

การพัฒนาบุกไฮโดรไลเซทปิดส์ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก
ด้วยเทคนิคสเฟิรฟิเคชัน

DEVELOPING OF KONJAC HYDROLYZED BEADS FOR
PREBIOTICS PROPERTIES BY SPHERIFICATION TECHNIQUE



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชา

เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การพัฒนากุไฮโดรไลเซทเบ็ดส์ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก
ด้วยเทคนิคเฟอริฟิเคชัน

DEVELOPING OF KONJAC HYDROLYZED BEADS FOR
PREBIOTICS PROPERTIES WITH SPHERIFICATION TECHNIQUE

จัดทำโดย

ณิชนัน พิสนุพงษ์ 59080076

ปิยารมณีย์ เตยอ่อน 59080095

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

อรรช เมฆเกิดชู

24 / ก.ค. / 2563

(ดร. อรรช เมฆเกิดชู)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การพัฒนาบุกไฮโดรไลเซทพืดส์ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก ด้วยเทคนิคสเฟียริฟิเคชัน
คณะผู้ดำเนินการวิจัย	ณิชนน พิสมุพงค์ รหัสนักศึกษา 59080076 ปิยารมณีย์ เตยอ่อน รหัสนักศึกษา 59080095
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อรชร เมฆเกิดชู

บทคัดย่อ

บุก (konjac) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Amorphophallus konjac* ในหัวบุกมีสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต คือ กลูโคแมนแนน (Glucomanan) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส (Manose) และกลูโคส (Glucose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4 glycosidic bond กลูโคแมนแนนจากผงบุก (KGM) มีสมบัติพิเศษหลายประการ คือ สามารถดูดน้ำได้มาก ละลายน้ำได้ดี จึงสามารถป้องกันโรคเบาหวาน และโรคอ้วนได้ ในการวิจัยนี้จะนำบุกที่ผ่านการย่อยเอนไซม์แมนนาเนส (Mannanase) เพื่อให้ได้บุกไฮโดรไลเซท (KGMH) มาประยุกต์ใช้กับเทคนิครีเวิร์สสเฟียริฟิเคชัน (Reverse spherification) เพื่อเป็นอาหารเพื่อสุขภาพโดยมีการแปรผันสารสร้างเม็ดพืดส์ด้วยเทคนิคสเฟียริฟิเคชัน คือ แคลเซียมแลคเตท ($C_6H_{10}CaO_6$) และแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แคลเซียมแลคเตทที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 1% 1.5% และ 2% ในส่วนของแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.5% และ 1% นำมาวิเคราะห์ผลทางกายภาพได้แก่ การแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ขนาดของเม็ดพืดส์ และ ความแข็งแรงของเม็ดพืดส์ เมื่อได้ผลทางกายภาพที่ดีที่สุดแล้วจึงวิเคราะห์ผลทางการส่งเสริมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกซึ่งการวิจัยนี้จะนำผงบุกมาผ่านการย่อยโดยเอนไซม์แมนนาเนส (KGMH) โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ความเข้มข้นคือ KGMH 7% และ KGMH 10% สุ่มตัวอย่างออกมาทุก ๆ 15 นาที นำไปวัดน้ำตาล Reducing sugar ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากนั้นศึกษาคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกที่เหมาะสมโดยใช้เชื้อ *Lactobacillus casei* และ *Escherichia coli* เปรียบเทียบกับน้ำตาลกลูโคส KGM และ Xylo-oligosaccharides (XOS) จากการทดลองพบว่าแคลเซียมคลอไรด์ 0.5% ได้ผลการทดลองทางกายภาพที่ดีที่สุด จากการทดลองการส่งเสริมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกพบว่า KGMH ที่สุ่มออกมาได้ค่าน้ำตาล Reducing sugar ที่เหมาะสมที่สุด 5 สภาวะ ได้แก่ KGMH 7% ที่เวลา 30 นาที 120 นาที และ 180 นาที ในส่วนของ KGMH 10% ที่เวลา 60 นาที และ 180 นาที การย่อยด้วยเอนไซม์ทำให้กลูโคแมนแนนโพลีเมอร์สายยาวมีขนาดเล็กลงเป็นการส่งเสริมการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus casei* โดยเชื้อ *Lactobacillus casei* สามารถใช้บุกไฮโดรไลเซทได้ดีกว่าการใช้ XOS ซึ่งเป็นพรีไบโอติกทางการค้า และใช้ได้ดีกว่าบุกที่ไม่ผ่านการย่อย ในขณะที่เชื้อ *Escherichia coli* เจริญได้น้อยกว่าเนื่องจากพรีไบโอติกเป็นอาหารของโพรไบโอติก และพรีไบโอติกไม่ส่งเสริมการเจริญของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลินทรีย์ก่อโรค จะเห็นได้ว่าทุกไฮโดรไลเซทมีโอกาที่จะสามารถพัฒนาผ่านกระบวนการการปรับสภาพที่เหมาะสมให้มีศักยภาพมากขึ้น เพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งของ พรีไบโอติกส์ในอนาคต

คำสำคัญ: พรีไบโอติก โพรไบโอติก เอนไซม์แมนนาเนส สเฟียร์ฟิเคชัน ผงบุก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Developing of konjac hydrolyzed beads for prebiotics properties with spherification technique	
Student name	Nichamon Pisanupong	Student ID 59080076
	Piyarom Turyaon	Student ID 59080095
Program	Bachelor of Science in Industrial Fermentation Technology	
Year	2020	
Advisor	Dr. Orachorn Mekkerdchoo	

ABSTRACT

Glucomannan is the main component of the tubers of the *Amorphophallus konjac* plant. KGM is composed of a D-mannose and D-glucose linked by β -1,4 glycosidic bonds. Konjac glucomannan (KGM) is a water-soluble polysaccharide. Gelation and high viscosity properties, therefore KGM can prevent diabetes and obesity. In this research, will bring hydrolyzed konjac glucomannan applied with reverse spherification technique for making healthy food with modify beads formation by spherification technique were calcium lactate and calcium chloride, amount of calcium lactate used, consists of 1%, 1.5% and 2%. Amount of calcium chloride used, consists of 0.5% and 1%. The physical results analysis were including water separation (Syneresis), size of beads and hardness of beads. After received the best physical results, then analyzed the results of the promotion of probiotic growth, which in this research, konjac powder was hydrolyzed by Mannanase enzyme (KGMH). The experiment divided into 2 concentrations were KGMH 7% and KGMH 10%, took the sample every 15 minutes to measure reducing sugar at absorbance 540 nanometers for choosing the best conditions. Study suitable conditions for hydrolyzed konjac with appropriate prebiotic properties by used *Lactobacillus casei* and *Escherichia coli* compared with control prebiotics media glucose, KGM and Xylo-oligosaccharides (XOS). From the experiment found that calcium chloride 0.5% was the best physical results. The results of the promotion of probiotic growth showed reducing sugar of KGMH, the suitable 5 conditions, which were KGMH 7% at 30, 120 and 180 minutes and KGMH 10% at 60 and 180 minutes. From the experiment found that enzyme hydrolyzed made the long chain of glucomanan polymers smaller to promote

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

growth of *Lactobacillus casei*. due to *Lactobacillus casei* used KGMH better than XOS which commercial prebiotic and KGM. While *Escherichia coli* was not strong fermenters because of prebiotic was food of probiotic and prebiotics did not promote the growth of pathogenic bacteria. The results showed hydrolyzed konjac powder had the opportunity to develop more suitable conditions process for used as a source of prebiotics in the future.

Keywords: Prebiotic, Probiotic, Mannanase enzyme, spherification, konjac powder



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในเล่มปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากดร.อรชร เมฆเกิดชู ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาการทำปัญหาพิเศษนี้ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนปัญหาพิเศษเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงได้ด้วยดีข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผศ.ดร.สร้อยสุดา พรภักดีวัฒนา อาจารย์ประจำคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้ให้เกียรติมาเป็นกรรมการในการสอบปัญหาพิเศษและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ปกครอง นักวิทยาศาสตร์ที่คณะอุตสาหกรรมอาหารและเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งเข้าใจ และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในการสนับสนุนการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้

คณะผู้ทำวิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้อื่นไม่มากนักน้อย สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้นผู้วิจัยขออภัยผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

ณิชนัน พิสนุพงศ์

ปิยารมณีย์ เตยอ่อน

30 กรกฎาคม 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 คุณสมบัติของบุก.....	3
2.2 กลูโคแมนแนน (Glucomanan).....	4
2.3 ผลข้างเคียง และความปลอดภัยของกลูโคแมนแนน	7
2.4 เอนไซม์ (Enzyme).....	8
2.5 กระบวนการบด (Grinding)	8
2.6 สเฟียร์ลิเคชันเทคนิค.....	9
2.7 โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate (SA)).....	10
2.8 อัตราการบวมน้ำ (Swelling capacity - SC).....	11
2.9 ค่าความแข็ง (Hardness).....	11
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	12
3.1 วัสดุดิบและสารเคมี.....	12
3.2 อุปกรณ์.....	12
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	13
บทที่ 4 ผลการทดลอง	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมของบีดส์	17
4.1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของบีดส์	17
4.1.1.1 การแยกตัวของน้ำ (Syneresis).....	17
4.1.1.2 ขนาดของบีดส์ (Size).....	17
4.1.1.3 ความแข็งของบีดส์ (Hardness).....	18
4.2 ศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมของ KGMH 7% และ KGMH 10%.....	19
4.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของ KGMH 7% และ KGMH 10%.....	19
4.2.1.1 ความหนืดของ KGMH.....	19
4.2.1.2 การวิเคราะห์ค่าสี (color measurement)	19
4.3 การทดสอบความสามารถในการเจริญของ <i>Lactobacillus casei</i> และ <i>Escherichia coli</i> โดยใช้ KGMH เป็นแหล่งคาร์บอน	22
4.3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพของ KGMH ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก	22
4.3.2 การวิเคราะห์ Prebiotic activity scores	24
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	25
5.1 สรุปผล	25
5.2 ข้อเสนอแนะ	26
บรรณานุกรม	27
ภาคผนวก	32
ภาคผนวก ก	33
ภาคผนวก ข	35
ภาคผนวก ค	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	การแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ในบัตเตอร์.....	17
4.2	ขนาดของบัตเตอร์ (Size) ที่เปลี่ยนไป.....	18
4.3	ความแข็งของบัตเตอร์ (Hardness) ที่วัดได้จากแรงกด.....	18
4.4	ค่าความสามารถในการเป็นพรีไบโอติก (Prebioticscores).....	19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1	บีดส์ขณะอยู่บนแท่น เพื่อเตรียมวัดความแข็งของบีดส์ ((Hardness).....14
3.2	ความหนืดของ KGMH และ เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer) ชุด Small sample adapter.....15
4.1	ความหนืดของ KGMH 7% และ KGMH 10%.....19
4.2	กราฟแสดงค่าสี $L^*-a^*-b^*$ ของ KGMH 7% ที่ระยะเวลาการย่อยต่างๆกัน.....20
4.3	กราฟแสดงค่าสี $L^*-a^*-b^*$ ของ KGMH 10%ที่ระยะเวลาการย่อยต่างๆกัน.....21
4.4	เฉดสีของ KGMH 7% ที่เวลา 0นาที่ถึง 240 นาที และ 10% ที่เวลา 0นาที่ถึง 240 นาที.....21
4.5	เปอร์เซ็นต์ของ Reducing sugar ของ KGMH 7% และ KGMH 10% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....22
4.6	ความสามารถในการเจริญของ <i>Lactobacillus casei</i> และ <i>Escherichia coli</i> ที่ 0 และ 24 ชั่วโมง.....23
4.7	การเจริญของ <i>Lactobacillus casei</i> ที่ 24 ชั่วโมง และ <i>Escherichia coli</i> ที่ 24 ชั่วโมง.....24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาพิเศษ

เนื่องจากในปัจจุบันไข่มุกที่มีวัตถุดิบหลักจากแป้งมันสำปะหลังได้รับความนิยมมากเราจึงพัฒนาไข่มุกทางเลือกเป็นไฮโดรไลเซทบีคัสที่มีวัตถุดิบหลักจากบุกซึ่งบุกมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก พรีไบโอติกมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ต้องสามารถทนต่อการย่อยของกรดในกระเพาะอาหาร ไม่ถูกดูดซึมในกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก และสามารถเคลื่อนที่ไปจนถึงลำไส้ใหญ่ได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง สามารถเกิดการหมักในลำไส้ใหญ่ โดยแบคทีเรียพรีไบโอติกส์ได้ เช่น *Bifidobacteria* และ *Lactobacills* อีกทั้งส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในทางเดินอาหาร และไม่ส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค พรีไบโอติกส์เป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ และสัตว์ โดยทำหน้าที่ส่งเสริมสุขภาพของ Host ให้ดีขึ้น โดยแบคทีเรียพรีไบโอติกส์จะต้องสามารถเจริญ และผ่านไปยังลำไส้ใหญ่ให้ได้ ซึ่งต้องมีคุณสมบัติหลายประการเพื่อสามารถทนต่อสภาวะต่าง ๆ ในระบบทางเดินอาหารส่วนบนและผ่านไปยังลำไส้ใหญ่แบบมีชีวิต

ปัจจุบัน Healthy beverage กำลังได้รับความนิยมตั้งเห็นได้จากตลาดที่มีการนำวัตถุดิบจากธรรมชาติทั้งจากสมุนไพรและพืชมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารและเครื่องดื่มเพื่อเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์อาหารหรือมุ่งเน้นการส่งเสริมสุขภาพซึ่งในงานวิจัยนี้ทำเพื่อพัฒนาไฮโดรไลเซทบีคัสที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกด้วยวิธีสเฟียริฟิเคชัน เพื่อพัฒนาไฮโดรไลเซทบีคัสให้เป็นอาหารสำหรับอาหารเสริมสำหรับทุกเพศ ทุกวัย และส่งเสริมจุลินทรีย์พรีไบโอติกส์ในระบบขับถ่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาบุกไฮโดรไลเซทให้มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไฮโดรไลเซทบีคัสที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก
- 1.2.3 เพื่อทดสอบคุณสมบัติความเป็นพรีไบโอติกของไฮโดรไลเซทบีคัสที่ผลิตด้วยเทคนิคสเฟียริฟิเคชัน

ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้เมล็ดปัดส์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้กับอาหาร และเครื่องดื่มที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่ประโยชน์ต่อระบบขับถ่าย

1.3.2 ได้กระบวนการผลิตบุกไฮโดรไลเซตที่เหมาะสม และมีคุณสมบัติพรีไบโอติก

1.3.3 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์พรีไบโอติกในรูปแบบใหม่ที่น่าสนใจ

1.3.4 เพื่อนำเทคนิคสเฟียริฟิเคชันมาพัฒนาให้เหมาะสมในการขึ้นรูปเมล็ดปัดส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของบุก

บุกเป็นพืชที่มีคุณสมบัติเป็นใยอาหารมักใช้ในการเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเพิ่มความข้นหนืดและบุกยังถูกใช้ในการประกอบอาหารของประเทศญี่ปุ่น และยารักษาโรคของประเทศจีน แต่บุกพิษสูงจนแล้วว่ามีประโยชน์ต่อสุขภาพจริง ชื่อสามัญของบุกคือ *Amorphophallus* บางครั้งสามารถเรียกว่า Konjaku, Elephant yam, Devil's tongue, Snake palm, and Voodoo lily (Lana Burgess, 2017)

2.1.1 พืชบุก

บุกเป็นพืชหัว มีองค์ประกอบในการเป็นใยอาหารมีกลูโคแมนแนนเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้บุกมีคุณสมบัติเป็นไดเอทารีไฟเบอร์ใช้ทำเป็นผงบุก และเติมในเยลลี่

- ผงบุก (Konjac flour) ทำจากการบดจากเหง้าบุกแบบแห้งเพื่อทำแป้งที่สามารถใช้ทำเส้นก๋วยเตี๋ยวได้
- เยลลี่บุก (Konjac jelly) หลังจากกระบวนการการบดเป็นผงบุก ผงบุกนี้ทำให้เกิดความข้นหนืดสามารถนำมาทำเยลลี่ หรือ gum แทนการใช้เจลาตินได้
- บุกสามารถละลายน้ำได้ (Konjac soluble fiber) เมื่อนำบุกมาทำเป็นเยลลี่บุกที่มีความบริสุทธิ์แล้ว บุกยังมีคุณสมบัติในการเป็นไฟเบอร์ที่ละลายน้ำได้ บุกจึงถูกนำมาใช้เป็นไดเอทารีไฟเบอร์

2.1.2 คุณสมบัติของบุกในด้านสุขภาพ

- การจัดการกับโรคเบาหวาน

การวิจัยแสดงถึงแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้แสดงให้เห็นว่าการบริโภคอาหารเสริมกลูโคแมนแนนและโซมอเมริกันในปริมาณที่พอเหมาะแสดงให้เห็นว่าอาการของโรคเบาหวานประเภท 2 ดีขึ้นเล็กน้อย และในปี 2558 ก็มีกรกล่าวถึงกลูโคแมนแนนกับ ความสามารถในการลดอาการโรคเบาหวาน สามารถเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด เพราะมันทำให้พวกเขา รู้สึกอึดอัดมากขึ้น

- ความสามารถในการลดน้ำหนัก

กลูโคแมนแนนที่ได้จากบุกมีประโยชน์ที่ทำให้ผู้คนสามารถนำไปทานเพื่อลดน้ำหนักได้ จากการศึกษาในปี 2548 ใยอาหารได้ช่วยคนผู้ซึ่งมีน้ำหนักมากให้มีน้ำหนักลดลง ผู้คนทานอาหารเสริมมาเป็นส่วนหนึ่งของอาหารหลักเพื่อควบคุมแคลอรีให้สมดุล ใยอาหารนี้จะช่วยให้คนรู้สึกอึดอัดได้นานขึ้นโดยชะลอให้ท้องว่างช้าขึ้น การวิจัยนี้ได้มีการเปรียบเทียบผลกระทบของการทานอาหารเสริมกลูโคแมนแนนกับอาหารเสริม จากผลการทดลอง

พบว่าอาหารเสริมกลูโคแมนแนนจากบุกสามารถลดน้ำหนักได้ แต่ gum ไม่สามารถทำได้ มีการศึกษาจำนวนมากที่แสดงประโยชน์ของบุกต่อสุขภาพเพื่อใช้บุกในการลดน้ำหนัก

- คุณสมบัติในการลดคอเลสเตอรอล

การมีคอเลสเตอรอลสูงหมายความว่าผู้คนมีแนวโน้มที่จะประสบกับโรคหัวใจหรือโรคหลอดเลือดตีบตันมากขึ้น มีการแนะนำให้ใช้ใยอาหารนี้เพื่อช่วยในการควบคุมคอเลสเตอรอล และควบคุมน้ำหนัก อาหารเสริมกลูโคแมนแนนอาจช่วยให้ผู้คนสามารถควบคุมระดับคอเลสเตอรอลในร่างกายได้ จากการศึกษาในปี 2551 พบว่ากลูโคแมนแนนมีผลดีต่อระดับคอเลสเตอรอลโดยรวม การศึกษาเพิ่มเติมในปี 2560 มีการศึกษาปริมาณของกลูโคแมนแนนเพื่อลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกาย นักวิจัยพบว่าปริมาณ 3 กรัมต่อวันเป็นสัดส่วนที่มีประโยชน์

- แก้อาการท้องผูก

การเสริมกลูโคแมนแนนในอาหารอาจช่วยควบคุมการเคลื่อนไหวของลำไส้ของแต่ละบุคคลได้ และป้องกันไม่ให้เกิดอาการท้องผูก จากการศึกษาในปี 2549 พบว่ากลูโคแมนแนนในปริมาณที่น้อยช่วยเพิ่มการเคลื่อนไหวของลำไส้ในผู้ใหญ่ 30% นักวิจัยยังพบอีกว่าการเสริมใยอาหารที่ละลายน้ำได้นี้จะช่วยปรับปรุงสุขภาพลำไส้ในผู้ที่มีอาการท้องผูกได้อีกด้วย ปี 2560 มีการศึกษาพบว่าทานกลูโคแมนแนนช่วยเพิ่มความถี่ของการขับถ่ายในเด็กที่มีอาการท้องผูก อย่างไรก็ตามนักวิจัยได้ตั้งข้อสังเกตว่าการรับประทานกลูโคแมนแนนไม่ได้ช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอของอุจจาระทั้งหมด

- สุขภาพผิวดี

กลูโคแมนแนนช่วยผู้คนที่ต้องการปรับปรุงสภาพผิว การศึกษาในปี 2556 พบว่ากลูโคแมนแนนอาจเป็นประโยชน์ในการรักษาสำหรับการรักษาสิว และช่วยปรับปรุงสุขภาพผิวโดยรวม

- การรักษาบาดแผล

กลูโคแมนแนนอาจช่วยให้ร่างกายสามารถรักษาแผลได้เร็วขึ้น การศึกษาในหนูทดลองปี 2558 พบว่าผลิตภัณฑ์เสริมกลูโคแมนแนนอาจช่วยรักษาแผลได้ เนื่องจาก อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อสรุปว่ากลูโคแมนแนนมีประสิทธิภาพในการรักษาบาดแผลในมนุษย์ (Lana Burgess, 2017)

2.2 กลูโคแมนแนน (Glucomannan)

กลูโคแมนแนน (glucomannan) เป็นคาร์โบไฮเดรต ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) โครงสร้างของกลูโคแมนแนน กลูโคแมนแนนจัดเป็นเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) โมเลกุลของกลูโคแมนแนน เกิดจากการรวมตัวกันของน้ำตาลกลูโคส (glucose) และน้ำตาลแมนโนส (mannose) ในอัตราส่วน 2:3 ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ที่ตำแหน่ง β - 1,4 และมี acetyl group กระจายอยู่ประมาณ 1 ใน 5 ของน้ำตาลที่เหลือ กลูโคแมนแนนเป็นใยอาหาร (dietary fiber) มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีมาก มีความหนืดมากที่สุดในกลุ่มใยอาหาร เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) สามารถทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดเจลที่คงตัวต่อความร้อนได้ (thermoirreversible gel) กลูโคแมนแนนไปใช้เพื่อเป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เพื่อหน้าที่ดังนี้

2.2.1 สารทำให้เกิดเจล (gelling agent)

สารก่อเจล (Gelling agent) สารก่อเจลเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สามารถจับกับน้ำได้โดยเมื่อนำมาละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำร้อนจะให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงหรือให้เนื้อสัมผัสกลายเป็นเจลเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นทางด้านอุตสาหกรรมอาหารมีการนำสารก่อเจลชนิดต่างๆ มาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารอยู่หลายชนิดเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ความข้นหนืด และความคงตัวในผลิตภัณฑ์ อาหาร ทางอุตสาหกรรมยามมีการนำเจลาตินไปผลิตเป็นแคปซูลยา นอกจากนี้ยังมีการใช้วุ้นหรืออะกาโรสไปใช้งานด้านปฏิบัติการเคมี และจุลินทรีย์ สารก่อเจลส่วนใหญ่เป็นสารไบโอพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติมีทั้งสารในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น วุ้น หรือสารในกลุ่มโปรตีน เช่น เจลาติน (Karim และ Rajeev, 2009)

2.2.2 อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier)

Stabilizer หรือ สารให้ความคงตัวคือส่วนประกอบซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วเป็นสารพวก polysaccharide gum ที่ช่วยให้ความคงตัวกับผลิตภัณฑ์ โดยเพิ่มความหนืดให้กับไอศกรีมมิกซ์และไอศกรีมในส่วนที่ไม่เป็นน้ำแข็ง (น้ำประมาณ 20% ในไอศกรีมจะอยู่ในสภาพที่ไม่เป็นน้ำแข็ง) สารที่มักจะนำมาใช้เป็นสารให้ความคงตัวในไอศกรีมเช่น Locust bean gum (Carob bean gum), Guar gum, Carboxymethyl cellulose (CMC), Xanthan gum, Sodium alginate, และ Carrageenan Marshall ได้แบ่งสารให้ความคงตัวสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทของหวานแช่แข็งไว้ 7 ประเภท คือ

- ประเภทโปรตีน เช่น gelatin
- ประเภทยางพืช เช่น arabic gum, ghatti gum, karaya gum, และ tragacant gums
- ประเภทยางจากเมล็ด หัว และรากพืช เช่น locust bean gum (carob bean gum), psyllium, รวมถึงแป้งและแป้งตัดแปรค้ะ
- ยางที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ เช่น xanthan gum
- สารสกัดจากสาหร่าย เช่น agar, alginates, carrageenan
- สารพวก pectin ได้แก่ low methoxyl pectin และ high methoxyl pectin
- สารพวก cellulose เช่น sodium carboxymethyl cellulose, microcrystalline cellulose, methyl cellulose, methylethyl cellulose, hydroxypropyl cellulose และ hydroxypropylmethyl cellulose

ข้อดีของการใส่สารให้ความคงตัวในไอศกรีมคือ ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีม เพิ่มความข้นหนืดให้กับไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมเนื้อไม่หยาบเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ลดปัญหาเนื้อไอศกรีมแตก ทำให้สามารถตักไอศกรีมเป็นลูกกลม ๆ ได้โดยเนื้อไม่แตกและหลุดออกจากกัน ช่วยให้เกิดความลื่นคอ ช่วยในการปล่อยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(release) กลิ่นรสของไอศกรีมเมื่อรับประทาน ทำให้ได้กลิ่นรสที่ชัดเจนขึ้น ไอศกรีมละลายแล้วไม่เสียรูปทรง และชะลอการเกิดผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม ช่วยให้อายุการเก็บรักษาของไอศกรีมนานขึ้น ทั้งนี้ต้องขึ้นกับการเลือกชนิดของสารให้ความคงตัวที่เหมาะสมในปริมาณที่เหมาะสมด้วย หากใช้สารให้ความคงตัวมากเกินไป อาจจะทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่ไม่ต้องการ เช่น เหนียวหนืดมากเกินไป ละลายช้าหรือไม่ละลาย เนื้อแน่นเกินไป เป็นต้น (พรหล้า, 2555)

2.2.3 สารให้ความข้นหนืด (thickening agent)

ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) คือ โพลีเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์ รวมถึงโพลีเมอร์ดัดแปรจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ โดยทั่วไปจะเป็นโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และอาจจะเป็น polyelectrolyte อื่น ๆ โพลีเมอร์เหล่านี้จะแสดงหน้าที่ที่สำคัญในอาหาร เช่น เป็นสารให้ความหนืด ทำให้เกิดเจล เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว เป็นต้น (Phillips and Williams, 2000)

ชนิดของไฮโดรคอลลอยด์สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามแหล่งที่มา ได้แก่

- ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มาจากธรรมชาติ (natural hydrocolloids)
 - ซึ่งได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืชได้แก่เมล็ด ยาง เช่น โลคัสบีนกัม (locust bean gum) กัมอาราบิก (gum arabic) ราก ลำต้น เช่น แป้ง หรือได้จากสาหร่ายทะเล เช่น คาร์ราจีแนน (carrageenan) หรือได้จากสัตว์ เช่น ไคติน (chitin) หรือจากกระบวนการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แซนแทนกัม (xanthan gum)
- ไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้มาจากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids)
 - ได้แก่ อนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น carboxymethyl cellulose (CMC)
- ไฮโดรคอลลอยด์สังเคราะห์ (synthetic hydrocolloids)
 - เช่น โพลีเอธิลีนออกไซด์โพลีเมอร์ (polyethylene oxide polymers)

ส่วนใหญ่ไฮโดรคอลลอยด์ที่นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารเป็นไฮโดรคอลลอยด์จากธรรมชาติและดัดแปรจากธรรมชาติ ไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดจะมีสมบัติแตกต่างกันเมื่อนำมาใช้จะสามารถทำหน้าที่ได้หลายอย่าง เช่น เป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (thickener) สารที่ทำให้เกิดเจล (Phillips และ Williams, 2000)

ภาวะที่ยังคงขาดหลักฐานว่าใช้กลูโคแมนแนนรักษาได้หรือไม่

1. ภาวะอาหารผ่านกระเพาะสู่ลำไส้เร็ว (dumping syndrome)

โรคอาหารผ่านกระเพาะสู่ลำไส้เร็วเกิดขึ้นเมื่ออาหารเคลื่อนตัวจากกระเพาะอาหารไปยังลำไส้เร็วเกินไป ซึ่งจะทำให้ร่างกายต้องปล่อยอินซูลินออกมาปริมาณมากจนส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดต่ำลง บางงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าการรับประทานกลูโคแมนแนนอาจช่วยป้องกันไม่ให้ระดับน้ำตาลในเลือดตกลงต่ำเกินไปหลังการรับประทานอาหาร อย่างไรก็ตามก็ไม่ใช่ในงานวิจัยทุกชิ้นจะเห็นด้วยกับข้อมูลดังกล่าว

2. โรคประสาทกระเพาะอาหาร (functional gastrointestinal disorder)

งานวิจัยแสดงให้เห็นว่าการทานกลูโคแมนแนนไม่อาจช่วยบรรเทาอาการปวดท้อง, ปวดบิด, หรือท้องอืดในเด็กที่ป่วยเป็นโรคนี้ได้

3. ความดันโลหิตสูง

งานวิจัยแสดงให้เห็นว่ากลูโคแมนแนนอาจช่วยปรับระดับความดันโลหิตของผู้ที่มีปัญหาความดันสูงได้

4. ภาวะต่อมไทรอยด์ทำงานมากเกินไป (hyperthyroidism)

งานวิจัยแสดงให้เห็นว่ากลูโคแมนแนนร่วมกับ methimazole และ propranolol สามารถลดระดับฮอร์โมนไทรอยด์ในผู้ที่มีฮอร์โมนไทรอยด์มากเกินไปได้

5. ภาวะอ้วน (Obesity)

งานวิจัยบางชิ้นพบว่าการทำงานของกลูโคแมนแนนจะช่วยในเรื่องการควบคุมน้ำหนักของผู้ใหญ่และเด็กที่มีน้ำหนักเกินหรือภาวะอ้วนได้ แต่ก็ไม่ใช่ในงานวิจัยทุกชิ้นจะเห็นด้วยกับข้อมูลนี้

6. ภาวะสุขภาพอื่น ๆ

จำเป็นต้องศึกษาวิจัยห้มากขึ้นเพื่อให้ข้อมูลด้านประสิทธิผลของกลูโคแมนแนนเพิ่มเติม

2.3 ผลข้างเคียง และความปลอดภัยของกลูโคแมนแนน

ผงหรือแป้งกลูโคแมนแนนจัดว่าค่อนข้างปลอดภัยเมื่อบริโภคเป็นอาหาร โดยผู้ใหญ่และเด็กส่วนมากก็สามารถบริโภคผงหรือแป้งกลูโคแมนแนนที่ใช้ทางการแพทย์ได้อย่างปลอดภัย อย่างไรก็ตามยาเม็ดที่ประกอบด้วยกลูโคแมนแนนนั้นจัดว่าอาจจะไม่ปลอดภัยสำหรับผู้ใหญ่และค่อนข้างไม่ปลอดภัยสำหรับเด็ก เนื่องจากอาจทำให้เกิดการอุดตันของลำคอหรือลำไส้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เอนไซม์ (Enzyme)

เอนไซม์ คือกลุ่มโปรตีน (protein) ที่ผลิตโดยเซลล์สิ่งมีชีวิต พบได้ทั้งในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ เช่น การสังเคราะห์องค์ประกอบภายในเซลล์ ระบบการย่อยอาหาร โดยย่อยสลายโมเลกุลของอาหารที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2553) ในการผลิตกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเซต จำเป็นต้องอาศัยเอนไซม์ต่างๆ เช่น

2.4.1 เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase)

เซลลูเลสเป็นเอนไซม์ที่ไฮโดรไลเซทพันธะ β -1,4-glucoside เชื่อมโยงกันของโซ่เซลลูโลสและจัดกลุ่มเป็น endolytic เอนไซม์ (endo- β -1,4-d-glucanase, EC 3.2.1.4) และเอนไซม์ exolytic (cellobiohydrolase, EC 3.2) (Takao Ojima et al, 2018)

2.4.2 เอนไซม์แมนนาเนส (Mannanase)

แมนนาเนสเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายโพลีแซคคาไรด์ในกลุ่มแมนแนนและเฮทเทอโรแมนแนน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช และได้ผลผลิตเป็นแมนโนโอลิโกแซคคาไรด์และแมนโนส แมนนาเนสได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายประเภท พืชและสัตว์บางชนิดสามารถผลิตแมนนาเนสได้ แต่ที่ใช้กันมากในทางอุตสาหกรรมเป็นแมนนาเนสจากจุลินทรีย์ บทความนี้เน้นแมนนาเนสจากจุลินทรีย์ ในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ กระบวนการผลิตเอนไซม์ การเพิ่มผลผลิตเอนไซม์โดยใช้เทคโนโลยีรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ และการประยุกต์แมนนาเนสในระดับอุตสาหกรรม (สุตาทิพย์ และ ชนิดโชต, 2555)

2.5 กระบวนการบด (Grinding)

การบด หมายถึง การทำให้ของแข็งมีขนาดเล็กลง โดยวิธีการบด ปีบ อัด ขัดสี กระทบ หรือการสับหยาบ ด้วยเครื่องสับ (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2553)

เครื่องมือและอุปกรณ์การผลิตอาหารสัตว์ การผลิตอาหารสัตว์หรือการผสมอาหารสัตว์นั้น แม้ว่าสูตรอาหารต่าง ๆ ได้ผ่านการคำนวณอย่างดีแล้ว รวมทั้งวัตถุดิบที่ใช้ผสมได้มาตรฐานแล้วก็ตาม แต่เมื่อผสมอาหารแล้วนำไปเลี้ยงสัตว์ไม่โตหรือมีประสิทธิภาพต่ำ อาจขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตอาหาร ซึ่งอาจเกิดจากอาหารผสมไม่ทั่วถึงสารอาหารสูญหายไปกับอุปกรณ์ดังกล่าวมาก หรือเวลาที่ใช้ในการผสมนานเกินไป รวมทั้งประสิทธิภาพของเครื่องทำให้ต้นทุนในการผลิตอาหารสูง ดังนั้นอุปกรณ์ในการผลิตอาหารจึงมีความสำคัญ เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ที่สำคัญโดยทั่วไปมี 4 อย่าง คือ เครื่องบด เครื่องผสม เครื่องอัดเม็ด และเครื่องซัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 เครื่องบด (grinding processor)

เครื่องบดที่นิยมใช้สำหรับการผลิตอาหารมีหลายแบบ การที่จะเลือกใช้แบบใดขึ้นอยู่กับลักษณะงาน และราคา ซึ่งได้แก่

- เครื่องปั่น (blender)

เครื่องบดแบบนี้ใช้ระบบใบมีดหมุนด้วยความเร็ว ทำให้ ตัดผ่านวัตถุให้ขนาดเล็ก และอัดผ่านรูตะแกรงต่าง ๆ ทำงานได้เร็วและบดได้เนื้อวัตถุดิบสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอาจใช้เป็นทั้งเครื่องบดและเครื่องผสมในขณะเดียวกันได้ เครื่องบดแบบนี้ ใช้ระบบใบมีดหมุนด้วยความเร็วสูง สามารถทำลายไขแมลงที่มีอยู่ในอาหารหรือวัตถุดิบได้ ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นานขึ้น แต่หากใช้เป็นเครื่องผสมความเร็วของใบมีดอาจทำให้สารที่ใช้เคลือบวิตามินสังเคราะห์ที่ผสมอยู่แตกทำลาย ทำให้เสื่อมสลายได้ ง่ายขึ้น

- เครื่องโม่ (burr mill , roller mill)

เครื่องบดแบบโม่ทำงานโดยอาศัยแรงเสียดสี มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ แผ่นเหล็กสองแผ่นประกบกันโดยแผ่นหนึ่งติดอยู่กับที่ไม่มีการเคลื่อนไหว ในขณะที่อีกแผ่นหนึ่งหมุน ผิวของแผ่นเหล็กของด้านที่ประกบกันจะมีลักษณะเป็นร่อง ๆ หรือตารางมีสันนูนเพื่อให้อาหารที่บดได้ที่แล้วผ่านออก ขนาดวัตถุที่บดได้ขึ้นกับความห่างของแผ่นเหล็ก 2 อัน ที่เสียดสีกันเครื่องแบบนี้สามารถบดได้ละเอียดตามขนาดที่ต้องการ ส่วนอีกแบบหนึ่ง ใช้เป็นลูกกลิ้งหมุนรอบแกนและบดอาหารได้โดยผ่านลงระหว่างช่องลูกกลิ้ง

- เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (hammer mill)

เครื่องบดนี้ประกอบด้วยท่อนเหล็กเล็ก ๆ หลายท่อนยึดอยู่กับแกนหมุนอย่างหลวม ๆ เมื่อแกนกลางหมุนจะเหวี่ยงท่อนเหล็กให้กางออกตีวัตถุต่าง ๆ ที่เราต้องการบดให้แตกละเอียด จนสามารถที่จะผ่านรูตะแกรงออกมาได้ การควบคุมขนาดของวัตถุที่บดอาศัยความเร็วของหม้อนและตะแกรงที่มีรูขนาดต่าง ๆ กัน เช่น ถ้าค้อนหมุนเร็วและรูตะแกรงเล็ก วัตถุที่บดได้จะละเอียดขึ้น เป็นที่นิยมกันมาก เพราะราคาถูกและบดได้เร็ว แต่เหล็กและตะแกรงสึกกร่อนง่ายและต้องระวังอาหารที่นำมาบด อย่าให้มีเศษโลหะปนเพราะ จะทำให้เสถียรยิ่งขึ้น (ชาติรี, 2549)

2.6 สเฟียร์พิกะชั่นเทคนิค

สเฟียร์พิกะชั่น ถูกคิดค้นโดย Peschardt ในปี ค.ศ. 1946 โดยสเฟียร์พิกะชั่น เทคนิค เป็นวิธีหนึ่งของเหลวถูกเคลือบด้วยโพลีเมอร์ฟิล์ม เกิดเป็นเม็ดสเฟียร์ที่บรรจุของเหลวอยู่ภายใน (Fu และคณะ, 2014) สเฟียร์ที่บรรจุของเหลวอยู่ภายในเป็น Hydrogel particles อาจเรียกว่าเป็น Hydrocolloid gel particles หรือ Hydrogel beads ซึ่งเทคนิคนี้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่นในสาขาเทคโนโลยีการอาหาร, สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ,สาขาวิทยาศาสตร์การแพทย์และเภสัชกรรม รวมไปถึงการบำบัดน้ำเสีย (Belscak Cvitanovic และคณะ, 2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ประเภทของเทคนิคสเฟียริฟิเคชัน

Spherification technique ประกอบไปด้วย 2 ประเภทคือ Basic spherification และ Reverse spherification โดย Basic spherification คือการนำสารละลายโซเดียมอัลจิเนตหยดลงในสารละลายแคลเซียมเกิด Liquid-core hydrogel beads (LHB) หรือไฮโดรเจลบีตส์ ที่มีลักษณะกลม ด้านในของไฮโดรเจลบีตส์เป็นเนื้อเดียวกัน ขณะที่ Reverse spherification (RVS) คือการนำสารละลาย แคลเซียมหยดลงในสารละลายโซเดียมอัลจิเนตเกิดไฮโดรเจลบีตส์ที่มีลักษณะ กลม ด้านในของไฮโดรเจลบีตส์ มีของเหลวบรรจุอยู่ ซึ่งเมื่อทำการตัดไฮโดรเจลบีตส์จะพบว่ามีของเหลวไหลออกมาจากภายในไฮโดรเจลบีตส์ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Reverse spherification (RVS) ซึ่งประกอบไปด้วย First gelation และ Secondary gelation โดย First gelation จะเกิดขึ้นเมื่อ สารละลายแคลเซียม ถูกหยดลงใน สารละลายโซเดียมอัลจิเนตแรงดันจะค่อยๆเพิ่มภายในหยด และเกิดเจลที่ผิวของไฮโดรเจลบีตส์และ Secondary gelation คือการนำไฮโดรเจลบีตส์ที่ได้จากกระบวนการ First gelation มาหยดใส่ในสารละลาย แคลเซียม กล่าวคือ การเกิดเจลของไฮโดรเจลบีตส์จะเริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการ First gelation แต่ไฮโดรเจลบีตส์จะแข็งแรงมากขึ้นในกระบวนการ Secondary gelation โดยโซเดียมอัลจิเนต ถูกใช้เป็นตัวทำให้เกิดเจลหรือ Gelling agent เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ทำให้สารเกิดการฟอร์มเจลขึ้นได้ ราคาถูก อีกทั้งยังเป็น Biodegradable , Biocompatible , Non-immunogenic biopolymer และได้รับการรับรองจาก Generally regarded as safe (GRAS) ซึ่งการเกิดเจลจะเกิดจากการจับกันของโซเดียมอัลจิเนตและสารละลายแคลเซียมเกิดเป็นแคลเซียมอัลจิเนตที่มีโครงสร้างเป็นแบบEgg-box structure

2.6.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคสเฟียริฟิเคชัน

ไฮโดรเจลบีตส์ คือ เม็ดบีตส์ที่ได้จากการหุ้มสารโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ เป็นองค์ประกอบหลัก มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มแบบใหม่ เพื่อนำส่งสารสำคัญทางอาหาร และช่วยรักษากลิ่นรสในอาหาร รวมทั้งควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญต่างๆ (Hu และคณะ, 2008)

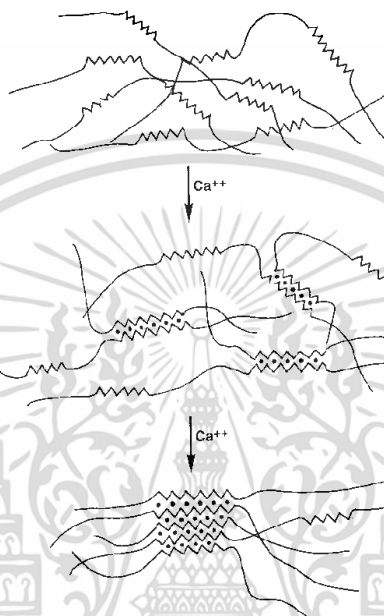
2.7 โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate (SA))

โซเดียมอัลจิเนต คือสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากธรรมชาติ โดยสกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล มีสมบัติเป็นประจุลบ ประกอบด้วย 1,4linked- β -D-mannuronic (M) และ α -L-guluronic acid (G) ที่ต่อกันแบบ homopolymeric blocks (G หรือ M-blocks) และ heteropolymeric blocks (MG-blocks) (Mohy Eldin และคณะ, 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 กลไกการเกิดเจล

โซเดียมอัลจินेटประกอบด้วย 1,4linked- β -D-mannuronic (M) และ α -L-guluronic acid (G) โดยหมู่ G- blocks สามารถจับกับประจุบวกของสารชนิดอื่น โดยการแทนที่ไฮโดรเจนใน หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) แล้วเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายที่เรียกว่า Egg-box structure หรือ egg box model (Tsai และคณะ, 2017)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างตาข่าย (Egg-box structure)

2.8 อัตราการบวมน้ำ (Swelling capacity - SC)

อัตราการบวมน้ำ (Swelling capacity - SC) หมายถึง ความอมน้ำของไฮโดรเจลบีดส์ ทดสอบจากการคำนวณน้ำหนักของไฮโดรเจลบีดส์ที่เปลี่ยนไปเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยอัตราการบวมน้ำมีผลต่อเทคนิคสเฟียริฟิเคชันคือ ความเสถียรในระหว่างการให้ความร้อน อัตราการบวมน้ำ (Swelling capacity - SC) ที่ต่ำกว่าหมายถึงความเสถียรที่สูงขึ้นและถือว่าเกี่ยวข้องกับแรงดันออสโมติกไฮโดรเจลบีดส์และสภาพแวดล้อม (Pasparakis & Bouropoulos, 2006)

2.9 ค่าความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งมีผลต่อเทคนิคสเฟียริฟิเคชัน คือ ในระหว่างการเก็บรักษา ไฮโดรเจลบีดส์ที่มีความแข็งต่ำ ไฮโดรเจลบีดส์จะแตกได้ง่ายกว่า ไฮโดรเจลบีดส์ที่มีความแข็งมาก โดย Nussinovitch et al. (1997) พบว่าความแข็งของไฮโดรเจลบีดส์ลดลงเมื่ออุณหภูมิความร้อนเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

- ผงบุกกลูโคแมนแนน (KGM)

3.1.2 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

- เอนไซม์แมนนาเนส (mannanase enzyme)
- อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS Broth
- อาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy broth (TSB)
- Xylooligosaccharide (XOS)
- แคลเซียมแลคเตท ($C_6H_{10}CaO_6$)
- แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)
- โซเดียมอัลจิเนต ($C_6H_9O_7Na$)

3.1.3 เชื้อจุลินทรีย์

- แบคทีเรีย *Lactobacillus casei*
- แบคทีเรีย *Escherichia coli*

3.2 อุปกรณ์

- เครื่องเทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- เครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (Hotplate and Magnetic Stirrer)
- เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer) Small sample adapter (No.31,34)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง Spectrophotometer (Hunter lab)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง Spectrophotometer
- กระบอกเข็มฉีดยา (Syringe) ขนาด 10 mL
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Hi speed centrifuge (Eppendorf,64R))
- ตะแกรงซีดี
- กล้องสเตอริโอพร้อมชุดถ่ายภาพ (Stereo microscope with camera (minolta))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) ยี่ห้อ Texture Technologies รุ่น Tax2i
- คิวเวตแก้ว (Cuvette)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง Sartorius, USA
- ตู้บ่มเชื้อ (incubator)
- หลอดทดลอง ขนาด 16 mm. x 150 mm.

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 การทำบีดส์ด้วยเทคนิคสเฟียริฟิเคชัน

ใช้ผงบุกกลูโคแมนแนน (KGM) 1% w/v ละลายในน้ำ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส บนเครื่องกวนสาร (Hotplate Stirrer) จากนั้นทำการแยกบุกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใส่แคลเซียมแลคเตทที่ 1% , 1.5% และ 2% อุณหภูมิของบุกที่ 50 องศาเซลเซียส ส่วนที่สองใส่แคลเซียมคลอไรด์ที่ 0.5% และ 1% อุณหภูมิของบุกที่ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นหยดลงในสารละลาย 1% โซเดียมอัลจิเนต ด้วยกระบอกเข็มฉีดยา (Syringe) ขนาด 10 mL บนเครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (Hotplate and Magnetic Stirrer) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยโซเดียมอัลจิเนตจะต้องถูกกวนตลอดเวลาที่ทำการหยด เพื่อให้ได้บีดส์ที่มีทรงกลมเสมอกัน จากนั้นนำบีดส์ที่ได้ไปแช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตท 1% สำหรับตัวอย่างที่เป็นส่วนผสมของแคลเซียมแลคเตท และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% สำหรับตัวอย่างที่เป็นส่วนผสมของแคลเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 10 นาที

3.3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของบีดส์

3.3.2.1 การแยกตัวของน้ำ (Syneresis)

นำบีดส์มาปั่นเหวี่ยงโดยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Hi speed centrifuge (Eppendorf, 64R)) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยชั่งน้ำหนักของบีดส์ก่อนถูกปั่นเหวี่ยง เปรียบเทียบกับหลังถูกปั่นเหวี่ยงที่ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที อุณหภูมิขณะปั่นเหวี่ยง 4 องศาเซลเซียส โดยหลังบีดส์ที่ถูกปั่นเหวี่ยงแล้วจะนำมาชั่งน้ำหนักที่ถูกแยกออกมาด้วยกระดาษซับด้วยวามสะอาด และชั่งน้ำหนักหลังถูกปั่นเหวี่ยงโดยไม่คือน้ำหนักน้ำส่วนเกินที่ถูกแยกออกมาจากบีดส์ ทำการทดลองละ 3 ซ้ำและนำผลที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำดังนี้

$$\text{Syneresis} = \frac{(\text{น้ำหนักบีดส์ก่อนปั่นเหวี่ยง} - \text{น้ำหนักบีดส์หลังปั่นเหวี่ยง}) \times 100}{\text{น้ำหนักบีดส์ก่อนปั่นเหวี่ยง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 ขนาดของบีดส์ (Size)

วัดขนาดของบีดส์ด้วยกล้องสเตอริโอพร้อมชุดถ่ายภาพ (Stereo microscope with camera (minolta)) และเปรียบเทียบขนาดบีดส์สัปดาห์ที่ 0 และ สัปดาห์ที่ 2

3.3.2.3 ความแข็งของบีดส์ (Hardness)

ความแข็งของบีดส์ถูกวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) หัววัดP.35 ที่ อุณหภูมิห้อง ทำการทดลองละ 3 ซ้ำ จากนั้นนำกราฟความแข็งของบีดส์(Hardness) ไปเปรียบเทียบกัน



ภาพที่ 3.1 เม็ดบีดส์ขณะอยู่บนแท่น เพื่อเตรียมวัดความแข็งของเม็ดบีดส์ (Hardness)

3.3.3 การย่อยบุกด้วยเอนไซม์

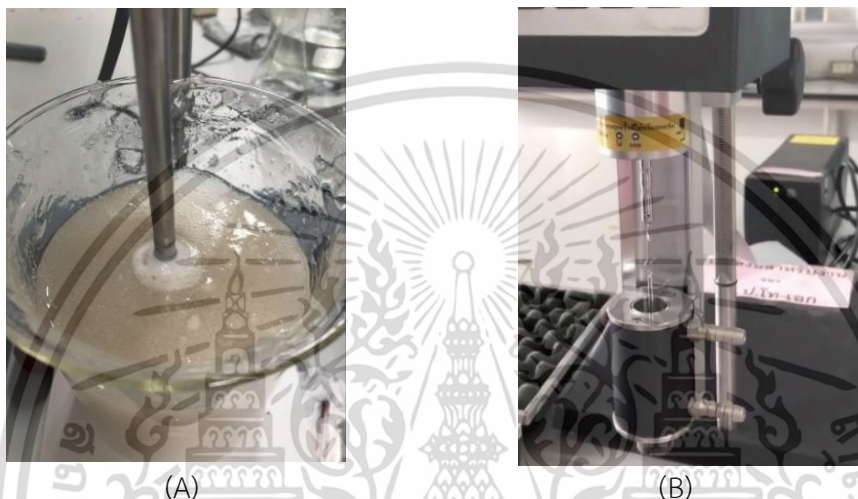
ผงบุกกลูโคแมนแนน (KGM) เป็นสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งประกอบด้วย กลูโคแมนแนน (glucomannan) และมีน้ำตาลแมนโนส (manose) และกลูโคส (glucose) เป็นองค์ประกอบ ในขั้นตอนของการย่อยบุกด้วยเอนไซม์ จะต้องแบ่งการย่อยเป็นความเข้มข้นของผงบุกกลูโคแมนแนน (KGM) ที่ 7% และ 10% w/v และจากนั้นทำการเติมเอนไซม์แมนนาเนส 0.2 % กวนผสมด้วยเครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (Hotplate and Magnetic Stirrer) ด้วยความเร็ว 500 RPM วัดอุณหภูมิขณะกวนที่ 55- 65 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการดูดสารออกมาทุก 15 นาที สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพ และดูดสารออกมาทุก 30 นาที สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของบุกกลูโคแมนแนนที่ผ่านการย่อยแล้ว (KGMH) และต้องทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทันทีที่ทำการดูดตัวอย่างออกมา เพื่อเป็นการหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์แมนนาเนส ทำการทดลองเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของ KGMH 7% และ KGMH 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.1 ความหนืดของ KGMH

บุกกลูโคแมนแนนที่ผ่านการย่อยแล้ว (KGMH) จะมีความหนืดที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลาของการย่อยบุกกลูโคแมนแนนด้วยเอนไซม์แมนนาเนส โดยความหนืดของ KGMH 7% และ KGMH 10% วัดด้วยเครื่องวัดความหนืด(Brookfield viscometer) ชุด Small sample adapter ใช้หัววัด No.31 และ No.34 โดยใส่ KGMH 15-20 mL ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลองจากค่า % torque ที่ 85-100% และนำค่าความหนืดที่ได้จากKGMH 7% และ KGMH 10% ในแต่ละเวลาของการย่อย มาเปรียบเทียบกัน



ภาพที่ 3.2 ความหนืดของ KGMH (A)

เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer) ชุด Small sample adapter (B)

3.3.4.2 การวิเคราะห์ค่าสี

ค่าสีของ KGMH 7% และ KGMH 10% วัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Hunter lab) โดยใช้ตัวอย่าง KGMH 40 mL ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นบันทึกค่าความสว่าง (L^*), ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ทำการทดลองละ 3 ซ้ำ

3.3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพของ KGMH ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก

3.3.5.1 ความสามารถในการเจริญของ *Lactobacillus casei* และ *Escherichia coli*

ทดสอบคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกของ KGMH โดยใช้ KGMH 7% และ KGMH 10% ปริมาณ1%ในอาหารMRS เพื่อทดสอบการเจริญของ *Lactobacillus casei* บ่มที่อุณหภูมิห้อง และ ใช้KGMH 7% และ KGMH 10% ปริมาณ1%ในอาหารTSB เพื่อทดสอบการเจริญของ *Escherichia coli* บ่มที่อุณหภูมิห้อง เปรียบเทียบกับอาหารควบคุมคือ กลูโคส ผงบุก (KGM) และ Xylooligosaccharide(XOS) โดยใช้เชื้อ *Lactobacillus casei* และ *Escherichia coli* ที่เวลา 0 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงด้วยเช่นกัน และทดสอบการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญของเชื้อด้วยการวัดความขุ่นของอาหารด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 600 nm ที่อุณหภูมิห้อง
ทำการทดลองละ 3 ซ้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมของเม็ดบีดส์

4.1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดบีดส์

4.1.1.1 การแยกตัวของน้ำ (Syneresis)

จากการทดลองได้กำหนดประเภทของสารละลายแคลเซียมสองชนิด คือ แคลเซียมแลคเตทและแคลเซียมคลอไรด์ และกำหนดความเข้มข้นของแคลเซียมแตกต่างกัน จากการทดลองพบว่า การแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ดังตารางที่ 4.1 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของสารละลายแคลเซียมและความเข้มข้น ไม่มีผลต่อการแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ในเม็ดบีดส์

ตารางที่ 4.1 การแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ในเม็ดบีดส์

ตัวอย่าง	การแยกตัวของน้ำ (Syneresis)	
	(กรัม)	(%)
แคลเซียมแลคเตท 1%	0.74	7.46 ^a
แคลเซียมแลคเตท 1.5%	0.69	7.07 ^a
แคลเซียมแลคเตท 2%	0.70	7.12 ^a
แคลเซียมคลอไรด์ 0.5%	0.68	6.97 ^a
แคลเซียมคลอไรด์ 1%	1.00	10.18 ^a

4.1.1.2 ขนาดของเม็ดบีดส์ (Size)

ภายหลังจากการเก็บรักษาเม็ดบีดส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่าชนิดและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียม ไม่มีผลต่อการเก็บรักษา และ ไม่มีผลต่อการขึ้นรูปของเม็ดบีดส์ และขนาดของเม็ดบีดส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ขนาดของเม็ดบีดส์ (Size) ที่เปลี่ยนไป

บีดส์	0 สัปดาห์ (mm)	2 สัปดาห์ (mm)	เปอร์เซ็นต์ (%)
แคลเซียมแลคเตท 1 %	6.07	5.99	-1.268 ^a
แคลเซียมแลคเตท 1.5 %	5.69	5.93	4.266 ^a
แคลเซียมแลคเตท 2 %	5.90	6.24	5.671 ^a
แคลเซียมคลอไรด์ 0.5 %	5.67	5.90	4.124 ^a
แคลเซียมคลอไรด์ 1 %	5.47	5.84	6.872 ^a

4.1.1.3 ความแข็งของเม็ดบีดส์ (Hardness)

ความแข็งของเม็ดบีดส์ (Hardness) ที่วัดได้จากแรงกดพบว่า ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมมีผลต่อความแข็งของเม็ดบีดส์ (Hardness) โดยแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 % มีแรงกดเฉลี่ยสูงสุด

ตารางที่ 4.3 ความแข็งของเม็ดบีดส์ (Hardness) ที่วัดได้จากแรงกด (kg)

ตัวอย่าง	แรงกด			แรงกดเฉลี่ย (KF)
	(KF)			
แคลเซียมแลคเตท 1 %	0.115	0.125	0.134	0.374 ^{ab}
แคลเซียมแลคเตท 1.5 %	0.128	0.158	0.071	0.357 ^{ab}
แคลเซียมแลคเตท 2 %	0.149	0.173	0.197	0.519 ^{ab}
แคลเซียมคลอไรด์ 0.5 %	0.209	0.166	0.164	0.539 ^a
แคลเซียมคลอไรด์ 1 %	0.059	0.143	0.131	0.333 ^b

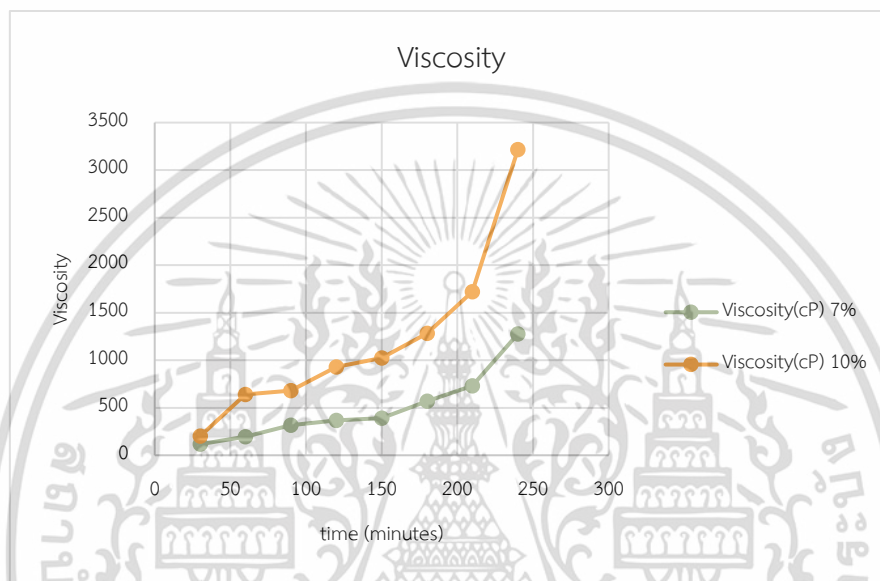
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมของ KGMH 7% และ KGMH 10%

4.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของ KGMH 7% และ KGMH 10%

4.2.1.1 ความหนืดของ KGMH

จากการทดลองนำผงบุก (KGM) ความเข้มข้น 7% และ 10% มาย่อยด้วยเอนไซม์แมนนาเนสทำให้ได้บุกไฮโดรไลเซต (KGMH) มีลักษณะเหลว สีขาวขุ่น ความเข้มข้นของ KGMH 7% มีความหนืดน้อยกว่า KGMH 10%



ภาพที่ 4.1 ความหนืดของ KGMH 7% และ KGMH 10%

จากการทดลองพบว่า KGMH ที่ย่อยด้วยเอนไซม์แมนนาเนสโดยมีความเข้มข้นของปริมาณ KGM แตกต่างกัน (7%, 10%) ยิ่งเวลาที่ใช้ในการย่อยเพิ่มมากขึ้นมีผลต่อค่าความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

หมายเหตุ ความหนืดของKGMอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น เช่น ค่า Mw (Zhijun Chen , 2020)

4.2.1.2 การวิเคราะห์ค่าสี (color measurement)

4.2.1.2.1 การวิเคราะห์ค่าสี L*

ความเข้มข้นเริ่มต้นของผงบุกที่ใช้มีผลต่อค่า L* เนื่องจากขณะย่อยผงบุกด้วยเอนไซม์แมนนาเนสที่ในขณะเดียวกันต้องให้ความร้อนคงที่ที่ 60 – 65 องศาเซลเซียสทำให้โครงสร้างของบุกที่ประกอบไปด้วยน้ำตาลแมนโนส และน้ำตาลกลูโคสเกิดปฏิกิริยา Caramelization โดยเมื่อเวลาที่ใช้ในการย่อยเพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลต่อค่า L* มีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

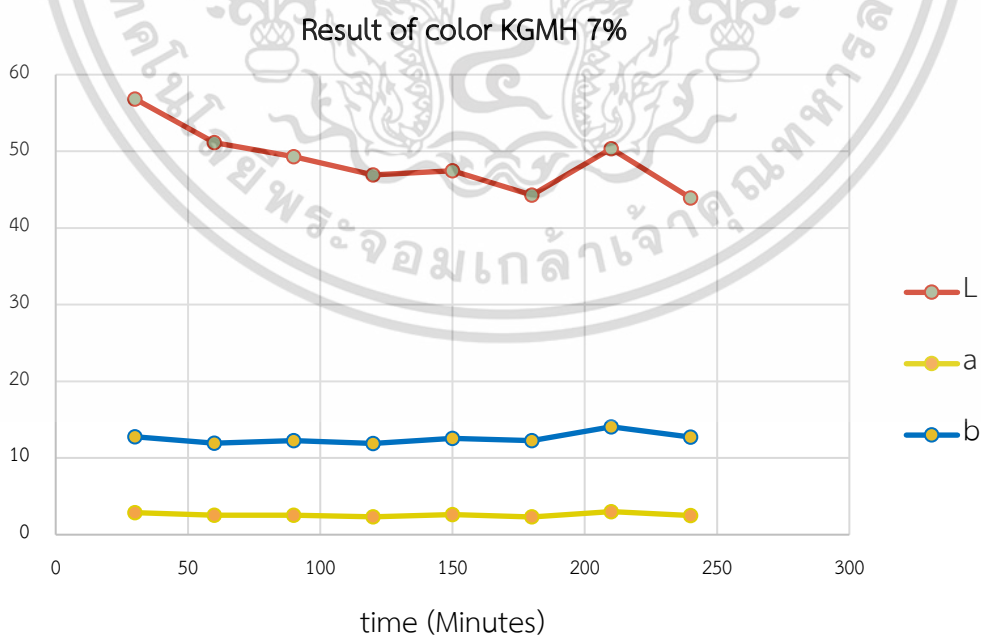
4.2.1.2.2 การวิเคราะห์ค่าสี a*

ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ของผงบุก และเวลาที่ใช้ในการย่อยเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าสีแดง (a*) แนวนอนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

4.2.1.2.3 การวิเคราะห์ค่าสี b*

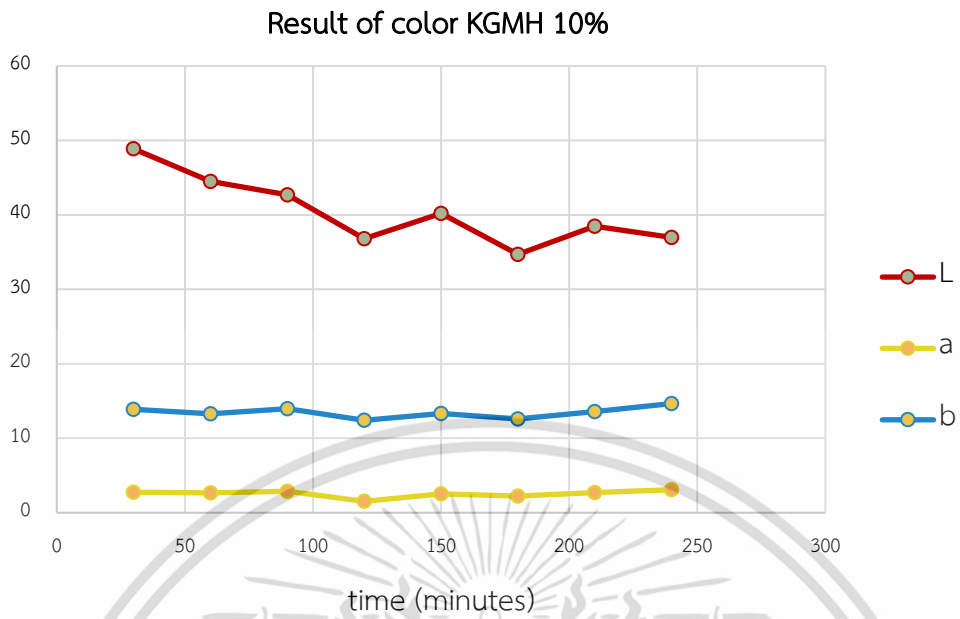
ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ของผงบุก และเวลาที่ใช้ในการย่อยเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าสีแดง (a*) แนวนอนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

จากการวิเคราะห์ค่าสีระบบ L*-a*-b* โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (Hunter lab) ซึ่ง L* แสดงความสว่างของสี b* แสดงระดับเหลือง-น้ำเงิน เมื่อค่า b* เป็นค่าบวกแสดงลักษณะสีเหลือง ค่า a* แสดงระดับแดง-เขียว เมื่อค่า b* เป็นค่าบวกแสดงลักษณะสีแดงวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (anova) แบบ CRD พบว่า KGMH 7% นาที่ผ่านการย่อยเป็นระยะเวลา 30 มีค่า L* สูงที่สุดคือ 56.8300 KGMH 10% นาที่ผ่านการย่อยเป็นระยะเวลา 240 มีค่า a* สูงสุดมีค่าเท่ากับ 3.0900 และ KGMH 10% นาที่ผ่านการย่อยเป็นระยะเวลา 240 มีค่า b* สูงสุดมีค่าเท่ากับ 14.6600 เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่า KGMH 10% มีค่า a*, b* สูงกว่า KGMH 7% ขณะที่ค่า L* KGMH 7% นาที่ผ่านการย่อยเป็นระยะเวลา 30 มีความสว่างมากที่สุด แสดงว่า KGMH 10% มีความสว่างน้อยกว่า KGMH 7% สอดคล้องกับระดับสีแดง (a*) และสีน้ำเงิน (b*) ที่มีค่ามากกว่า KGMH 7% ดังนั้นเมื่อตามความเข้มข้นของผงบุกเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าสี L* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น a* มีค่าเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย b*ค่าเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการย่อยสลายมากขึ้น จะส่งผลต่อค่าสีเป็นอย่างไร ซึ่งสีที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อการยอมรับของผู้บริโภค



ภาพที่ 4.2 ค่าสี L*,a*,b* ของ KGMH 7% ที่ระยะเวลาการย่อยต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ค่าสี L*,a*,b* ของ KGMH 10% ที่ระยะเวลาการย่อยต่าง ๆ กัน



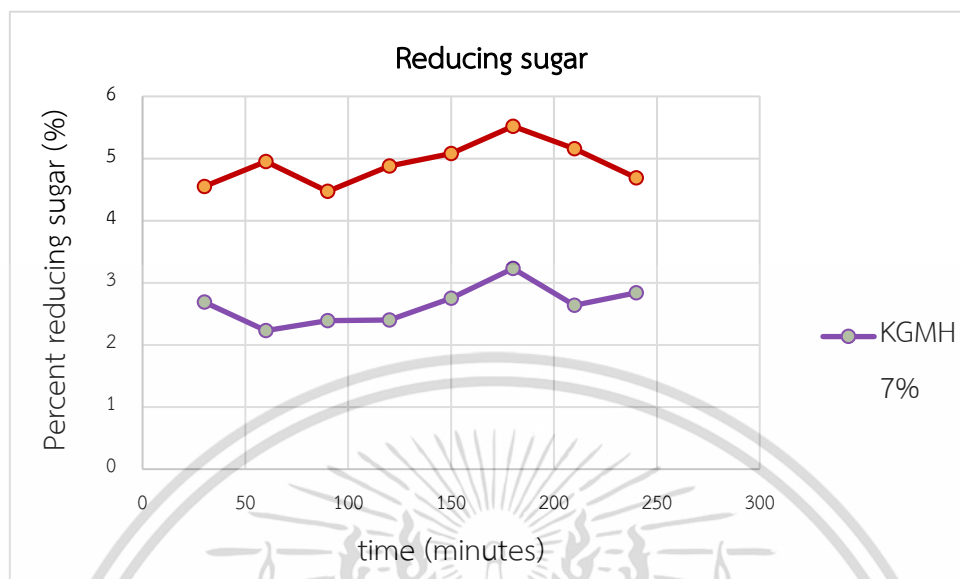
(A)

(B)

ภาพที่ 4.4 เฉดสีของ KGMH 7% ที่เวลา 0 นาที ถึง 240 นาที (A) และ 10% ที่เวลา 0 นาที ถึง 240 นาที (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 เปรอร์เซ็นต์ของ Reducing sugar ของ KGMH 7% และ KGMH 10%



ภาพที่ 4.5 เปรอร์เซ็นต์ของ Reducing sugar ของ KGMH 7% และ KGMH 10% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

จากผลการทดลองแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ของ KGMH 7% และ KGMH 10% ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของ KGMH 10% มีปริมาณมากกว่า KGMH 7% เนื่องจากมีความเข้มข้นมากกว่า และเมื่อระยะเวลาในการย่อยสลายบุกมากขึ้นพบว่ามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นบุกไฮโดรไลเซทที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มากที่สุดคือ KGMH 10%

4.3 การทดสอบความสามารถในการเจริญของ *Lactobacillus casei* และ *Escherichia coli* โดยใช้ KGMH เป็นแหล่งคาร์บอน

4.3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพของ KGMH ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก

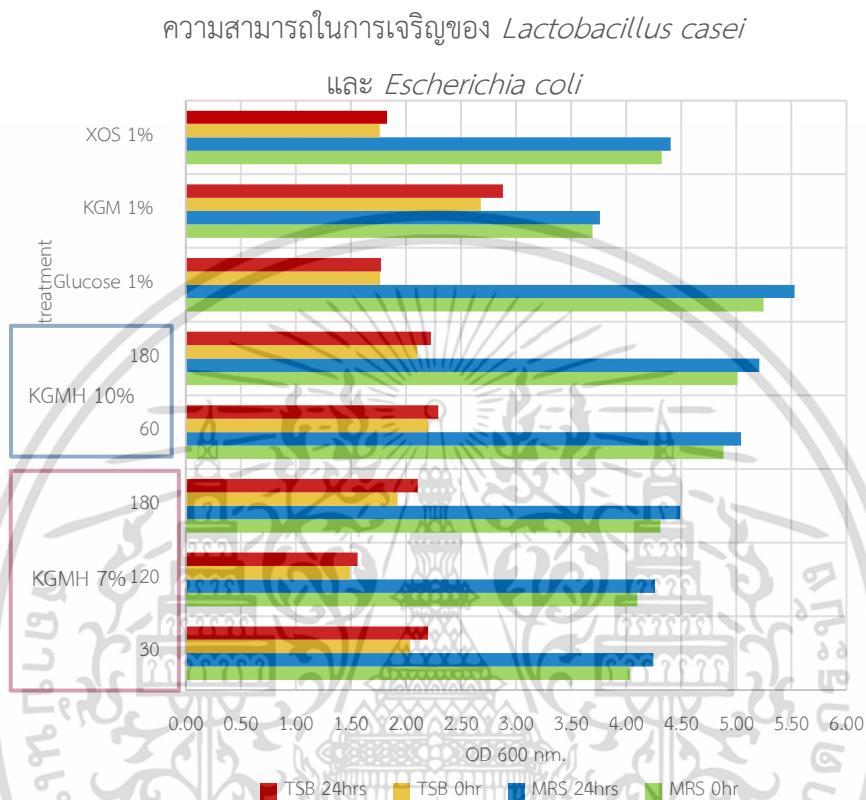
4.3.1.1.1 ความสามารถในการเจริญของ *Lactobacillus casei*

Lactobacillus casei เป็นจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่สามารถใช้น้ำตาล Oligosaccharide ในบุกไฮโดรไลเซทได้ดี ใน KGMH 10% มีปริมาณน้ำตาล reducing sugar มากกว่า KGMH 7% จึงทำให้ *Lactobacillus casei* ใช้ KGMH 10% ได้มากกว่า KGMH 7% แสดงว่า *Lactobacillus casei* สามารถใช้ KGMH เป็นแหล่งคาร์บอนได้

4.3.1.1.2 ความสามารถในการเจริญของ *Escherichia coli*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

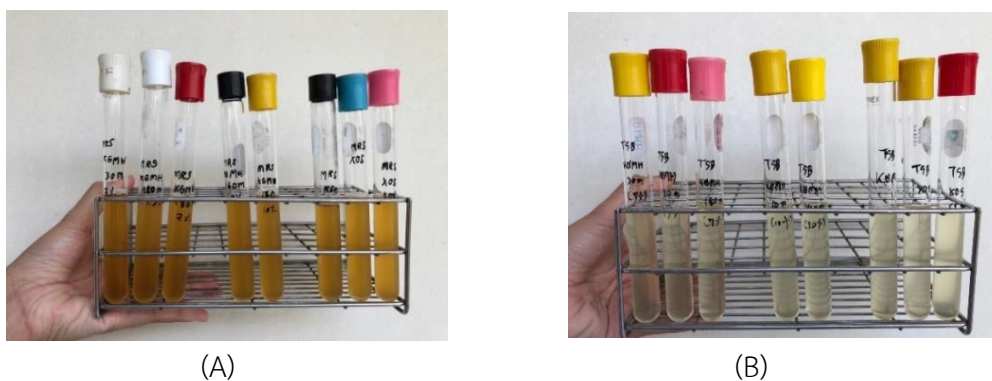
Escherichia coli เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถใช้น้ำตาล Oligosaccharide ในบุกไฮโดรไลเซตได้ ดังนั้น *Escherichia coli* ไม่สามารถใช้ทั้ง KGMH 7% และ KGMH 10% เป็นแหล่งคาร์บอนได้



ภาพที่ 4.6 ความสามารถในการเจริญของ *Lactobacillus casei* และ *Escherichia coli* ที่ 0 และ 24 ชั่วโมง

จากการทดลองใช้ KGMH เป็นแหล่งคาร์บอนเสริมในอาหารเลี้ยงเชื้อเปรียบเทียบกับอาหารควบคุม ได้แก่ กลูโคส ผงบุก (KGM) และ Xylooligosaccharide (XOS) โดยใช้เชื้อ *Lactobacillus casei* และ *Escherichia coli* ที่เวลา 0 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงพบว่า เชื้อ *Lactobacillus casei* ที่สามารถใช้ KGMH ในการเจริญได้ดี แต่ใช้ KGM ในการเจริญได้ไม่ดี ซึ่งเชื้อโพรไบโอติกสามารถใช้ KGMH 10% ที่เวลา 180 นาทีได้ดีที่สุดสอดคล้องกับปริมาณ reducing sugar ของ KGMH 10% ที่เวลา 180 นาที ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ reducing sugar ที่มากที่สุด ดังนั้นอาหารเลี้ยงเชื้อเสริมที่ดีที่สุดคือ KGMH 10%, KGMH 7%, XOS และ KGM ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อ *Escherichia coli* สามารถใช้ KGMH และอาหารเลี้ยงเชื้อเสริมตัวอื่น ๆ ได้เล็กน้อย เจริญได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 การเจริญของ *Lactobacillus casei* ที่ 24 ชั่วโมง (A) และ *Escherichia coli* ที่ 24 ชั่วโมง (B)

4.3.2 การวิเคราะห์ Prebiotic activity score

ตาราง 4.4 ค่าความสามารถในการเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic scores)

KGMH	เวลา (นาที)	Prebiotic activity score
7 %	30	-11.4
	120	-5.427
	180	-13.852
10 %	60	-1.664
	180	1.835

จากผลการทดลองค่าความสามารถในการเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic scores) พบว่ามีค่า Prebiotic activity score ที่ดีที่สุดคือ KGMH 10% นาที่ผ่านการย่อยเป็นระยะเวลา 180 นาที มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาเรื่องการพัฒนาบุกไฮโดรไลเซทบีดส์ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกด้วยเทคนิคสเฟียริฟิเคชัน โดยกำหนดประเภทของสารละลายแคลเซียมสองชนิด คือ แคลเซียมแลคเตท และแคลเซียมคลอไรด์ และกำหนดความเข้มข้นของแคลเซียมแตกต่างกัน ประกอบด้วย แคลเซียมคลอไรด์ 0.5 และ 1% แคลเซียมแลคเตท 1 % 1.5% และ 2% เม็ดบีดส์ที่ผลิตมีค่าการแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขนาดของเม็ดบีดส์ (Size) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 สัปดาห์ และไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแข็ง (Hardness) ของเม็ดบีดส์ที่ดีที่สุดที่สามารถทนต่อแรงกด ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ 0.5 % ที่ 0.539 KF ดังนั้นแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 % จึงเหมาะที่สุดในการนำมาทำเป็น outer layer ในการผลิตเม็ดบีดส์จากนั้นจึงนำสารละลายบุกที่มีความเข้มข้น 7% และ 10% มาย่อยด้วยเอนไซม์แมนนาเนสเป็นระยะเวลา 240 นาทีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แล้วนำไปตรวจวัดทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ความหนืด และน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าเวลาในการย่อยส่งผลต่อค่าสีและความหนืด เมื่อเวลาในการย่อยสารละลายบุกเพิ่มขึ้นทำให้ความสว่าง (L^*) มีค่าลดลง ขณะที่ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการย่อยมากขึ้น จากการศึกษาน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายบุกที่ผ่านการย่อยแล้วพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงบุกในการย่อยมากขึ้นทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการย่อยสารละลายบุกมากขึ้นทำให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากขึ้น ต่อมาศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. casei* โดยใช้ KGMH 7% และ KGMH 10% ใน MRS เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ มีแหล่งคาร์บอนควบคุมได้แก่ กลูโคส 1% KGM 1% และ XOS 1% เปรียบเทียบการเจริญกับเชื้อ *E. coli* ที่เวลา 0 และ 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า *L. casei* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์โพรไบโอติกสามารถใช้ KGMH 7% และ KGMH 10% ในการเจริญได้ดี แสดงว่าผงบุกที่ผ่านการย่อยแล้วมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์โพรไบโอติก ในทางกลับกันความสามารถในการเจริญของเชื้อ *E. coli* ต่างจาก *L. casei* นั้นคือใช้ KGMH ทั้ง 7% และ 10% ได้ไม่ดี เนื่องจากคุณสมบัติของพรีไบโอติกคือส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โพรไบโอติก และไม่ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค เมื่อพิจารณาจากการคำนวณค่าความสามารถในการเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic scores) ค่าสี ความหนืด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ แสดงให้เห็นว่าค่าที่ดีที่สุดคือ KGMH 10% 180 นาที ดังนั้น *L. casei* ที่สามารถใช้ KGMH ได้ดีที่สุด คือ KGMH 10% ที่ 180 นาที เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่จำเพาะ ที่ *L. casei* ใช้ได้ดีมีมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 บุคลากรโคมานแนที่ผ่านการย่อยแล้ว (KGMH) และต้องทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา10นาที ทันทีที่ทำการดูดตัวอย่างออกมา เพื่อเป็นการหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์แมนนาเนส

5.2.2 ในขั้นตอนการนำสารละลายแคลเซียมมาหยดลงในโซเดียมอัลจิเนต โซเดียมอัลจิเนตนั้นจะต้องถูกกวนตลอดเวลาที่ทำการหยด และอุณหภูมิของโซเดียมอัลจิเนตขณะหยดไม่ควร 50 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้บีตส์ที่มีทรงกลมเสมอกัน

5.2.3 ในการวัดขนาดของเม็ดบีตส์ควรทำการวัดเม็ดบีตส์เม็ดเดิมหลังจากการเก็บรักษาที่ 14 วัน เพื่อความแม่นยำของขนาดเม็ดบีตส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ธาทรี. 2549. เครือ'องบด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : elearning.nsruc.ac.th/web_elearning/animal/lesson6_2.php. 27 พฤศจิกายน 2562

บุญเสถียร. 2555. วางแผนการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.pirun.ku.ac.th/~fscibtb/Boonsatien/0142x491_Research_Methodology_files/Handout Research1. 23 กรกฎาคม 2563

พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา. 2553. กลูโคแมนแนน.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1850/konjac. 6 พฤศจิกายน 2562

พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา. 2553. กลูโคแมนแนน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0680/enzyme. 6 พฤศจิกายน 2562

พรหล้า. 2555. สารให้ความคงตัว และอิมัลซิไฟเออร์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: missicream.com. 27 พฤศจิกายน 2562

รัชฎาพร. 2560. เอกสารประกอบการอบรมหัวข้อสถิติวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.sut.ac.th/dp/2015/images/K2_Doc/MyDocuments/EDOC/DEV/doc. 23 กรกฎาคม 2563

สุดาทิพย์ และ ชนิดโชต. 2555. การผลิตและการประยุกต์แมนนาเนสจากจุลินทรีย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/12786

Albrecht, S., van Muiswinkel, G. C., Xu, J., Schols, H. A., Voragen, A. G., and Gruppen, H. 2011. Enzymatic production and characterization of konjac glucomannan oligosaccharides. *Journal of agricultural and food chemistry*. 59(23): 12658-12666.

Al-Ghazzewi, F. H., and Tester, R. F. 2010. Effect of konjac glucomannan hydrolysates and probiotics on the growth of the skin bacterium *Propionibacterium acnes* in vitro. *International journal of cosmetic science*. 32(2): 139-142.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Al-Ghazzewi, F. H., Khanna, S., Tester, R. F., and Piggott, J. 2007. The potential use of hydrolysed konjac glucomannan as a prebiotic. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87(9): 1758-1766.
- Al-Ghazzewi, F. H., Khanna, S., Tester, R. F., and Piggott, J. 2007. The potential use of hydrolysed konjac glucomannan as a prebiotic. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87(9): 1758-1766.
- Barrangou, R., Altermann, E., Hutkins, R., Cano, R., and Klaenhammer, T. R. 2003. Functional and comparative genomic analyses of an operon involved in fructooligosaccharide utilization by *Lactobacillus acidophilus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 100(15): 8957-8962.
- Behera, S. S., and Ray, R. C. (2017): Nutritional and potential health benefits of konjac glucomannan, a promising polysaccharide of elephant foot yam, *Amorphophallus konjac* K. Koch: A review. *Food reviews international*. 33(1): 22-43.
- Chearskul, S., Sangurai, S., Nitiyanant, W., Kriengsinyos, W., Kooptiwut, S., and Harindhanavudhi, T. 2007. Glycemic and lipid responses to glucomannan in Thais with type 2 diabetes mellitus. *Medical journal of the Medical Association of Thailand*. 90(10): 2150.
- Chen, H. L., Cheng, H. C., Liu, Y. J., Liu, S. Y., and Wu, W. T. 2006. Konjac acts as a natural laxative by increasing stool bulk and improving colonic ecology in healthy adults. *Nutrition*. 22(11-12): 1112-1119.
- Chen, H. L., Fan, Y. H., Chen, M. E., and Chan, Y. 2005. Unhydrolyzed and hydrolyzed konjac glucomannans modulated cecal and fecal microflora in Balb/c mice. *Nutrition*. 21(10): 1059-1064.
- Chen, H. L., Sheu, W. H. H., Tai, T. S., Liaw, Y. P., and Chen, Y. C. 2003. Konjac supplement alleviated hypercholesterolemia and hyperglycemia in type 2 diabetic subjects—a randomized double-blind trial. *Journal of the American College of Nutrition*. 22(1): 36-42.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Chen, J., Liu, D., Shi, B., Wang, H., Cheng, Y., and Zhang, W. 2013. Optimization of hydrolysis conditions for the production of glucomanno-oligosaccharides from konjac using β -mannanase by response surface methodology. *Carbohydrate polymers*. 93(1): 81-88.
- Chen, Z., Wang, S., Shang, L., Zhou, P., and Li, B. 2020. An efficient and simple approach for the controlled preparation of partially degraded konjac glucomannan. *Food Hydrocolloids*. 108 (2020) 106017.
- Chua, M., Baldwin, T. C., Hocking, T. J., and Chan, K. 2010. Traditional uses and potential health benefits of *Amorphophallus konjac* K. Koch ex NE Br. *Journal of ethnopharmacology*. 128(2): 268-278.
- Connolly, M. L., Lovegrove, J. A., and Tuohy, K. M. 2010. Konjac glucomannan hydrolysate beneficially modulates bacterial composition and activity within the faecal microbiota. *Journal of Functional Foods*. 2(3): 219-224.
- Connolly, M. L., Lovegrove, J. A., and Tuohy, K. M. 2010. Konjac glucomannan hydrolysate beneficially modulates bacterial composition and activity within the faecal microbiota. *Journal of Functional Foods*. 2(3): 219-224.
- Devaraj, R. D., Reddy, C. K. and Xu, B. 2018. Health-promoting effects of konjac
EFSA2010_2-0
- Fang, W., and Wu, P. 2004. Variations of konjac glucomannan (KGM) from *Amorphophallus konjac* and its refined powder in China. *Food Hydrocolloids*. 18(1): 167-170.
- Gibson, G. R., and Roberfroid, M. B. (1995): Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of nutrition*. 125(6): 1401-1412.
- glucomannan and its practical applications: A critical review. *International journal of biological macromolecules*.
- Glucomannan. 2019. [online]. https://en.wikipedia.org/wiki/Glucomannan#cite_ref-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ha, M. A., Jarvis, M. C., and Mann, J. I. 2000. A definition for dietary fibre. *European journal of clinical nutrition*. 54(12): 861.
- Harmayani, E., Aprilia, V., and Marsono, Y. 2014. Characterization of glucomannan from *Amorphophallus oncophyllus* and its prebiotic activity in vivo. *Carbohydrate polymers*. 112. 475-479.
- Hoeflinger, J. L., Kashtanov, D. O., Cox, S. B., Dowd, S. E., Jouni, Z. E., Donovan, S. M., and Miller, M. J. 2015. Characterization of the intestinal Lactobacilli community following galactooligosaccharides and polydextrose supplementation in the neonatal piglet. *PLoS one*. 10(8): e0135494.
- Huang, C. Y., Zhang, M. Y., Peng, S. S., Hong, J. R., Wang, X., Jiang, H. J., ... and Yu, Y. R. (1990): Effect of Konjac food on blood glucose level in patients with diabetes. *Biomedical and environmental sciences: BES*. 3(2): 123-131.
- Lana Burgess. 2017. What are the benefits of konjac. [online]. Available: www.medicalnewstoday.com/articles/319979.php. 27 November 2019
- Li, B., Xia, J., Wang, Y., and Xie, B. 2005. Grain-size effect on the structure and antiobesity activity of konjac flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(19): 7404-7407.
- Matsuura, Y. 1998. Degradation of konjac glucomannan by enzymes in human feces and formation of short-chain fatty acids by intestinal anaerobic bacteria. *Journal of nutritional science and vitaminology*. 44(3): 423-436.
- Molecular weight distribution and fermentation of mechanically pre-treated konjac enzymatic hydrolysates. *Carbohydrate polymers*. 159: 58-65.
- Nishinari, K., Williams, P. A., and Phillips, G. O. 1992. Review of the physico-chemical characteristics and properties of konjac mannan. *Food hydrocolloids*. 6(2): 199-222.
- Ojima, T., Rahman, M. M., Kumagai, Y., Nishiyama, R., Narsico, J., & Inoue, A. (2018). Polysaccharide-Degrading Enzymes From Marine Gastropods. In *Methods in enzymology* (Vol. 605, pp. 457-497). Academic Press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Phillips and Williams. 2000. Hydrocolloids. [online]. Available: eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap4/Chap4_intro.htm. 29 November 2019
- Suwannaporn, P., Thepwong, K., Tester, R., Al-Ghazzewi, F., Piggott, J., Shen, N., Chen, Z., Chen, F., Yang, J., Zhang, D, and Tang, M. 2013. Tolerance and nutritional therapy of dietary fibre from konjac glucomannan hydrolysates for patients with inflammatory bowel disease (IBD): *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2(2): 93-98.
- Wu, J., and Peng, S. S. 1997. Comparison of hypolipidemic effect of refined konjac meal with several common dietary fibers and their mechanisms of action. *Biomedical and environmental sciences: BES*. 10(1): 27-37.
- Wu, W. T., and Chen, H. L. 2011. Effects of konjac glucomannan on putative risk factors for colon carcinogenesis in rats fed a high-fat diet. *Journal of agricultural and food chemistry*. 59(3): 989-994.
- Karim and Rajeev. 2009. Gelling agent. [online]. Available: kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/9183/6/Chapter2.pdf. 27 November 2019
- Yang, D., Yuan, Y., Wang, L., Wang, X., Mu, R., Pang, J., Xiao, J., and Zheng, Y. (2017): A review on konjac glucomannan gels: microstructure and application. *International journal of molecular sciences*. 18(11): 2250.
- Yang, J., Vittori, N., Wang, W., Shi, Y. C., Hoeflinger, J. L., Miller, M. J., and Pan, Y. 2017.
- Zhang, Y. Q., Xie, B. J., and Gan, X. 2005. Advance in the applications of konjac glucomannan and its derivatives. *Carbohydrate Polymers*. 60(1): 27-31.
- Zhu, F. 2018. Modifications of konjac glucomannan for diverse applications. *Food chemistry*. 256: 419-426.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. อาหารเลี้ยงเชื้อ

ก.1 วิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. อาหาร MRS broth

Dextrose	20.00 g
Meat peptone	10.00 g
Beef extract	10.00 g
Yeast extract	5.00 g
Sodium acetate	5.00 g
K ₂ HPO ₄	2.00 g
Ammonium citrate	2.00 g
Polysorbate 80	1.00 g
Magnesium sulfate	0.10 g
Manganese sulfate	0.05 g
น้ำกลั่น	1000 mL
pH	6.5±0.2

ชั่ง MRS ลงในน้ำ 1 ลิตร คนให้ละลาย แล้วใส่ในขวดนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2. อาหาร MRS agar

ส่วนประกอบของอาหารเหมือนกับอาหารเหลว MRS broth เติม agar 1.5% ชั่ง MRS ลงในน้ำ 1 ลิตร ต้มให้ละลาย แล้วใส่ในขวดนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

3. อาหารควบคุม Glucose 1%, KGM 1% และ XOS 1%

ส่วนประกอบของอาหารเหมือนกับอาหารเหลว MRS broth หลังจากนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เติมอาหารควบคุม 1% แล้วนำไป vortex 1 นาที

4. อาหาร Tryptic Soy Broth (TSB)

Pancreatic digest of casein	17.00 g
Papaic digest of soyabean meal	3.00 g
Sodium chloride	5.00 g
Dextrose(Glucose)	2.50 g
Dipotassium hydrogen phosphate	2.50 g
น้ำกลั่น	1000 mL
pH (at 25°C)	7.3±0.2

ชั่ง TSB ลงในน้ำ 1 ลิตร คนให้ละลาย แล้วใส่ในขวดนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

5. อาหาร Tryptic Soy Agar (TSA)

ส่วนประกอบของอาหารเหมือนกับอาหารเหลว TSB broth เติม agar 1.5% ชั่ง TSB ลงในน้ำ 1 ลิตร ต้มให้ละลาย แล้วใส่ในขวดนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

6. อาหารควบคุม Glucose 1%, KGM 1% และ XOS 1%

ส่วนประกอบของอาหารเหมือนกับอาหารเหลว TSB broth หลังจากนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เติมอาหารควบคุม 1% แล้วนำไป vortex 1 นาที

ภาคผนวก ข.

วิธีย่อยบุงกลูโคแมนแนน (KGM) และวิธีการทำปดส์ด้วย

เทคนิคสเฟียริฟิเคชัน

ข.1 ขั้นตอนการย่อยบุงกลูโคแมนแนน (KGM)

1. เตรียมบุงกลูโคแมนแนน (KGM) 7% และ 10% ละลายในน้ำ และคนทันที
2. นำบุงที่ละลายมาตั้งบนเครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55- 65 องศาเซลเซียส กวนด้วยความเร็ว 500 RPM
3. เมื่อความร้อนตรงตามกำหนดแล้ว จากนั้นทำการเติมเอนไซม์แมนนาเนส 0.2 % และกวนด้วยความเร็ว 500 RPM อย่างต่อเนื่อง
4. เก็บตัวอย่างทุก 15 นาทีสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพ และทุก 30 นาที สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เป็นเวลาทั้งหมด 4 ชั่วโมง

ข.2 ขั้นตอนการทำปดส์ด้วยเทคนิคสเฟียริฟิเคชัน

1. ละลายผงบุงกลูโคแมนแนน (KGM) 1% ในน้ำ และคนทันที
2. นำบุงที่ละลายตั้งบนเครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และกวนผสม
3. นำบุงที่ละลายแล้ว แยกเป็นสองส่วน ส่วนแรกใส่แคลเซียมแลคเตทที่ 1% , 1.5% และ 2% อุณหภูมิของบุงที่ 50 องศาเซลเซียส ส่วนที่สองใส่แคลเซียมคลอไรด์ที่ 0.5% และ 1% อุณหภูมิของบุงที่ 50 องศาเซลเซียส
4. นำสารละลายแคลเซียมในข้อ 3. มาหยดลงใน 1% โซเดียมอัลจิเนต ด้วยกระบอกเข็มฉีดยา (Syringe) ขนาด 10 mL บนเครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (Hotplate and Magnetic Stirrer) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และกวนตลอดเวลาเพื่อทำให้ได้ปดส์ที่มีทรงกลมเสมอกัน
5. นำปดส์ที่ได้ไปแช่ในสารละลายแคลเซียมแลคเตท 1% สำหรับตัวอย่างที่เป็นส่วนผสมของแคลเซียมแลคเตท และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% สำหรับตัวอย่างที่เป็นส่วนผสมของแคลเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 10 เวลานาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ผลการวิเคราะห์ของบุกไฮโดรไลเซทที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก

ตาราง ค.1 เปอเซ็นต์ซีเนอริซิส (Syneresis)

Sample	Syneresis	
	Gram (g)	Percent (%)
Calcium lactate 1%	0.74	7.46±0.1206 ^a
Calcium lactate 1.5%	0.69	7.07±0.0611 ^a
Calcium lactate 2%	0.70	7.12±0.1819 ^a
Calcium Chloride 0.5%	0.68	6.97±0.2413 ^a
Calcium Chloride 1%	1.00	10.18±0.2286 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ค.2 ขนาดของบีดส์

ตัวอย่าง	มิลลิเมตร (mm)	
	0 วัน	14 วัน
Calcium lactate 1 g	5.64±0.2904 ^a	5.90±0.3044 ^a
Calcium lactate 1.5 g	5.47±0.1498 ^a	5.82±0.3540 ^a
Calcium lactate 2 g	5.70±0.2451 ^a	11.16±16.4648 ^a
Calcium Chloride 0.5 g	6.07±0.3782 ^a	6.02±0.4016 ^a
Calcium Chloride 1 g	5.91±0.2252 ^a	6.24±0.2769 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 การทดลอง Hardness

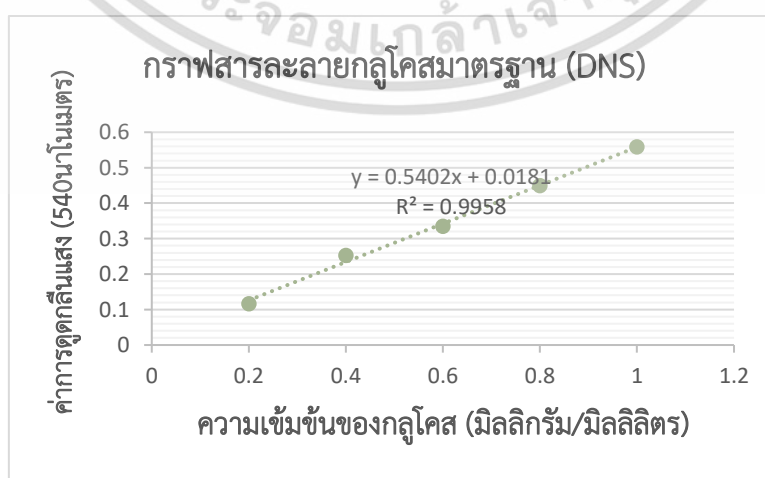
ตัวอย่าง	Force (Kg)
Calcium lactate 1 g	0.374±0.0095 ^{ab}
Calcium lactate 1.5 g	0.357±0.0442 ^{ab}
Calcium lactate 2 g	0.519±0.0240 ^{ab}
Calcium Chloride 0.5 g	0.539±0.0254 ^b
Calcium Chloride 1 g	0.333±0.0454 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ค.4 เปอร์เซ็นต์ของ Reducing sugar ของ KGMH 7% และ KGMH 10%

ตาราง ค.4.1 เตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐานโดยชั่งกลูโคส 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

สารละลายกลูโคส (มิลลิกรัม)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของกลูโคส (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (540 นาโนเมตร)			
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.2	0.8	0.2	0.1127	0.1179	0.1187	0.1164
0.4	0.6	0.4	0.2131	0.2619	0.2824	0.2525
0.6	0.4	0.6	0.3571	0.3064	0.3408	0.3348
0.8	0.2	0.8	0.4459	0.4462	0.4548	0.4490
1	0	1.0	0.5262	0.5737	0.5751	0.5583



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกราฟสารละลายกลูโคสมาตรฐาน (DNS) ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.4.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใน KGMH 7 % และ KGMH 10% ด้วยวิธี DNS (เจือจาง 1:100)

นาทีที่	ค่าการดูดกลืนแสง (540 นาโนเมตร)	
	KGMH 7 %	KGMH 10 %
30	0.1455	0.2457
60	0.1202	0.2673
90	0.1291	0.2414
120	0.1299	0.2637
150	0.1485	0.2743
180	0.1746	0.2982
210	0.1428	0.2788
240	0.1533	0.2531

คำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใน KGMH 7% และ KGMH 10% ด้วยวิธี DNS

นาทีที่ 30 ตัวอย่างที่เจือจาง 1:100 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยเท่ากับ 0.1455

สมการจากกราฟ $y = 0.5402x$

จะได้ $0.1455 = 0.5402x$

$x = 0.2693 \times 100$ (เจือจาง 100 เท่า)

$x = 26.93$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

หรือ $x = 0.0269$ กรัมต่อมิลลิลิตร

แสดงว่า ใน KGMH 7% 1mL มีน้ำตาลทั้งหมด 0.0269 g

ถ้ามี KGMH 7% 1000 mL มีน้ำตาลทั้งหมด 26.93 g

$$\text{เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์} = \frac{26.93}{100} = 0.2693 \%$$

ตาราง ค.5 ความหนืดของ KGMH 7% และ KGMH 10% ที่เวลา 0 นาทีถึง 240 นาที

Minutes	Viscosity (cP)	
	KGMH 7%	KGMH 10%
30	116.4±0.0058 ^a	200.4±0.0058 ^a
60	196.6±0.0058 ^b	641.1±0.0058 ^b
90	317.2±0.0058 ^c	679.9±0.0058 ^c
120	365.5±0.0058 ^d	930.3±0.0058 ^d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

150	390.4±0.0058 ^e	1025.0±0.0058 ^e
180	567.9±0.0058 ^f	1284.0±0.0058 ^f
210	731.0±0.0058 ^g	1720.0±0.0058 ^g
240	1276.0±0.0058 ^h	3215.0±0.0058 ^h

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ค.5.1 ความหนืดของ KGMH 7% และ KGMH 10%

Minutes	Viscosity (cP)	
	KGMH 7%	KGMH 10%
30	116.4±1.0328 ^a	200.4±1.1747 ^b
60	196.6±2.6621 ^a	641.1±3.9884 ^b
90	317.2±1.3642 ^a	679.9±0.8874 ^b
120	365.5±0.6151 ^a	930.3±0.8767 ^b
150	390.4±1.4178 ^a	1025.0±1.0228 ^b
180	567.9±2.8456 ^a	1284.0±638.1720 ^a
210	731.0±0.7666 ^a	1720.0±0.5926 ^b
240	1276.0±0.3173 ^a	3215.0±113.3851 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ค.6 ค่าความสว่าง (L*) ของ KGMH 7% และ KGMH 10% ที่เวลา 0 นาทีถึง 240 นาที

Minutes	ค่าความสว่าง (L*)	
	KGMH 7%	KGMH 10%
30	56.83±0.0116 ^h	48.87±0.0116 ^h
60	51.14±0.0058 ^g	44.5±0.0058 ^g
90	49.3±0.0058 ^e	42.69±0.0058 ^f
120	46.93±0.0100 ^c	36.82±0.0100 ^b
150	47.46±0.0100 ^d	40.21±0.0100 ^e
180	44.29±0.0100 ^b	34.7±0.0100 ^a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

210	50.33±0.0116 ^f	38.47±0.0116 ^d
240	43.91±0.0100 ^a	36.97±0.0100 ^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ค.6.1 ค่าความสว่าง (L*) ของ KGMH 7% และ KGMH 10% ที่เวลา 0 นาทีถึง 240 นาที

Minutes	ค่าความสว่าง (L*)	
	KGMH 7%	KGMH 10%
30	56.83±0.0115 ^a	48.87±0.0058 ^b
60	51.14±0.0058 ^a	44.5±0.0153 ^b
90	49.3±0.0058 ^a	42.69±0.0100 ^b
120	46.93±0.0100 ^a	36.82±0.0265 ^b
150	47.46±0.0100 ^a	40.21±0.0115 ^b
180	44.29±0.0100 ^a	34.7±0.0058 ^b
210	50.33±0.0115 ^a	38.47±0.0208 ^b
240	43.91±0.0100 ^a	36.97±0.0173 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ค.7 ค่าสีแดง (a*) ของ KGMH 7% และ KGMH 10% ที่เวลา 0 นาทีถึง 240 นาที

Minutes	ค่าสีแดง (a*)	
	KGMH 7%	KGMH 10%
30	2.89±0.0322 ^e	2.74±0.0208 ^e
60	2.52±0.0208 ^{bc}	2.65±0.0306 ^d
90	2.55±0.0265 ^c	2.86±0.0252 ^f
120	2.35±0.0529 ^a	1.53±0.0608 ^a
150	2.61±0.0153 ^d	2.55±0.0116 ^c
180	2.31±0.0100 ^a	2.24±0.0058 ^b
210	3.01±0.0265 ^f	2.72±0.0802 ^e
240	2.48±0.0404 ^b	3.09±0.0252 ^g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ค.7.1 ค่าสีแดง (a*) ของ KGMH 7% และ KGMH 10% ที่เวลา 0 นาทีถึง 240 นาที

Minutes	ค่าสีแดง (a*)	
	KGMH 7%	KGMH 10%
30	2.89±0.0321 ^a	2.74±0.0208 ^b
60	2.52±0.0208 ^a	2.65±0.0306 ^b
90	2.55±0.0265 ^a	2.86±0.0252 ^b
120	2.35±0.0529 ^a	1.53±0.0608 ^b
150	2.61±0.0153 ^a	2.55±0.0115 ^b
180	2.31±0.0100 ^a	2.24±0.0058 ^b
210	3.01±0.0265 ^a	2.72d±0.0802 ^b
240	2.48±0.0404 ^a	3.09±0.0252 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ค.8 ค่าสีเหลือง (b*) ของ KGMH 7% และ KGMH 10% ที่เวลา 0 นาทีถึง 240 นาที

Minutes	ค่าสีเหลือง (b*)	
	KGMH 7%	KGMH 10%
30	12.77±0.0173 ^d	13.88±0.0473 ^c
60	11.94±0.0569 ^a	13.27±0.1079 ^{bc}
90	12.28±0.0265 ^b	13.98±0.0500 ^{cd}
120	11.9±0.0473 ^a	12.41±0.0351 ^a
150	12.56±0.0586 ^c	13.34±0.0351 ^c
180	12.28±0.0265 ^b	12.58±0.0611 ^{ab}
210	14.07±0.0551 ^e	13.6±1.1202 ^c
240	12.73±0.0529 ^d	14.66±0.0700 ^d

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.8.1 ค่าสีเหลือง (b*) ของ KGMH 7% และ KGMH 10% ที่เวลา 0 นาทีถึง 240 นาที

Minutes	ค่าสีเหลือง (b*)	
	KGMH 7%	KGMH 10%
30	12.77±0.0173 ^a	13.88±0.0473 ^b
60	11.94±0.0569 ^a	13.27±0.1079 ^b
90	12.28±0.0265 ^a	13.98±0.0500 ^b
120	11.9±0.0473 ^a	12.41±0.0351 ^b
150	12.56±0.0586 ^a	13.34±0.0351 ^b
180	12.28±0.0265 ^a	12.58±0.0611 ^b
210	14.07±0.0550 ^a	13.6±1.1202 ^a
240	12.73±0.0529 ^a	14.66±0.0700 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ค.9 เปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ใน KGMH 7 % และ KGMH 10% ด้วยวิธี DNS

Minutes	Percent reducing sugar (%)	
	KGMH 7%	KGMH 10%
30	2.69±0.0037 ^c	4.55±0.0070 ^a
60	2.23±0.0021 ^a	4.95±0.0060 ^{cd}
90	2.39±0.0046 ^b	4.47±0.0021 ^a
120	2.4±0.0045 ^b	4.88±0.0021 ^{bc}
150	2.75±0.0049 ^{cd}	5.08±0.0165 ^{cd}
180	3.23±0.0039 ^e	5.52±0.0020 ^e
210	2.64±0.0013 ^c	5.16±0.0013 ^d
240	2.84±0.0039 ^d	4.69±0.0101 ^{ab}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 9.1 เปอร์เซ็นน้ำตาลรีดิวซ์ใน KGMH 7 % และ KGMH 10% ด้วยวิธี DNS

Minutes	Percent reducing sugar (%)	
	KGMH 7%	KGMH 10%
30	2.69±0.0037 ^a	4.55±0.0070 ^b
60	2.23±0.0021 ^a	4.95±0.0012 ^b
90	2.39±0.0046 ^a	4.47±0.0021 ^b
120	2.4±0.0045 ^a	4.88±0.0031 ^b
150	2.75±0.0049 ^a	5.08±0.0165 ^b
180	3.23±0.0039 ^a	5.52±0.0020 ^b
210	2.64±0.0038 ^a	5.16±0.0013 ^b
240	2.84±0.0039 ^a	4.69±0.0101 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง ค.10 ความสามารถในการเจริญของ *Lactobacillus casei* ชั่วโมงที่ 0 นาทีถึง 240 นาที (เจือจาง 1:10)

ตาราง ค.10.1 ใช้ KGMH 7% และ KGMH 10% ในการใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ *Lactobacillus casei*

ตัวอย่าง	<i>Lactobacillus casei</i>		
	0 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	ผลต่าง
KGMH 7% 30 นาที	0.4032±0.0050 ^b	0.4247±0.0012 ^b	0.0214±0.0048 ^a
KGMH 7% 120 นาที	0.4100±0.0073 ^b	0.4260±0.0053 ^b	0.0160±0.0088 ^{ab}
KGMH 7% 180 นาที	0.4311±0.0144 ^c	0.4492±0.0119 ^c	0.0181±0.0168 ^a
KGMH 10% 120 นาที	0.4883±0.0083 ^d	0.5044±0.0152 ^d	0.0161±0.0211 ^{ab}
KGMH 10% 180 นาที	0.5012±0.0057 ^d	0.5208±0.0168 ^d	0.0196±0.0137 ^a
กลูโคส 1%	0.5247±0.0197 ^e	0.5530±0.0134 ^e	0.0282±0.0251 ^a
KGM 1%	0.3694±0.0036 ^a	0.3760±0.0105 ^a	0.0066±0.0095 ^{ab}
XOS 1%	0.4322±0.0030 ^c	0.4404±0.0041 ^{bc}	0.0082±0.0071 ^{ab}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.10.2 ใช้ KGMH 7% และ KGMH 10% ในการใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ *Escherichia coli*

ตัวอย่าง	<i>Escherichia coli</i>		
	0 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	ผลต่าง
KGMH 7% 30 นาที	0.2036±0.0050 ^{cd}	0.2199±0.0032 ^{cd}	0.0163±0.0036 ^b
KGMH 7% 120 นาที	0.1490±0.0051 ^a	0.1561±0.0012 ^a	0.0071±0.0050 ^{ab}
KGMH 7% 180 นาที	0.1924±0.0054 ^c	0.2108±0.0090 ^c	0.0184±0.0055 ^b
KGMH 10% 120 นาที	0.2199±0.0126 ^e	0.2292±0.0050 ^d	0.0093±0.0082 ^{ab}
KGMH 10% 180 นาที	0.2102±0.0080 ^{de}	0.2226±0.0068 ^d	0.0124±0.0147 ^{ab}
กลูโคส 1%	0.1763±0.0056 ^b	0.1774±0.0080 ^b	0.0011±0.0025 ^a
KGM 1%	0.2679±0.0057 ^f	0.2879±0.0058 ^e	0.0200±0.0001 ^b
XOS 1%	0.1761±0.0098 ^b	0.1828±0.0034 ^b	0.0067±0.0115 ^{ab}

หมายเหตุ : ตัวอักษรในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวณิชน พิสณุพงศ์
วัน เดือน ปี เกิด	13 กรกฎาคม 2540
ประวัติการศึกษา	- ปีการศึกษา 2559 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนโยธินบูรณะ กรุงเทพมหานคร แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ - ปีการศึกษา 2563 ปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาเทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	มิถุนายน 2562 บริษัทสยามไวเนอรี่ จำกัด (นักศึกษาฝึกงาน)
และผลงานวิจัย	การพัฒนาบุกโฮโดรไลเซทปิดส์ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก ด้วยเทคนิคสเฟียริฟิเคชัน
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวปิยารมณี เตยอ่อน
วัน เดือน ปี เกิด	30 ตุลาคม 2540
ประวัติการศึกษา	- ปีการศึกษา 2559 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมวกเหล็ก วิทยา แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ - ปีการศึกษา 2563 ปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาเทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	มิถุนายน 2562 บริษัทสยามไวเนอรี่ จำกัด (นักศึกษาฝึกงาน)
และผลงานวิจัย	การพัฒนาบุกโฮโดรไลเซทปิดส์ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก ด้วยเทคนิคสเฟียริฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้