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

4.3.5 ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไขมันในเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณต่างๆ

เค้กสูตรที่มีการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณร้อยละ 0, 10 และ 20 มีปริมาณของไขมันคิดเป็นร้อยละ 34.87±1.35, 30.26±1.39 และ 27.43±1.23 ตามลำดับ (รูปที่ 4.12) พบว่าการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงลงในส่วนผสมของเค้กเนยซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก ช่วยลดปริมาณไขมันลงได้ โดยเค้กเนยสูตรที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณร้อยละ 10 และ 20 พบว่าปริมาณไขมันที่ลดลงมีความแตกต่างจากสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ผลที่ได้คล้ายคลึงกับรายงานของ Ates และ Elmacl, 2018 ได้ศึกษาการใช้เยื่อหุ้มเมล็ดกาแฟทดแทนไขมันในเค้ก พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนไขมันด้วยเยื่อหุ้มเมล็กาแฟมีผลทำให้ปริมาณไขมันในเค้กมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันในส่วนผสมของเค้กเนยก็ยังมีความสำคัญต่อคุณภาพของเค้กเนื่องจากไขมันเป็นตัวที่ทำให้เกิดผลดีหลายอย่าง เช่น การเพิ่มปริมาณการเพิ่มความนุ่มในเค้ก ทำให้โครงสร้างของเนื้อเค้กเนียนละเอียด และนุ่มนวล ดังนั้นจึงสามารถใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงทดแทนไขมันในส่วนผสมได้ไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ปริมาณไขมันในเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

หมายเหตุ : ตัวอักษร a b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี โดยนำแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้นมาปรับสภาพให้มีความเป็นกรด-ด่าง เป็น 4, 7 และ 10 ผลการทดลองพบว่า แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 (pH 7-TD) มีลักษณะเป็นผงสีขาวอมเหลืองเล็กน้อย มีคุณสมบัติด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการพองตัวสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 10.67 ±0.21และ 32.17±0.72 และมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ต่ำกว่าแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 10 เล็กน้อย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.24±0.03

จากนั้นทดลองเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสผงโดยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน 2 รูปแบบ คือการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งแรงดันสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า แบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้ทั้ง 2 วิธี มีลักษณะเป็นผง สีขาว มีความนุ่มฟู และการให้ความร้อนมีผลทำให้แบคทีเรียเซลลูโลสผงมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และความสามารถในการพองตัวสูง แต่ความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน (pH 7-TD)

เมื่อนำเอาแบคทีเรียเซลลูโลสผงชนิด pH 7-TD มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ โดยเปรียบเทียบกับแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD) พบว่า ลักษณะของผงเซลลูโลส pH 7-TD มีลักษณะเป็นผงสีขาวและมีลักษณะผงที่หยาบกว่า pH 4-FD ซึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวอมเหลือง และพบว่า pH 4-FD มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ อุ้มน้ำมัน และความสามารถในการพองตัวสูงกว่า pH 7-TD

จากการที่แบคทีเรียเซลลูโลสผง pH 7-TD มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำที่สูงจึงเลือก pH 7-TD มาประยุกต์ใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เค้กเนยในปริมาณร้อยละ 0, 10 และ 20 พบว่า สูตรที่มีการทดแทนไขมันร้อยละ 10 และ 20 มีลักษณะของเนื้อเค้ก ไม่แตกต่างกันมาก มีสีใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน แต่เนื้อเค้กยังไม่เรียบเนียนเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน การทดแทนเนยสดเป็นร้อยละ 10 และ 20 ทำให้เค้กเนยที่ได้มีปริมาตรจำเพาะลดลงเท่ากับ 2.12±0.02 และ2.05±0.03 ตามลำดับ ด้านค่าสี พบว่าการใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงในการทดแทนเนยสดบางส่วนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้มีค่า L* มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า a* มีแนวโน้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นตามปริมาณการทดแทนเนยสดด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่เพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ผลทางด้านเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแบคทีเรียเซลลูโลสในส่วนผสมของเค้กเนยมีผลทำให้ ค่าความแข็ง (Hardness) ของเค้กเนยมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness) ของเค้กเนยทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ส่วนค่าอัตราการคืนรูป (Springiness) พบว่า มีผลทำให้อัตราการคืนรูปลดลง นอกจากนี้ค่าความชื้นของเค้กเนยที่ได้ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมแบคทีเรียเซลลูโลสลงในส่วนผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันของเค้กเนย พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 1.05±0.02 - 1.73±0.07 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง และ 0.398±0.08 – 0.636±0.03 กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง การทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณต่างๆ พบว่าผู้บริโภคยอมรับการทดแทนไขมันในเค้กเนยโดยใช้แบคทีเรียเซลลูโลสผงสามารถเติมลงในส่วนผสมเพื่อทดแทนไขมันได้ไม่เกิน ร้อยละ 10 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคะแนนการยอมรับโดยรวมไม่ต่างจากสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0) และการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไขมันของเค้กเนยที่ผลิตได้ พบว่าการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงลงในส่วนผสมของเค้กเนยซึ่งมีไขมัน เป็นองค์ประกอบหลัก ช่วยลดปริมาณไขมันลงได้ โดยที่ผลิตภัณฑ์ยังคงมีความนุ่ม ไม่แห้งแข็ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมแบคทีเรียเซลลูโลสผง เช่น การปรับสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส

2. ควรมีการศึกษาวิธีการทำแห้งในรูปแบบอื่น ที่มีต้นทุนต่ำกว่าวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry) แต่ยังคงคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีของเส้นใยไว้ได้

3. ควรศึกษาวิธีการทำให้ผงของแบคทีเรียเซลลูโลสมีขนาดเล็กลงมากกว่านี้ เพื่อที่จะได้นำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณ (Bulking agent) ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กนกวรรณ โชติเชย และนภาวรรณ ศรีสุดใจ. 2547. การใช้อัลบิโดผงจากเปลือกส้มโอเป็นแหล่งใยอาหารในผลิตภัณฑ์เค้กและคุกกี้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จิรนาถ บุญคง และนนทิภา ราชชมภู. 2553. การใช้อีควาเซียทดแทนไขมันบางส่วนในผลิตภัณฑ์เค้กเนย. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*. 5(1) : 26-35.

ฐิตา ฟูเผ่า, อัจฉรา พรหมแสง, พัชรา อ้นโต และวีระ พุ่มเกิด. 2557. ผลของวิธีการสกัดต่อคุณสมบัติของสารสกัดแบคทีเรียเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม. 7(2) : 43-55.

ณรงค์ ลุมพิกานนท์, พรเพ็ญ ศิริดำรง, ธนิสร์ วัยโรจนวงศ์, ฉวีวรรณ พูนธนานิวัตกุล, กฤต เรืองโสภาพันธ์, ราชพร สีจันทร์ และอาจินทร์ บุญเรือง. 2561. การเตรียมผงแบคทีเรียแบคทีเรียเซลลูโลส สำหรับวัสดุทางการแพทย์: ส่วนที่ 1. *วารสารวิทยาศาสตร์ มศว*. 34(1) : 277-286.

ณัฐกานต์ กล่ำชุ่ม, สิริภา พันหา และสุชาดา ปุณยธนกุล. 2556. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสจากเปลือกแตงโมโดยเชื้อ *Gluconacetobacter nataicola* PAP1. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปธานัน แก้วชิงดวง และพีรธัช วัจฉละญาณ. 2558. ผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสมุนไพรปอกะบิดอบแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ประพรรัตน์ ยิ่งใหญ่ และรุจรวี คำมาก. 2556. การทำแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบพกพาและพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

พิมพิศา ศิลาอ่อน. 2559. สูตรลับ เค้กเนยสด เนื้อนุ่ม เนียนละเอียด จากเอสแอนด์พี. [Online]. Available : https://goodlifeupdate.com/healthy-food/recipe/20042.html. สืบค้นวันที่ 21 พฤษภาคม 2562.

เพ็ญพิชชา นาคพนม, เพ็ญโสม ใจวงค์ และมณีกาญจน์ สังข์แก้ว. 2555. การศึกษาการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในกุนเชียงหมูขึ้นรูปโดยใช้สารสกัดจากสาหร่ายร่วมกับแบคทีเรียเซลลูโลสจากแบคทีเรีย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วันเพ็ญ แสงทองพินิจ. 2551. การผลิตและคุณสมบัติของใยอาหารจากเปลือกส้มโอเพื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. หน้า 1-10. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 1. นครปฐม : มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.

วีรเชษฐ์ จิตตาณิชย์. 2557. การทำแห้งอาหารแบบสุญญากาศและแบบแช่เยือกแข็ง. หน้า 46-49. ใน FOOD FOCUS THAILAND.

สุกิจ ลิติกรณ์. 2561. การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง. หน้า 40-41. ใน FOOD FOCUS THAILAND.

Ateş, G. and Elmacı, Y. 2018. Coffee silverskin as fat replacer in cake formulations and its effect on physical, chemical and sensory attributes of cakes. *LWT-Food Science and Technology*. 90 : 519-525.

Bicu, I. and Mustata, F. 2011. Cellulose extraction from orange peel using sulfite digestion reagents. *Bioresource Technology*. 102 : 10013-10019.

Borneo, R., Aguirre, A., and Leon A.E. 2010. Chia (Salvia hispanica L.) Gel Can Be Used as Egg or Oil Replacer in Cake Formulation. *American Dietetic Association*. 946-949.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Deepa, B. Abraham, E. Cherian, B.M. Bismarck, A. Blaker, J.J. Pothan, L.A. Leao, A.L. Souza, S.F. and Kottaisamy, M. 2011. Structure, morphology and thermal characteristics of banana nano fibers obtained by steam explosion. *Bioresource Technology*. 102 : 1988-1997.

Eshak, S. N. 2016. Sensory evaluation and nutritional value of balady flat bread supplemented with banana peels as a natural source of dietary fiber. *Annals of Agricultural Science*. 61(2) : 229-235.

Felisberto, M. H. F., Wahanik, A. L., Gomes-Ruffi, C. R., Clerici, M. T. P. S., Chang, Y. K., and Steel, C. J. 2015. Use of chia (Salvia hispanica L.) mucilage gel to reduce fat in pound cakes. *LWT- Food Science and Technology*. 63 : 1049–1055.

Femenia, A. Lefebvre, C. Thebaudin, Y. Robertson, J. and Bourgeois, C. 1997. Physical and Sensory Properties of Model Foods Supplemented with Cauliflower Fiber. *Journal of Food Science*. 62 : 635–639.

Fernandes, S.S., and Salas-Mellado, M.M. 2017. Addition of chia mucilage for reduction of fat content in bread and cake. *Food Chemistry*. 227 : 237-244.

George, J. and Siddaramaiah. 2012. High performance edible nanocomposite films containing bacterial cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*. 87 : 2031-2037.

Jonas, R. and Farah, L. F. 1998. Production and application of microbial cellulose. *Polymer degradation and Stability*. 59 : 101-106.

Kaur, M. Sandhu, S. K. and Singh, N. 2007. Comparative study of functional thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars. *Food Chemistry*. 104 : 259-267.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Moosavi-Nasab, M. and Yousefi, A. R. 2010. Investigation of Physicochemical Properties of the Bacterial Cellulose Produced by Gluconacetobacter xylinus from Date Syrup. *World Academy of Science, Engineering and Technology.* 44.

Naowakul, B. Wirjantoro, T. I. and Phianmongkhol, A. 2013. Effects of speed and time of wet milling on properties of dietary fiber powder from pomelo's albedo. *Food and Applied Bioscience Journal.* 1(1): 34-48.

Okiyama, A. Motoki, M. and Yamanaka, S. 1992. Bacterial cellulose II. Processing of the Gelatinous Cellulose for Food Materials. Food Hydrocolloids. 6(5) : 479-487.

Okiyama, A. Motoki, M. and Yamanaka, S. 1993. Bacterial Cellulose IV. Application to Processed Foods. *Food Hydrocolloid.* 6(6) : 503-511.

Pizarro, P.L., Almeida,E.L., Samman, N.C., and Chang Y.K. 2018. Evaluation of whole chia (Salvia hispanica L.) flour and hydrogenated vegetable fat in pound cake. *LWT-Food Science and Technology.* 54 : 73-79.

Robertson, J.A. Monredon, F.D. Dysseler, P. Guillon, F. Amado, R. and Thibault, J.F. 2000. Hydration Properties of Dietary Fibre and Resistant Starch : a European Collaborative Study. *Lebensmittel – Wissenschaft tech.* 33 : 72-79.

Roman, M. and Winter, W.T. 2004. Effect of Sulfate Groups from Sulfuric Acid Hydrolysis on the Thermal Degradation Behavior of Bacterial Cellulose. *Biomacromolecules.* 5 : 1671-1677.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Sowbhagya, H.B. Florence, S.P. Mahadevamma, S. and Tharanathan, R.N. 2007. Spent Residue from Cummin a Potential Source of Dietary Fiber. *Food Chemistry*. 104 : 1220-1225.

Yamanaka, S. Watanabe, K. and Kitamura, N. 1989. The structure and mechanical properties of sheets prepared from bacterial cellulose. *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE*. 24 : 3141-3145.

Zeng, M. Laromaine, A. and Roig, A. 2014. Bacterial cellulose films: influence of bacterial strain and drying route on film properties. *Cellulose*. 21 : 4455-4469.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพ

1. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Crude fat) (AOAC, 2000)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert
2. เครื่องสกัดไขมันแบบ Soxhlet (Soxhlet extraction analyzer) รุ่น BUCHI 810
3. เครื่องกลั่นสารระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator) ยี่ห้อ Heidolph รุ่น Hei-vap Precision ML/HB/G5
4. ฟลาสก์สกัดไขมัน
5. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. คีมคีบ (Forcep)
7. โถดูดความชื้น (Desiccator)
8. ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีจุดเดือด 30-50 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ RCI Labscan
9. ตัวอย่างเค้กเนยที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว

วิธีการ

1. นำฟลาสก์สกัดไขมันไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2. นำตัวอย่างเค้กเนยที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว ประมาณ 2 กรัม ใส่ในกระดาษกรองและห่อให้มิดชิด

3. นำตัวอย่างที่อยู่ในกระดาษกรองใส่ใน Extraction Unit it of Soxhlet ซึ่งเชื่อมต่อกับ 1046 Service Unit โดยใช้เครื่อง adapter

4. เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในฟลาสก์สกัดไขมันที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ประกอบเครื่อง Soxhlet เข้าด้วยกัน

5. ให้ความร้อนทำการสกัดไขมันออกจากตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

6. กลั่นเอาปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากไขมันโดยใช้เครื่องกลั่นสารระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator) นำฟลาสก์สกัดไขมันและไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาข้ามคืน จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

2. การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ยี่ห้อ AquaLab รุ่น Series 3 TE
2. ภาชนะบรรจุตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

วิธีการ

1. วอร์มเครื่องไว้เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้ผลการวัดมีประสิทธิภาพสูงสุด
2. บรรจุตัวอย่างใส่ในภาชนะบรรจุ ซึ่งปริมาณของตัวอย่างไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของภาชนะบรรจุ
3. ใส่ภาชนะบรรจุลงไปในลิ้นชักใส่ตัวอย่าง ปิดลิ้นชักด้วยความระมัดระวัง เพื่อไม่ให้ตัวอย่างหก
4. หมุนปุ่มของลิ้นชักจากตำแหน่ง OPEN/LOAD ไปยังตำแหน่ง READ เครื่องจะทำการวัดค่า Aw
5. เมื่อเครื่องเริ่มทำการวัดค่า Aw จะมีสัญญาณเตือน 1 ครั้งและไฟสีเขียวจะกะพริบ 1 ครั้ง
6. เครื่องจะแสดงผลของค่า Aw ที่อ่านได้ครั้งแรก เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 40 วินาที
7. เมื่อเครื่องทำการวัดค่า Aw เสร็จเรียบร้อย จะมีสัญญาณเตือนและไฟสีเขียวจะกะพริบจนกว่าจะเปิดลิ้นชักใส่ภาชนะบรรจุตัวอย่างออกมา
8. ที่หน้าจอ LCD ของเครื่องจะแสดงค่า Aw ที่อ่านได้ค่าสุดท้าย พร้อมอุณหภูมิของตัวอย่าง

3. การวัดค่าสี ในระบบ L*, a* และ b* ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น MiniScanEZ

อุปกรณ์

1.ตัวอย่างที่จะนำมาวัด

2.เครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น MiniScanEZ

3.ถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

1.ปรับมาตรฐานสีโดยใช้แผ่นทียบมาตรฐานสีขาว

2.บรรจุตัวอย่างในถ้วยพลาสติก เกลี่ยผิวหน้าตัวอย่างให้เรียบ ใช้หัววัดสีวางทาบลงบนตัวอย่างในแนวตั้งฉากและอ่านค่า โดยที่ ค่า L* บ่งบอกถึง ความสว่าง (lightness) มี ค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว ค่า a* หมายถึง สีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+ a*) ค่า b* หมายถึง สีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*)

3.ทำการวัด 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4. การวัดปริมาตรจำเพาะ ตามวิธีการของ มอก.374-2524

วิธีการ

1. วัดปริมาตรของภาชนะ โดยการเติมเมล็ดงาให้เต็มภาชนะ แล้วเทเมล็ดงานั้นลงกระบอกตวง จดปริมาตรที่วัดได้ (1)

2. ชั่งตัวอย่างเค้กที่จะตรวจสอบ (3) จากนั้นบรรจุเค้กลงในภาชนะที่มีความสูงและความกว้างมากกว่าขนาดของเค้กที่ใช้ตรวจสอบ

3. เติมงาให้เต็มช่องว่างทั้งด้านข้างและด้านบนของภาชนะ จากนั้นเทเมล็ดงาลงในกระบอกตวง จดปริมาตรที่วัดได้ (3) และนำมาคำนวณหาปริมาตรจำเพาะได้โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)} = \frac{\text{ปริมาตรของงา (1) - ปริมาตรของงา (2)}}{\text{น้ำหนักของเค้ก (3)}}$$

5. การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้วิธี Texture profile analysis

วิธีการ

3. เตรียมตัวอย่างเค้กรูปทรง สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 x 5 มิลลิเมตร

4. วิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยใช้โพรบทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร และโหลดเซลล์ 20 นิวตัน ความเร็วในการทดสอบ 2.5 มิลลิเมตรต่อวินาที กดลงบนตัวอย่างลงไป 50 เปอร์เซนต์ของความหนา

3.จดบันทึกค่าที่แสดงผลจากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TPA) ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness) ค่าอัตราการคืนรูป (Springiness) และ ค่าการเกาะตัวกัน (Adhesiveness)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ : เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันด้วยแบคทีเรียเซลลูโลสผงในปริมาณต่างๆ

วันที่ทดสอบ : .....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างที่เสนอให้ตามลำดับของรหัสที่เสนอในตารางจากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนตามความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดให้

7 = ชอบมากที่สุด
6 = ชอบมาก
5 = ชอบปานกลาง
4 = ชอบ
3 = ไม่ชอบเล็กน้อย
2 = ไม่ชอบมาก
1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบของตัวอย่าง		
	รหัส 086	รหัส 329	รหัส 752
ลักษณะที่ปรากฏของเนื้อเค้ก			
สีของเนื้อเค้ก			
เนื้อสัมผัสของเนื้อเค้ก			
กลิ่นรส			
รสชาติ			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอบคุณสำหรับความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 แสดงค่าปริมาณความชื้นของแผ่นวุ้นมะพร้าวและแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (paste)

วัตถุดิบ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย ± SD
แผ่นวุ้นมะพร้าว	97.67 97.51 97.63	97.60±0.08
แบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (paste)	90.25 91.63 90.86	90.91±0.69

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของแผ่นวุ้นมะพร้าวและแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (paste)

วัตถุดิบ	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าเฉลี่ย ± SD
แผ่นวุ้นมะพร้าว	3.74 3.76 3.78	3.76±0.02
แบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (paste)	4.33 4.19 4.23	4.23±0.09

ตารางที่ ค.3 แสดงค่าสีของแผ่นวุ้นมะพร้าว

ระบบค่าสี	ซ้ำที่			ค่าเฉลี่ย ± SD
	1	2	3	
L*	61.9	61.82	61.87	61.86±0.04
a*	-2.38	-2.46	-2.45	-2.43±0.04
b*	0.94	0.94	0.97	0.95±0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 แสดงค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น (paste)

ระบบค่าสี	ซ้ำที่			ค่าเฉลี่ย ± SD
	1	2	3	
L*	72.69	72.72	72.76	72.72±0.04
a*	0.93	0.94	0.94	-2.43±0.04
b*	9.62	9.62	9.68	9.64±0.03

ตารางที่ ค.5 คุณสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 4 (pH 4 -TD)

ระบบค่าสี	ซ้ำที่			ค่าเฉลี่ย ± SD
	1	2	3	
L*	83.83	83.82	83.83	83.83±0.01
a*	0.76	0.77	0.76	0.76±0.01
b*	7.59	7.61	7.59	7.60±0.01

ตารางที่ ค.6 คุณสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 7 (pH 7-TD)

ระบบค่าสี	ซ้ำที่			ค่าเฉลี่ย ± SD
	1	2	3	
L*	83.65	83.63	83.60	83.63±0.03
a*	1.03	1.04	1.05	1.04±0.01
b*	7.51	7.52	7.51	7.51±0.01

ตารางที่ ค.7 คุณสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 10 (pH 10-TD)

ระบบค่าสี	ซ้ำที่			ค่าเฉลี่ย ± SD
	1	2	3	
L*	82.32	82.34	82.38	82.35±0.03
a*	1.05	1.09	1.09	1.08±0.02
b*	5.68	5.68	5.68	5.68±0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 ความหนาแน่นจำเพาะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่าง เท่ากับ 4,7 และ 10

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความหนาแน่นจำเพาะ (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4 -TD	0.0476 0.0466 0.0466	0.0469±0.00
pH 7-TD	0.0455 0.0467 0.0455	0.0459±0.00
pH 10-TD	0.0476 0.0488 0.0476	0.0480±0.00

ตารางที่ ค.9 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่าง เท่ากับ 4,7 และ 10

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4 -TD	0.453 0.455 0.454	0.4540±0.00
pH 7-TD	0.485 0.484 0.484	0.4843±0.00
pH 10-TD	0.485 0.485 0.484	0.4847±0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 4,7 และ 10

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4 -TD	8.53	8.53±0.01
	8.53	
	8.54	
pH 7-TD	7.78	7.78±0.01
	7.77	
	7.78	
pH 10-TD	8.76	8.77±0.01
	8.77	
	8.78	

ตารางที่ ค.11 ปริมาณความชื้นของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 4,7 และ 10

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4 -TD	1.42	1.46±0.08
	1.41	
	1.56	
pH 7-TD	1.64	1.60±0.07
	1.52	
	1.63	
pH 10-TD	1.79	1.80±0.02
	1.79	
	1.83	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4 -TD	9.92	10.16 ±0.21
	10.24	
	10.32	
pH 7-TD	10.76	10.67 ±0.21
	10.83	
	10.43	
pH 10-TD	9.79	9.86 ±0.14
	10.02	
	9.76	

ตารางที่ ค.13 ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการพองตัว (มิลลิลิตรต่อกรัม)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4 -TD	31.87	31.50±0.54
	31.75	
	30.88	
pH 7-TD	31.75	32.17±0.72
	33.00	
	31.75	
pH 10-TD	26.89	27.17±0.53
	26.84	
	27.78	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4 -TD	8.07 8.11 8.17	8.12 ±0.05
pH 7-TD	8.20 8.25 8.26	8.24 ±0.03
pH 10-TD	8.58 8.41 8.50	8.50 ±0.09

ตารางที่ ค.15 คุณสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนโดยการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (pH 7 Boiling)

ระบบค่าสี	ซ้ำที่			ค่าเฉลี่ย ± SD
	1	2	3	
L*	84.08	84.05	84.03	84.05±0.03
a*	0.52	0.52	0.51	0.52±0.01
b*	8.00	8.02	8.01	8.01±0.01

ตารางที่ ค.16 คุณสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งแรงดันสูง (pH 7 Autoclave)

ระบบค่าสี	ซ้ำที่			ค่าเฉลี่ย ± SD
	1	2	3	
L*	85.88	85.87	85.86	85.87±0.01
a*	0.36	0.37	0.37	0.37±0.01
b*	6.93	6.92	6.91	6.92±0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.17 ความหนาแน่นจำเพาะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน 2 รูปแบบ

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความหนาแน่นจำเพาะ (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 7 Boiling	0.0399 0.0398 0.0398	0.0398±0.00
pH 7 Autoclave	0.03996 0.03994 0.03994	0.0399±0.00

ตารางที่ ค.18 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน 2 รูปแบบ

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 7 Boiling	0.524 0.522 0.521	0.52±0.00
pH 7 Autoclave	0.466 0.466 0.466	0.47±0.00

ตารางที่ ค.19 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน 2 รูปแบบ

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 7 Boiling	9.7522 9.7676 9.5132	9.68±0.14
pH 7 Autoclave	9.0239 9.0262 9.1587	9.07±0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.20 ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน 2 รูปแบบ

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการพองตัว (มิลลิลิตรต่อกรัม)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 7 Boiling	35.0000 34.0000 35.0000	34.67±0.58
pH 7 Autoclave	32.7400 32.7400 32.6700	32.72±0.04

ตารางที่ ค.21 ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน 2 รูปแบบ

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 7 Boiling	10.0406 10.1774 9.8300	10.02±0.18
pH 7 Autoclave	9.1002 9.0600 9.0900	9.08±0.02

ตารางที่ ค.22 คุณสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ระบบค่าสี	ซ้ำที่			ค่าเฉลี่ย ± SD
	1	2	3	
L*	82.47	82.47	82.46	82.47±0.01
a*	2.17	2.15	2.15	2.16±0.01
b*	14.77	14.74	14.73	14.75±0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.23 ความหนาแน่นจำเพาะของแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความหนาแน่นจำเพาะ (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4-FD	0.0386	0.038±0.001
	0.0378	
	0.0378	

ตารางที่ ค.24 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4-FD	0.509	0.508±0.001
	0.508	
	0.507	

ตารางที่ ค.25 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4-FD	4.12	4.12±0.00
	4.12	
	4.12	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.26 ความสามารถในการอุ้มน้ำของแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4-FD	11.8100	12.06±0.72
	12.8740	
	11.5100	

ตารางที่ ค.27 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4-FD	10.0100	10.06±0.07
	10.0400	
	10.1400	

ตารางที่ ค.28 ความสามารถในการพองตัวของแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	ความสามารถในการพองตัว (มิลลิลิตรต่อกรัม)	ค่าเฉลี่ย ± SD
pH 4-FD	44.00	44.30±0.53
	44.91	
	44.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.29 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ได้จากการปรับสภาพที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบถาด (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

องค์ประกอบทางเคมี(ร้อยละ)	pH 4-FD	pH 7-TD
เถ้า	87.969	70.370
โปรตีน	2.786	1.202
ใยอาหารที่ละลายน้ำ	61.536	78.694
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	9.584	18.066

ตารางที่ ค.30 คุณสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีของเนื้อเค้กเนยสูตรมาตรฐาน (ร้อยละ 0)

ระบบค่าสี	ซ้ำที่ 1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย ± SD
L*	79.78	79.20	79.43	79.40	79.45±0.24
a*	5.28	5.51	5.46	5.47	5.43±0.10
b*	40.18	39.14	39.62	39.57	39.63±0.43

ตารางที่ ค.31 คุณสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีของเนื้อเค้กเนยที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณร้อยละ 10

ระบบค่าสี	ซ้ำที่ 1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย ± SD
L*	80.95	80.69	80.71	80.70	80.76±0.13
a*	5.36	5.52	5.53	5.55	5.49±0.09
b*	35.12	35.26	35.24	35.29	35.23±0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.32 คุณสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีของเนื้อเค้กเนยที่มีการทดแทนเนยสดในปริมาณร้อยละ 20

ระบบค่าสี	ซ้ำที่ 1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย ± SD
L*	78.28	78.58	77.98	78.36	78.30±0.25
a*	5.84	5.84	6.05	5.92	5.91±0.10
b*	35.42	35.83	35.10	35.86	35.75±0.22

ตารางที่ ค.33 คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของค่า Hardness ของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ซ้ำที่	ค่า Hardness (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ย ± SD
0	1	5.5100	5.64±0.25
	2	5.9990	
	3	5.8530	
	4	5.3850	
	5	5.3990	
	6	5.7050	
10	1	6.2360	6.07±0.24
	2	6.0480	
	3	6.0090	
	4	5.7720	
	5	5.8900	
	6	6.4450	
20	1	6.3890	6.24±0.15
	2	6.1350	
	3	6.1750	
	4	6.0250	
	5	6.2970	
	6	6.0420	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.34 คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของค่า Cohesiveness ของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ซ้ำที่	ค่า Cohesiveness	ค่าเฉลี่ย ± SD
0	1	0.4369	0.36±0.09
	2	0.4445	
	3	0.3449	
	4	0.2930	
	5	0.2437	
	6	0.3735	
10	1	0.2670	0.27±.014
	2	0.2811	
	3	0.2854	
	4	0.2486	
	5	0.2794	
	6	0.2652	
20	1	0.3197	0.33±0.02
	2	0.0621	
	3	0.3060	
	4	0.3269	
	5	0.3421	
	6	0.3602	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.35 คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของค่า Springiness ของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ซ้ำที่	ค่า Springiness (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย ± SD
0	1	7.1950	7.27±0.17
	2	7.2510	
	3	7.0820	
	4	7.2260	
	5	7.2560	
	6	7.5970	
10	1	6.3130	6.05±0.20
	2	6.1920	
	3	6.1510	
	4	5.8580	
	5	5.8520	
	6	5.9210	
20	1	5.9310	5.64±0.28
	2	5.8540	
	3	5.4790	
	4	5.2730	
	5	5.8660	
	6	5.4410	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.36 คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของค่า Adhesiveness ของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ซ้ำที่	ค่า Adhesiveness	ค่าเฉลี่ย ± SD
0	1	-0.0206	-0.0681±0.12
	2	-0.0303	
	3	-0.0054	
	4	-0.0348	
	5	-0.0002	
	6	-0.0453	
10	1	-0.0160	-0.0025±0.014
	2	0.0030	
	3	-0.0102	
	4	-0.0035	
	5	-0.0066	
	6	0.0237	
20	1	-0.0125	-0.0013±0.03
	2	-0.0111	
	3	-0.0087	
	4	-0.0138	
	5	-0.0163	
	6	-0.0178	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.37 ปริมาณความชื้นของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ซ้ำที่	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย ± SD
0	1	24.5229	25.01±0.80
	2	25.1976	
	3	24.1517	
	4	25.7000	
	5	25.6917	
	6	25.7874	
10	1	27.1912	26.46±0.79
	2	26.8364	
	3	27.4286	
	4	25.8789	
	5	25.8000	
	6	25.6158	
20	1	28.0439	28.34±0.70
	2	29.4821	
	3	28.2819	
	4	27.4225	
	5	28.0736	
	6	28.7091	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.38 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ซ้ำที่	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)	ค่าเฉลี่ย ± SD
0	1	0.8410	0.861±0.04
	2	0.8250	
	3	0.8160	
	4	0.8170	
	5	0.9000	
	6	0.8980	
	7	0.8960	
	8	0.9010	
10	1	0.8930	0.884±0.01
	2	0.8950	
	3	0.8920	
	4	0.8900	
	5	0.8980	
	6	0.8850	
	7	0.8850	
	8	0.8700	
20	1	0.9010	0.890±0.01
	2	0.9030	
	3	0.9060	
	4	0.9030	
	5	0.8790	
	6	0.8830	
	7	0.8740	
	8	0.8750	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.39 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ซ้ำที่	ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย ± SD
0	1	1.0280	1.05±0.02
	2	1.0600	
	3	1.0640	
	4	1.0200	
	5	1.0560	
	6	1.0629	
10	1	1.2822	1.32±0.09
	2	1.3160	
	3	1.4000	
	4	1.2350	
	5	1.4501	
	6	1.2113	
20	1	1.4430	1.36±0.12
	2	1.2050	
	3	1.4430	
	4	1.4390	
	5	1.2030	
	6	1.4344	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.40 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ซ้ำที่	ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย ± SD
0	1	0.4965	0.40±0.08
	2	0.4272	
	3	0.3887	
	4	0.3020	
	5	0.4660	
	6	0.3091	
10	1	0.5508	0.51±0.06
	2	0.5690	
	3	0.5170	
	4	0.5431	
	5	0.4692	
	6	0.4145	
20	1	0.6730	0.64±0.03
	2	0.5861	
	3	0.6750	
	4	0.6370	
	5	0.6240	
	6	0.6310	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.41 ปริมาณไขมันในเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณการทดแทนเนยสดด้วยเซลลูโลสผง (ร้อยละ)	ซ้ำที่	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย ± SD
0	1	33.9163	34.87±1.35
	2	35.8248	
10	1	29.2819	30.26±1.39
	2	31.2440	
20	1	26.5632	27.43±1.23
	2	28.3056	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ ง.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการพองตัวทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ความสามารถในการพองตัว **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
4.00	3	31.5000	0.54028
7.00	3	32.1667	0.72169
10.00	3	27.1697	0.52728
Total	9	30.2788	2.40693

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ความสามารถในการพองตัว

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
10.00	3	27.1697		
4.00	3		31.5000	
7.00	3		32.1667	
Sig.		1.000	0.224	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ความสามารถในการอุ้มน้ำ **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
4.00	3	10.1600	0.21166
7.00	3	10.6733	0.21362
10.00	3	9.8567	0.14224
Total	9	10.2300	0.39430

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ความสามารถในการอุ้มน้ำ

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
10.00	3	9.8567	
4.00	3	10.1600	
7.00	3		10.6733
Sig.		0.101	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
4.00	3	8.5333	0.00577
7.00	3	7.7767	0.00577
10.00	3	8.7700	0.01000
Total	9	8.3600	0.44939

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
7.00	3	7.7767		
4.00	3		8.5333	
10.00	3			8.7700
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
4.00	3	8.1167	0.05033
7.00	3	8.2367	0.03215
10.00	3	8.4967	0.08505
Total	9	8.2833	0.17607

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4.00	3	8.1167		
7.00	3		8.2367	
10.00	3			8.4967
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความหนาแน่นจำเพาะทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ความหนาแน่นจำเพาะ **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
4.00	3	0.0469	0.00058
7.00	3	0.0459	0.00069
10.00	3	0.0480	0.00069
Total	9	0.0469	0.00107

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ความหนาแน่นจำเพาะ

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
7.00	3	0.0459	
4.00	3	0.0469	0.0469
10.00	3		0.0480
Sig.		0.102	0.094

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.6 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาปริมาณความชื้นทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ปริมาณความชื้น

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
4.00	3	1.4633	0.08386
7.00	3	1.5967	0.06658
10.00	3	1.8033	0.02309
Total	9	1.6211	0.15815

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ปริมาณความชื้น

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4.00	3	1.4633		
7.00	3		1.5967	
10.00	3			1.8033
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
4.00	3	0.4540	0.00100
7.00	3	0.4843	0.00058
10.00	3	0.4847	0.00058
Total	9	0.4743	0.01526

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (aw)

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4.00	3	0.4540	
7.00	3		0.4843
10.00	3		0.4847
Sig.		1.000	0.604

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.8 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระบบค่าสี L*ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ระบบค่าสี L*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
4.00	3	83.8267	0.00577
7.00	3	83.6267	0.02517
10.00	3	82.3467	0.03055
Total	9	83.2667	0.69570

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ระบบค่าสี L*

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
10.00	3	82.3467		
7.00	3		83.6267	
4.00	3			83.8267
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.9 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระบบค่าสี a* ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ระบบค่าสี a*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
4.00	3	0.7633	0.00577
7.00	3	1.0400	0.01000
10.00	3	1.0767	0.02309
Total	9	0.9600	0.14891

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ระบบค่าสี a*

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4.00	3	0.7633		
7.00	3		1.0400	
10.00	3			1.0767
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.8 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระบบค่าสี b* ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10

ระบบค่าสี b*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
4.00	3	7.5967	0.01155
7.00	3	7.5133	0.00577
10.00	3	5.6800	0.00000
Total	9	6.9300	0.93822

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ระบบค่าสี b*

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
10.00	3	5.6800		
7.00	3		7.5133	
4.00	3			7.5967
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.11 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความหนาแนนจำเพาะทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

ความหนาแน่นจำเพาะ **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
pH 7	3	0.0459	0.00069
pH 7 Boiling	3	0.0398	0.00006
pH 7 Autoclave	3	0.0399	0.00001
Total	9	0.0419	0.00303

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ความหนาแน่นจำเพาะ

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
pH 7	3		0.0459
pH 7 Boiling	3	0.0398	
pH 7 Autoclave	3	0.0399	
Sig.		0.741	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.12 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการพองตัวทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

ความสามารถในการพองตัว **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
pH 7	3	32.1667	0.72169
pH 7 Boiling	3	34.6667	0.57735
pH 7 Autoclave	3	32.7167	0.04041
Total	9	33.1833	1.22814

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ความสามารถในการพองตัว

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
pH 7	3	32.1667	
pH 7 Boiling	3		34.6667
pH 7 Autoclave	3	32.7167	
Sig.		0.254	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.13 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน — **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
pH 7	3	8.2367	0.03215
pH 7 Boiling	3	10.0167	0.17616
pH 7 Autoclave	3	9.0833	0.02082
Total	9	9.1122	0.77632

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
pH 7	3	8.2367		
pH 7 Boiling	3			10.0167
pH 7 Autoclave	3		9.0833	
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.14 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

วอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
pH 7	3	0.4843	0.00058
pH 7 Boiling	3	0.5223	0.00153
pH 7 Autoclave	3	0.4673	0.00231
Total	9	0.4913	0.02443

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

วอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
pH 7	3		0.4843	
pH 7 Boiling	3			0.5223
pH 7 Autoclave	3	0.4673		
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.15 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

ความสามารถในการอุ้มน้ำ **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
pH 7	3	10.6733	0.21362
pH 7 Boiling	3	9.6777	0.14264
pH 7 Autoclave	3	9.0696	0.07717
Total	9	9.8069	0.71387

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Water Holding capacity (g water/g sample)

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
pH 7	3			10.6733
pH 7 Boiling	3		9.6777	
pH 7 Autoclave	3	9.0696		
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.16 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระบบค่าสี L*ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

ระบบค่าสี L*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
pH 7	3	83.6267	0.02517
pH 7 Boiling	3	85.8700	0.01000
pH 7 Autoclave	3	84.0533	0.02517
Total	9	84.5167	1.03184

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ระบบค่าสี L*

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
pH 7	3	83.6267		
pH 7 Boiling	3			85.8700
pH 7 Autoclave	3		84.0533	
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.17 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระบบค่าสี a* ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

ระบบค่าสี a*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
pH 7	3	1.0400	0.01000
pH 7 Boiling	3	0.3667	0.00577
pH 7 Autoclave	3	0.5167	0.00577
Total	9	0.6411	0.30620

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ระบบค่าสี a*

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
pH 7	3			1.0400
pH 7 Boiling	3	0.3667		
pH 7 Autoclave	3		0.5167	
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.18 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระบบค่าสี b* ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ร่วมกับการให้ความร้อน

ระบบค่าสี b*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
pH 7	3	7.5133	0.00577
pH 7 Boiling	3	6.9200	0.01000
pH 7 Autoclave	3	8.0100	0.01000
Total	9	7.4811	0.47266

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ระบบค่าสี b*

Duncan[a]

ตัวอย่างแบคทีเรียเซลลูโลสผง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
pH 7	3		7.5133	
pH 7 Boiling	3	6.9200		
pH 7 Autoclave	3			8.0100
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.19 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระบบค่าสี L* ทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ระบบค่าสี L*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	4	80.7625	0.12527
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	4	79.4525	0.24102
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	4	78.3000	0.24819
Total	12	79.5050	1.06815

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ระบบค่าสี L*

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	4	78.3000		
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	4		79.4525	
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	4			80.7625
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.20 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระบบค่าสี a* ทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ระบบค่าสี a*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	4	5.4900	0.08756
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	4	5.4300	0.10231
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	4	5.9125	0.09912
Total	12	5.6108	0.24066

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ระบบค่าสี a*

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	4	5.4300	
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	4		5.9125
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	4	5.4900	
Sig.		0.402	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.21 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระบบค่าสี b* ทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ระบบค่าสี b*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	4	35.2275	0.07455
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	4	39.6275	0.42672
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	4	35.5525	0.36234
Total	12	36.8025	2.11170

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ระบบค่าสี b*

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	4	35.2275	
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	4		39.6275
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	4	35.5525	
Sig.		0.192	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.22 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ความสามารถในการอุ้มน้ำ — **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	1.0485	0.01935
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6	1.3158	0.09349
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6	1.3612	0.12184
Total	18	1.2418	0.16492

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ความสามารถในการอุ้มน้ำ

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	1.0485	
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6		1.3158
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6		1.3612
Sig.		1.000	0.392

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.23 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	0.3983	0.08048
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6	0.5106	0.05843
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6	0.6377	0.03327
Total	18	0.5155	0.11560

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	0.3983		
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6		0.5106	
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6			0.6377
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.24 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาปริมาณความชื้นทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณความชื้น — Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	25.1752	0.69145
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6	26.4585	0.78746
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6	28.3355	0.69919
Total	18	26.6564	1.50001

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ปริมาณความชื้น

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	25.1752		
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6		26.4585	
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6			28.3355
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.25 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความแข็ง (Hardness) ทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ค่าความแข็ง

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	5.6418	0.25237
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6	6.0667	0.24229
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6	6.1772	0.14314
Total	18	5.9619	0.31370

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ค่าความแข็ง

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	5.6418	
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6		6.0667
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6		6.1772
Sig.		1.000	0.394

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.26 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการเกาะตัว (Cohesiveness) ทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ค่าความสามารถในการเกาะตัว **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	0.3561	0.07923
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6	0.2711	0.01365
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6	0.2862	0.11135
Total	18	0.3045	0.08366

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ค่าความสามารถในการเกาะตัว

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05
		1
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	0.2711
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6	0.2862
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6	0.3561
Sig.		0.098

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.27 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าอัตราการคืนรูป (Springiness) ทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ค่าอัตราการคืนรูป **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	7.2678	0.17341
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6	6.0478	0.19607
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6	5.6407	0.27632
Total	18	6.3188	0.74075

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ค่าอัตราการคืนรูป

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6			7.2678
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6		6.0478	
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6	5.6407		
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.28 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการเกาะตัวกัน (Adhesiveness) ทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ค่าการเกาะตัวกัน **Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	-0.0228	0.01746
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6	-0.0016	0.01394
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6	-0.0134	0.00335
Total	18	-0.0126	0.01515

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ค่าการเกาะตัวกัน

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	6	-0.0228	
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	6		-0.0016
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	6	-0.0134	-0.0134
Sig.		0.231	0.139

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.29 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	8	0.8617	0.04030
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	8	0.8885	0.00873
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	8	0.8905	0.01396
Total	24	0.8802	0.02750

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	8	0.8617	
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	8		0.8885
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	8		0.8905
Sig.		1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.30 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าปริมาตรจำเพาะทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาตรจำเพาะ

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	3	2.2276	0.02067
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	3	2.1191	0.01797
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	3	2.0537	0.02504
Total	9	2.1335	0.07830

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ปริมาตรจำเพาะ

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	3			2.2276
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	3		2.1191	
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	3	2.0537		
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.31 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าปริมาณไขมัน (ร้อยละ) ทางสถิติของเค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ

ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	2	34.8706	1.34951
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	2	30.2630	1.38741
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	2	27.4344	1.23206
Total	6	30.8560	3.51042

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)

Duncan[a]

เค้กเนยที่มีการทดแทนไขมันในปริมาณต่างๆ	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
สูตรที่ 1 (ร้อยละ 0)	2		34.8706
สูตรที่ 2 (ร้อยละ 10)	2	27.4344	
สูตรที่ 3 (ร้อยละ 20)	2	30.2630	
Sig.		0.122	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.32 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่า L* ทางสถิติของวัตถุดิบแผ่นวุ้นมะพร้าว และแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
แผ่นวุ้นมะพร้าว	3	61.8633	0.04041	-351.319	0.000
แบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น	3	72.7233	0.03512		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ ง.33 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่า a* ทางสถิติของวัตถุดิบแผ่นวุ้นมะพร้าว และแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
แผ่นวุ้นมะพร้าว	3	-2.4300	0.04359	-132.619	0.000
แบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น	3	0.9367	0.00577		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ ง.34 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่า b* ทางสถิติของวัตถุดิบแผ่นวุ้นมะพร้าว และแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
แผ่นวุ้นมะพร้าว	3	0.9500	0.01732	-388.629	0.000
แบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น	3	9.6400	0.03464		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.35 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาปริมาณความชื้นทางสถิติของวัตถุดิบแผ่นวุ้นมะพร้าว และแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
แผ่นวุ้นมะพร้าว	3	97.6033	0.08327	16.636	0.000
แบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น	3	90.9133	0.69154		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ ง.36 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความเป็นกรด-ด่างทางสถิติของวัตถุดิบแผ่นวุ้นมะพร้าว และแบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
แผ่นวุ้นมะพร้าว	3	3.7600	0.02000	-9.102	0.009
แบคทีเรียเซลลูโลสชนิดข้น	3	4.2300	0.08718		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ ง.37 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความหนาแน่นจำเพาะทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
pH 7-TD	3	0.0459	0.00069	16.294	0.000
pH 4-FD	3	0.0381	0.00046		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.38 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการพองตัวทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
pH 7-TD	3	32.1667	0.72169	-23.549	0.000
pH 4-FD	3	44.3033	0.52539		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ ง.39 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาปริมาณความชื้นทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
pH 7-TD	3	1.5967	0.06658	-41.620	0.000
pH 4-FD	3	3.3733	0.03215		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ ง.40 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการดูซับน้ำมันทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
pH 7-TD	3	8.2367	0.03215	-42.030	0.000
pH 4-FD	3	10.0633	0.06807		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.41 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
pH 7-TD	3	10.6733	0.21362	-3.371	0.028
pH 4-FD	3	12.0347	0.66605		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ ง.42 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
pH 7-TD	3	0.4843	0.00058	-35.500	0.000
pH 4-FD	3	0.5080	0.00100		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ ง.43 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความเป็นกรด-ด่างทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
pH 7-TD	3	7.7767	0.00577	1097.00	0.000
pH 4-FD	3	4.1200	0.00000		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.44 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่า L* ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
pH 7-TD	3	83.6267	0.02517	77.185	0.000
pH 4-FD	3	82.4667	0.00577		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ ง.45 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่า a* ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
pH 7-TD	3	1.0400	0.01000	-126.618	0.000
pH 4-FD	3	2.1567	0.01155		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ตารางที่ ง.46 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่า b* ทางสถิติของแบคทีเรียเซลลูโลสผงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (pH 7-TD) และแบคทีเรียเซลลูโลสผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (pH 4-FD)

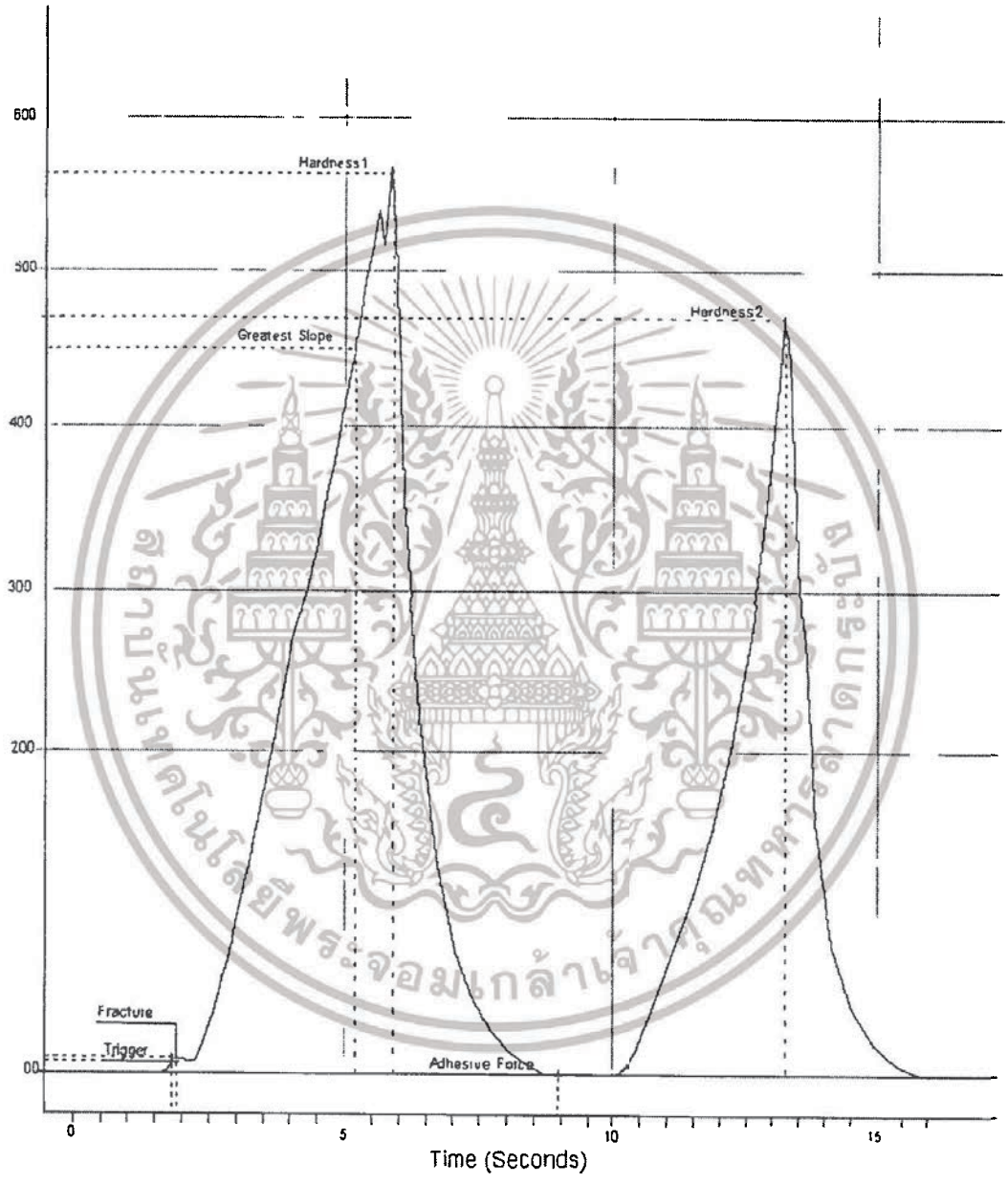
ตัวอย่าง	t-test for Equality of Means				
	N	Mean	Std. Deviation	t	Sig. (2-tailed)
pH 7-TD	3	7.5133	0.00577	-579.957	0.000
pH 4-FD	3	14.7467	0.02082		

หมายเหตุ : ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

กราฟแสดงค่าการวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัส



รูปที่ จ.1 แสดงกราฟค่าการวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้