

การศึกษาคุณสมบัติการเป็นฟรีไบโอติกของข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมืองไทย
เพื่อการผลิตไอศกรีมชีนไบโอติก

เมตตา เถาว์ชาลี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
พฤษภาคม 2557
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

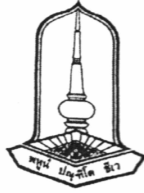


การศึกษาคุณสมบัติการเป็นฟรีไบโอติกของข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมืองไทย
เพื่อการผลิตไอศกรีมซินไบโอติก

เมตตา เถาว์ชาลี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
พฤษภาคม 2557
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางเมตตา เถาว์ชาลี
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(อาจารย์ ดร.สุจิตรา มณีรัตน์)

ประธานกรรมการ
(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

.....
(ผศ.ดร.ปริยาภรณ์ อิศรานุกวัฒน์)

กรรมการ
(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)

.....
(อาจารย์ ดร.อัศวิน อมรสิน)

กรรมการ
(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)

.....
(ผศ.ดร.ปิยะวรรณ กาสลัก)

กรรมการ
(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีได้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ.ดร.อนุชิตา มุ่งงาม)
คณบดีคณะเทคโนโลยี

.....
(ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดทูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ 26 เดือน พ.ย. พ.ศ. 2557



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาภรณ์ อิศรานุวัฒน์ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.อัศวิน อมรสิน กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.สุจิตรา มณีรัตน์ ประธานกรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ กาสลัก ผู้ทรงคุณวุฒิ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุก ๆ ท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ ด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำการทดลองและคอยให้คำปรึกษาในหลาย ๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือผู้วิจัยตลอดมา

ขอบคุณน้อง ๆ คณะเทคโนโลยีชีวภาพทุกคนที่คอยให้คำปรึกษาช่วยเหลือ และให้กำลังใจ ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและคุณประโยชน์อันใด จากการวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบคุณความดีทุกประการแด่บูรพา-อาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

เมตตา เถาว์ชาลี



ชื่อเรื่อง	การศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมืองไทย เพื่อการผลิตไอศกรีมซินไบโอติก
ผู้วิจัย	นางเมตตา เถาว์ชาลี
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ
กรรมการควบคุม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาภรณ์ อิศรานุวัฒน์ อาจารย์ ดร.อัศวิน อมรสิน
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2557

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี คุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติก และการนำมาผลิตไอศกรีมซินไบโอติก ของข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมืองไทย จำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 หอมมะลิแดง หอมมะลิดำ กล่ำเปลือกขาว กล่ำเปลือกดำ และนางนวล ทำการงอกใน สภาวะห้องมืด อุณหภูมิ $30 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 95-97% แสงน้ำประปา 10 h (0 h) ระยะเวลาการงอก 0, 12, 24 และ 36 h พบว่าข้าวมีอัตราการงอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง 80.00 ± 1.00 - $91.00 \pm 4.00\%$ คุณภาพการขัดสีของข้าวกล้องงอก ระหว่าง 58.89 ± 1.70 - $71.44 \pm 0.50\%$ องค์ประกอบทางเคมีของข้าว หลังทำให้แห้งที่ 45°C นาน 48 h พบว่า ความชื้น โปรตีนหยาบ ไขมันหยาบ เถ้า และเส้นใยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ความชื้น ระหว่าง 4.68 ± 0.23 - $5.40 \pm 0.54\%$ โปรตีนหยาบ ระหว่าง 9.68 ± 0.02 - 13.54 ± 0.00 g ไขมันหยาบ ระหว่าง 4.13 ± 0.09 - 5.79 ± 0.02 g เถ้า ระหว่าง 1.10 ± 0.08 - 1.66 ± 0.01 g เส้นใย ระหว่าง 2.79 ± 0.05 - 5.74 ± 0.07 g และเปอร์เซ็นต์ผลที่ได้ของสารสกัด ระหว่าง 9.87 ± 0.06 - 15.62 ± 0.07 g จากการศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกของข้าวกล้องงอก เพื่อส่งเสริมการเจริญของโพรไบโอติกทั้งสองชนิด ได้แก่ *Lactobacillus acidophilus* LA-5 และ *Bifidobacterium lactis* BL-04 โดยเติม 2% สารสกัดหยาบของข้าวในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ส่วนในตัวอย่างควบคุม เติมกลูโคสปริมาณ 2% แทนสารสกัดหยาบของข้าว พบว่าตัวอย่างที่ใช้เชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ค่า pH ต่ำสุด พบใน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (4.82 ± 0.01) และสูงสุด คือ กล่ำเปลือกดำ (5.30 ± 0.05) แต่สูงกว่าตัวอย่างควบคุม (4.54 ± 0.09) และการหมักด้วย *B. lactis* BL-04 ค่า pH ต่ำสุด พบใน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (5.39 ± 0.01) สูงสุด คือ นางนวล (5.62 ± 0.01) แต่สูงกว่าตัวอย่างควบคุม (4.83 ± 0.01) สำหรับข้าวอกที่มีค่า Prebiotic Index (PI) สูงสุดคือข้าวขาวดอกมะลิ 105 (PI = 1.02, 0.42) เมื่อทดสอบกับ *L. acidophilus* LA-5 และ *B. lactis* BL-04 ตามลำดับ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีสารที่มีคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกสูงกว่าข้าวทุกสายพันธุ์ ซึ่งส่งเสริมการเจริญของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 อย่างเจาะจง มากกว่า *B. lactis* BL-04 ดังนั้นจึงนำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตไอศกรีมซินไบโอติก โดยทดแทนแป้งข้าวโพดดังนี้ สูตร 00 (0% ผงแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105: 4% ผงแป้งข้าวโพด) สูตร 20 (2% ผงแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105: 2% ผงแป้งข้าวโพด) สูตร 30 (3% ผงแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105: 1% ผงแป้งข้าวโพด) และสูตร 40 (4% ผงแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105: 0% ผงแป้งข้าวโพด) เติมโพรไบโอติกในรูปของนมหมัก



เชื้อเริ่มต้น มีจำนวน ประมาณ 10^{10} cfumL⁻¹ หลังการผลิต เก็บรักษาไอศกรีมที่ -20 °C นาน 30 วัน พบว่า การรอดชีวิตของ *L. acidophilus* LA-5 มีแนวโน้มลดลงตลอดการเก็บรักษา สูตร 20 มีการรอดชีวิต 4.65×10^6 cfug⁻¹ และสูตร 00 มีค่าเท่ากับ 9.45×10^7 cfug⁻¹ ตามลำดับ ขณะที่สูตร 40 (2.05×10^3 cfug⁻¹) และ 30 (1.85×10^3 cfug⁻¹) มีการรอดชีวิตน้อยกว่ามาตรฐาน กำหนด และการประเมินความชอบด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 7-point hedonic scale ต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซินไบโอติก พบว่า คะแนนด้านกลิ่นและความหนืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่คะแนนสี ความนุ่ม การละลายในปาก และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระหว่าง สูตร 00 (4.64 ± 1.22) สูตร 40, 30 และ 20 (5.84 ± 0.75 , 5.60 ± 1.04 , 5.72 ± 1.24) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม สูตร 20 เหมาะสมกับการผลิตไอศกรีมซินไบโอติก เนื่องจากมีการรอดชีวิตของโพรไบโอติกแบคทีเรียและการประเมินความชอบอยู่ในระดับที่ดี ดังนั้นข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 จึงมีศักยภาพเป็นพรีไบโอติกเพื่อการผลิตไอศกรีมซินไบโอติก

คำสำคัญ : ข้าวกล้องงอก, พรีไบโอติก, โพรไบโอติก, ไอศกรีมซินไบโอติก



TITLE Prebiotic Properties of Traditional Thai Germinated Brown Rice for Synbiotic Ice-cream Production

AUTHOR Mrs. Metta Thaochalee

DEGREE Doctor of Philosophy (Ph.D.) **MAJOR** Biotechnology

ADVISORS Asst. Prof. Pariyaporn Isaranuvat, Ph.D.
Aswin Amonsin, Ph.D.

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2014

ABSTRACT

The objectives of this research were to study the physico-chemical and prebiotic properties of germinated brown rice of 6 traditional Thai strains including KDML 105, Hom MaLi Dang, Hom MaLi Dum, Kam Phuak Dawk, Kam Phuak Dam and Nang Nuan. The potential strain was then used as raw material to produce synbiotic ice cream. The germination condition was at $30\pm0.5^{\circ}\text{C}$, in dark room, and 95% relative humidity. The experiment was conducted with the variation of incubated times (0, 12, 24 and 36h). The result demonstrated that the rate of germinated hull rice different significantly ($p<0.05$) between 80.00 ± 1.00 - $91.00\pm4.00\%$, rate of milling rice quality between 58.89 ± 1.70 - $71.44\pm0.50\%$. Chemical composition of rice after drying at 45°C for 48 hrs was further investigated. It found that moisture content, crude protein, crude fat, ash, and dietary fiber were different significantly ($p<0.05$). The moisture contents were about 4.68 ± 0.23 - $5.40\pm0.54\%$, crude protein = 9.68 ± 0.02 - 13.54 ± 0.00 g, crude fat = 4.13 ± 0.09 - 5.79 ± 0.02 g, ash = 1.10 ± 0.08 - 1.66 ± 0.01 g, dietary fiber = 2.79 ± 0.05 - 5.74 ± 0.07 g, and % yield of crude extracts = 9.87 ± 0.06 - 15.62 ± 0.07 g, respectively. Prebiotic properties of rice were demonstrated by their abilities to stimulate the growth of 2 probiotic bacteria namely *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium lactis* BL-04. The germinated rice extract was supplemented in MRS broth at 2% instead of 2% glucose which was used as Control. Among the samples cultured with *L. acidophilus* LA-5, the lowest pH was found in KDML 105, at 4.82 ± 0.01 and the highest was Kam Phuak Dam, at 5.30 ± 0.05 , but higher than that in Control (4.54 ± 0.01). In the samples fermented with *B. lactis* BL-04, the lowest pH was noticed in KDML 105 (5.39) and the highest was Nang Nuan (5.62), and higher than Control (4.83). The highest Prebiotic Index (PI) was found in KDML 105 rice (PI = 1.02, 0.42) when studied with *L. acidophilus* LA-5 and *B. lactis* BL-04,



respectively. KDML 105 had bioactive compound to support prebiotic properties more than other rice stains, and stimulated the growth of *L. acidophilus* LA-5 more specific than *B. lactis* BL-04. Then, KDML 105 flour was applied as raw material for synbiotic ice cream production which the following formulas, formula 00 (0% KDML 105 flour : 4% corn flour), formula 20 (2% KDML 105 flour : 2% corn flour) formula 00), formula 30 (3% KDML 105 flour : 1% corn flour), and formula 40 (4% KDML 105 flour : 0% corn flour). Probiotic bacteria was used in the form of fermented milk with the amount of cells around 10^{10} cfumL⁻¹. The survival of *L. acidophilus* LA-5 in synbiotic ice cream was investigated after stored at -20 °C for 30 days. The counts of bacteria tended to decrease continuously during storage, for example at 4.65×10^6 cfu g⁻¹ for formula 20 and 9.45×10^7 cfu g⁻¹ for formula 00, while formula 40 (2.05×10^3 cfug⁻¹) and 30 (1.85×10^3 cfug⁻¹) had the lower survival rate than recommended standard. Sensory evaluation of synbiotic ice-cream was carried out using 7-point hedonic scale test. It found that odour, and viscosity were not significant different ($p > 0.05$) but colour, smoothness, solubility in mouth and overall acceptability were different significantly ($p < 0.05$) among formula 00 (4.64 ± 1.22) and formula 40, 30, 20, (5.84 ± 0.75 , 5.60 ± 1.04 , 5.72 ± 1.24), respectively. Formula 20 was the most suitable one to produced synbiotic ice-cream, because it showed the highest survival rate of probiotic and provided a good sensory evaluation. In conclusion, germinated brown KDML 105 rice had a good potential prebiotic properties to produce synbiotic ice-cream.

Key words : germinated brown rice, prebiotic, probiotic ice-cream



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญตาราง	ช
บัญชีภาพประกอบ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ความสำคัญของการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล	6
2.1 ความรู้เกี่ยวกับข้าว	6
2.2 ข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ	7
2.3 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว	9
2.4 ข้าวกล้องงอก (germinated brown rice)	13
2.5 อาหารเพื่อสุขภาพ (functional food)	13
2.6 พรีไบโอติก (prebiotic)	15
2.7 แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch)	19
2.8 โพรไบโอติก (probiotic)	22
2.9 ซินไบโอติก (synbiotic)	27
2.10 ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม	28
2.11 ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	32
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	41
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เชื้อจุลินทรีย์ และวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือในการวิจัย	41
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	42
3.3 แผนการทดลอง	51
3.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	52
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	53
4.1 ผลการศึกษาสภาวะการงอกและคุณสมบัติต่างๆ	53
4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกของข้าว 6 สายพันธุ์	61



	หน้า
4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกของข้าว	69
4.4 ผลการผลิตภัณฑ์ไอศกรีมชินไบโอติก	92
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	101
5.1 การศึกษาสภาวะการงอกและคุณสมบัติต่าง ๆ	101
5.2 การทดสอบประสิทธิภาพคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกของข้าว	103
5.3 ผลผลิตภัณฑ์ไอศกรีมชินไบโอติก	106
เอกสารอ้างอิง	110
ภาคผนวก	126
ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมี และการวิเคราะห์ทางเคมี	127
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	130
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ด้วยวิธี total sugar assay และน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีของ Somogi-Nelson	133
ภาคผนวก ง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	136
ประวัติย่อผู้วิจัย	138



สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง	2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	13
ตาราง	2.2 องค์ประกอบของ Isomalto-oligosaccharids	17
ตาราง	2.3 ตัวอย่างของแลคติกแบคทีเรียที่ใช้เป็นโพรไบโอติก สำหรับการบริโภคของมนุษย์	24
ตาราง	2.4 แสดงการแบ่งกลุ่มของ <i>Lactobacillus</i> ตามชนิดของผลผลิต และอุณหภูมิที่เหมาะสม	25
ตาราง	2.5 ส่วนประกอบทางเคมี (กรัมต่อ 100 กรัม) ของไอศกรีมมิกซ์	31
ตาราง	2.6 ค่า a_w ที่น้อยที่สุด ซึ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่พบในอาหาร	33
ตาราง	2.7 อุณหภูมิต่ำสุดซึ่งเชื้อที่ทำให้เกิดโรคซึ่งอาศัยอยู่ในอาหาร ต้องการในการเจริญเติบโต	34
ตาราง	2.8 ค่าประมาณของเวลาที่ใช้ในการแบ่งตัวของแบคทีเรียที่ชอบความเย็น	34
ตาราง	2.9 ปริมาณของเชื้อที่ทำให้เกิดโรคในลำไส้ใหญ่	35
ตาราง	2.10 ค่า pH ต่ำสุดที่แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคบางตัวเจริญได้	36
ตาราง	2.11 การเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น	36
ตาราง	3.1 สูตรในการผลิตไอศกรีมซินไบโอติก ศึกษาจากสูตรมาตรฐาน 4 สูตร	49
ตาราง	4.1 ผลการทดสอบทางกายภาพของข้าวเปลือก 6 สายพันธุ์ ที่ระยะเวลาการงอกต่างกัน	54
ตาราง	4.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว (คิดต่อ 100 g น้ำหนักแห้ง)	57
ตาราง	4.3 เปอร์เซ็นต์ผลที่ได้ของสารสกัดที่ละลายน้ำได้ จากข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก 6 สายพันธุ์	60
ตาราง	4.4 ปริมาณแป้งทั้งหมด (total starch) ของข้าว 6 สายพันธุ์	62
ตาราง	4.5 ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch content) ของข้าว 6 สายพันธุ์	62
ตาราง	4.6 ปริมาณแป้งที่ย่อยได้ทั้งหมด (digestion starch content) ของข้าว 6 สายพันธุ์	63
ตาราง	4.7 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) ของข้าว 6 สายพันธุ์	64
ตาราง	4.8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ของข้าว 6 สายพันธุ์	65
ตาราง	4.9 ปริมาณสารสกัดหยาบพรีไบโอติก (crude prebiotic) ของข้าว 6 สายพันธุ์	65
ตาราง	4.10 ชนิดและปริมาณน้ำตาลของสารสกัดข้าวเจ้า สภาวะการสกัด ที่ 40 °C นาน 30 min 50 °C นาน 30 min 60 °C นาน 60 min และ 80 °C นาน 15 min	67



ตาราง	4.11	ชนิดและปริมาณน้ำตาลของสารสกัดข้าวเหนียว สภาวะการสกัด ที่ 40 °C นาน 30 min 50 °C นาน 30 min 60 °C นาน 60 min และ 80 °C นาน 15 min	68
ตาราง	4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OD กับ เวลา (h) ของเชื้อ <i>L. acidophilus</i> LA-5 ที่เจริญในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดข้าว 2%	72
ตาราง	4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ เวลา (h) ของเชื้อ <i>L. acidophilus</i> LA-5 ที่เจริญในอาหาร MRS ที่สารสกัดข้าว 2%	73
ตาราง	4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OD กับ เวลา (h) ของเชื้อ <i>L. acidophilus</i> LA-5 ที่เจริญในอาหาร MRS ที่เติมสารสกัดข้าว 2%	74
ตาราง	4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ เวลา (h) ของเชื้อแบคทีเรีย <i>B. lactis</i> BL-04 ที่เจริญในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดข้าว 2%	75
ตาราง	4.16	ผลการคำนวณความสามารถของการเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic Activity Index) ของเชื้อ <i>L. acidophilus</i> LA-5 และ <i>B. Lactis</i> BL-04	76
ตาราง	4.17	การเจริญเชื้อ <i>L. acidophilus</i> LA-5 และ <i>B. lactis</i> BL-04 ใน MRS เติม 2% สารสกัดหยาบจากข้าว และใช้กลูโคส เป็นตัวอย่างควบคุม และการเจริญของเชื้อ <i>E. coli</i> ใน NB เติม 2% สารสกัดหยาบจากข้าว และใช้กลูโคส เป็นตัวอย่างควบคุม	78
ตาราง	4.18	ปริมาณกรดไขมันสายสั้นของเชื้อ <i>L. acidophilus</i> LA-5 ที่ผลิตได้ เมื่อเจริญในอาหาร MRS การเติม 2% สารสกัดหยาบจากข้าว 6 สายพันธุ์ และใช้กลูโคสเป็นตัวอย่างควบคุม	81
ตาราง	4.19	ปริมาณกรดไขมันสายสั้นของเชื้อ <i>B. lactis</i> BL-04 ที่ผลิตได้ เมื่อเจริญในอาหาร MRS เติม 2% สารสกัดหยาบจากข้าว 6 สายพันธุ์ และใช้กลูโคสเป็นตัวอย่างควบคุม	84
ตาราง	4.20	ชนิดและปริมาณน้ำตาลของข้าวเจ้าต่อเชื้อ <i>L. acidophilus</i> LA-5 เมื่อเจริญในอาหาร MRS เติม 2% สารสกัดหยาบจากข้าวเจ้า และใช้กลูโคสเป็นตัวอย่างควบคุม	88
ตาราง	4.21	ชนิดและปริมาณน้ำตาลของข้าวเหนียวต่อเชื้อ <i>L. acidophilus</i> LA-5 เมื่อเจริญในอาหาร MRS เติม 2% สารสกัดหยาบจากข้าวเหนียว และใช้กลูโคสเป็นตัวอย่างควบคุม ตาราง 4.22 ชนิดและปริมาณ น้ำตาลของข้าวเจ้าต่อเชื้อ <i>B. lactis</i> BL-04 เมื่อเจริญในอาหาร MRS เติม 2% สารสกัดหยาบจากข้าวเจ้า และใช้กลูโคสเป็นตัวอย่างควบคุม	89



ตาราง	4.22	ชนิดและปริมาณน้ำตาลของข้าวเหนียวต่อเชื้อ <i>B. lactis</i> BL-04 เมื่อเจริญในอาหาร MRS เต็ม 2% สารสกัดหยาบจากข้าวเจ้า และใช้กลูโคส เป็นตัวอย่างควบคุม	90
ตาราง	4.23	ชนิดและปริมาณน้ำตาลของข้าวเหนียวต่อเชื้อ <i>B. lactis</i> BL-04 เมื่อเจริญในอาหาร MRS เต็ม 2% สารสกัดหยาบจากข้าวเหนียว และใช้กลูโคส เป็นตัวอย่างควบคุม	91
ตาราง	4.24	ผลการวิเคราะห์อัตราการละลายและเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีมชินไปดิก	94
ตาราง	4.25	ผลการวิเคราะห์ความหนืดของไอศกรีมชินไปโอติกต่อระยะเวลาการเก็บรักษา -20 °C นาน 1-30 วัน ความเร็ว (60 rpm)	94
ตาราง	4.26	ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของไอศกรีมชินไปโอติกต่อระยะเวลาการเก็บรักษา -20 °C นาน 30 วัน	95
ตาราง	4.27	การประเมินความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมชินไปโอติก	100



สารบัญภาพประกอบ

		หน้า
ภาพประกอบ	2.1 ข้าวอินดิกา	6
ภาพประกอบ	2.2 ข้าวจาปอนิกา	7
ภาพประกอบ	2.3 หอมมะลิแดง	7
ภาพประกอบ	2.4 หอมมะลิดำ	8
ภาพประกอบ	2.5 ขาวดอกมะลิ 105	8
ภาพประกอบ	2.6 เหนียวดำ ใบดำ	8
ภาพประกอบ	2.7 เหนียวดำ ใบเขียว	9
ภาพประกอบ	2.8 นางนวล	9
ภาพประกอบ	2.9 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	10
ภาพประกอบ	2.10 อะไมโลส	12
ภาพประกอบ	2.11 อะไมโลเพคติน	12
ภาพประกอบ	2.12 โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 1 (RS1)	19
ภาพประกอบ	2.13 โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 2 (RS2)	20
ภาพประกอบ	2.14 การต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของ double helices บริเวณโครงสร้างผลึก (C) ของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลาย ด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 3 (RS3)	20
ภาพประกอบ	2.15 ไดสตาร์ชฟอสเฟตเอสเทอร์	21
ภาพประกอบ	2.16 การจัดเรียงตัวของผลึกน้ำแข็งและอากาศในไอศกรีม	30
ภาพประกอบ	2.17 โครงสร้างทางกายภาพของไอศกรีม	31
ภาพประกอบ	4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด กับระยะเวลาการเก็บรักษา ของไอศกรีมซินไบโอติก เก็บที่ -20 °C นาน 30 วัน	96
ภาพประกอบ	4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการรอดชีวิตของเชื้อ <i>L. acidophilus</i> LA-5 กับระยะเวลาการเก็บรักษาไอศกรีมซินไบโอติก เก็บที่ -20 °C นาน 30 วัน	98



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นธัญพืชที่มีใบเลี้ยงเดี่ยวที่อยู่ในตระกูลเดียวกับหญ้าเจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อน (tropical zone) และในเขตอบอุ่น (temperate zone) (จิรวุฒิ เสนาคำ และพรพนา ก้วยเจริญ, 2539) และเป็นอาหารหลักของหลายประเทศในแถบเอเชีย (Benzel, 2001) พันธุ์ที่นิยมปลูกอยู่ในตระกูล *Oryza sativa* Linn. และถูกนำมาบริโภคเป็นอาหารหลักของประชากรมากกว่า ร้อยละ 50 ของประชากรทั่วโลก (Charoenthaikij, 2009) ถ้าจำแนกชนิดของข้าวที่นิยมปลูกเพื่อบริโภคตามชนิดของแป้งในเมล็ด สามารถแบ่งได้ดังนี้ ข้าวเจ้า (non-waxy rice) และข้าวเหนียว (waxy rice) โดยเมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วยแป้ง อะไมโลส ประมาณร้อยละ 15-30 และเมล็ดข้าวเหนียวประกอบด้วยแป้งอะไมโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ ข้าวนอกจากจะอุดมด้วยสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน โยอาหาร ยังมีสารพฤกษเคมี ซึ่งสะสมอยู่ในส่วนของคัพภะ (embryo) หรือ จมูกข้าว (germ) และส่วนของ starchy endosperm (Juliano, 1993; Ohtsubo, 2005; Das, 2008) ทั้งนี้ข้าวขาวที่นิยมบริโภคนั้น มีสารสำคัญปริมาณน้อย แต่ในปัจจุบันกลุ่มผู้รักสุขภาพ ได้ให้ความสนใจที่จะบริโภคข้าวกล้อง ซึ่งเป็นอาหารที่มีคุณสมบัติส่งเสริมสุขภาพกันมากขึ้น โดยข้าวกล้องซึ่งหมายถึง ข้าวที่กะเทาะเปลือกออกแต่ยังไม่ได้ขัดสี จึงยังมีส่วนของจมูกและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวติดอยู่กับเมล็ด ที่ประกอบด้วยสารอาหารมากกว่าข้าวสาร (Champagne, 2004) โดยมีปริมาณโปรตีน 7.1-8.3% ไขมัน 1.6-2.8% โยอาหาร 0.6-1.0%และคาร์โบไฮเดรต 72.9-75.9% (Willis,1982) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวที่มีสี เช่น ข้าวสีแดง สีดำมีคุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระที่ดี เนื่องจากมีสารจับอนุมูลอิสระ เช่น quinolone alkaloid, vitamin E, phytate, γ -oryzanol, polyphenol และ anthocyanin อยู่ในปริมาณสูง เช่น ข้าวสีดำพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณ polyphenolic ถึง 752.1 mg/100 g, anthocyanin 250.36 mg/100 g และ β -carotene 63.3 μ g/100 g ซึ่งพบในส่วนเปลือกหุ้มเมล็ด (อภิชาติ วรรณวิจิตร, 2549) อย่างไรก็ตามได้มีนวัตกรรมที่ช่วยเพิ่มปริมาณสารอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น (Shoichi, 2004) และยังทำให้ข้าวกล้องที่หุงสุกมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม รับประทานง่ายกว่าข้าวกล้องธรรมดา และง่ายต่อการหุงรับประทานโดยไม่ต้องผสมกับข้าวขาวตามความนิยมของผู้บริโภค ซึ่งเรียกว่า ข้าวงอก หรือ ข้าวที่อยู่ในสภาวะที่มีการเจริญเติบโตจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยเริ่มเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว จะกระตุ้นให้เอนไซม์ทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมี จนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง เช่น โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) นอกจากนี้โปรตีนภายในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ รวมทั้งยังพบการสะสมสารสำคัญต่าง ๆ เช่น แกรμμα-ออริซานอล (γ -orazynol) โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และโดยเฉพาะข้าวกล้องงอก จะมีกรดแกรμμα อะมิโนบิวทริก (γ -aminobutyric acid) หรือ ปริมาณ



GABA ในข้าวกล้องงอกมีมากกว่า ข้าวขัดขาวถึง 10 เท่า (Shelp, 1999) นอกจากนี้ในข้าวกล้องงอกจะมีส่วนประกอบของแป้งที่ทนต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ภายในร่างกาย (resistant starch) และน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ (oligosaccharide) ถือเป็นพรีไบโอติก (prebiotics) ซึ่งร่างกายไม่สามารถย่อยหรือดูดซึมได้ แต่จะถูกลำเลียงผ่านระบบย่อยส่อยต่อไปยังลำไส้ใหญ่ และส่งผลต่อการเจริญเติบโต และผลิตสารสำคัญของจุลินทรีย์ในกลุ่มโพรไบโอติก (probiotics) เช่น *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* (Itsaranuwat et al., 2003)

พรีไบโอติก เป็นองค์ประกอบของอาหารที่ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารส่วนบน และสามารถผ่านไปถึงลำไส้ส่วนล่าง ซึ่งมีประโยชน์ต่อเจ้าบ้าน (host) โดยไปกระตุ้นการเจริญเติบโต หรือกิจกรรมของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในลำไส้และมีประโยชน์อย่างจำเพาะและช่วยปรับปรุงสุขภาพของเจ้าบ้าน (Gibson and Roberfroid, 1995) ได้แก่ อินนูลิน ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ไซโลโอลิโกแซคคาไรด์และกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ แต่สำหรับพรีไบโอติกในข้าว ได้แก่ กลุ่มมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ เช่น มอลโตไตรโอส มอลโตเตตราโอส มอลโตเฮปโตส กลุ่มไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ เช่น ไอโซมอลโตเตตราโอส ไอโซมอลโตเฮปโตส (Saman, 2008) และแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch) ได้แก่ เซลลูโลส ส่วนโพรไบโอติก ซึ่งหมายถึง จุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งมีผลต่อสุขภาพของผู้ที่รับประทานเข้าไป โดยช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของจุลินทรีย์ดั้งเดิม (microflora) ที่มีอยู่ในร่างกาย (Gomes and Malcata, 1999) ได้แก่ *Bifidobacterium* spp. และ *Lactobacillus* spp. ซึ่งเป็นที่นิยมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์นมหมัก เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ดั้งเดิมที่มีการใช้มานาน และพบว่ามีความปลอดภัยต่อสุขภาพ และซินไบโอติก (synbiotic) เป็นการรวมกันระหว่าง โพรไบโอติก และ พรีไบโอติก ซึ่งการรวมดังกล่าวต้องช่วยปรับปรุงการรอดชีวิตของแบคทีเรียในระบบลำไส้ส่วนบน (Roberfroid, 2000) นอกจากนี้ยังเป็นการส่งผ่านจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเข้าไปในรูปของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในระบบทางเดินอาหารและลำไส้

ปัจจุบันผู้บริโภคสนใจบริโภคอาหารที่ส่งเสริมสุขภาพมากขึ้น และมีการบริโภคอาหารที่มีส่วนประกอบของโพรไบโอติกและพรีไบโอติกเพิ่มขึ้น เช่น โยเกิร์ต นมเปรี้ยว เป็นต้น รูปแบบของอาหารที่เป็นโพรไบโอติก และซินไบโอติก อาจใช้เชื้อโพรไบโอติกเป็นเชื้อเริ่มต้นในกระบวนการหมัก อย่างไรก็ตามผู้บริโภคบางกลุ่มอาจไม่ชอบรสชาติที่เปรี้ยวของอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก จึงมีการนำเชื้อโพรไบโอติก หรือพรีไบโอติก มาใช้เติมลงในอาหารโดยตรง เพื่อลดข้อจำกัดด้านรสชาติของอาหาร ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมืองไทยชนิดต่าง ๆ และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ซินไบโอติก ในรูปไอศกรีมข้าวกล้องงอกซินไบโอติก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ส่งเสริมสุขภาพไขมันต่ำ เหมาะกับผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและคุณค่าของข้าวไทย และเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพและต้องการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์อีกทางหนึ่ง

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมืองไทยชนิดต่าง ๆ
- 1.2.2 เพื่อผลิตไอศกรีมข้าวกล้องงอกซินไบโอติก



1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 พันธุ์ข้าวและสภาวะการงอกข้าวกล้องที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติก แตกต่างกัน
- 1.3.2 ข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมืองไทย ที่มีคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกแตกต่างกัน
- 1.3.3 ไอศกรีมซินไบโอติกที่ผลิตจากข้าวกล้องงอกที่คัดเลือกตามคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติก มีคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ จุลชีววิทยาที่ดี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

1.4 ความสำคัญของการวิจัย

สร้างองค์ความรู้ด้านคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของข้าวพันธุ์พื้นเมืองไทย ใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงทางวิชาการและสามารถเพิ่มมูลค่าและคุณค่าของข้าวไทย ในการนำมาประยุกต์เพื่อเป็นวัสดุดิบในการผลิตไอศกรีมซินไบโอติก เพื่อเป็นอาหารส่งเสริมสุขภาพและเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคเพิ่มขึ้น

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างสายพันธุ์ข้าวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีจำนวน 6 สายพันธุ์ แบ่งเป็น ข้าวเปลือกเจ้า 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 หอมมะลิแดง และหอมมะลิดำ ข้าวเปลือกเหนียว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ กล้าเปลือกขาว กล้าเปลือกดำ และนางนวล แต่ละสายพันธุ์ปลูกในพื้นที่ 1 ไร่ ในพื้นที่นาชุ่มและการดูแลรักษาตลอดระยะการปลูกโดยระบบเกษตรอินทรีย์ ที่บ้านนาดี ตำบลเหนือ อำเภอมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ แต่ละสายพันธุ์ทำการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย จากจำนวน 30 kg ทำการสุ่มชนิดละ 12 kg ก่อนทำการงอก

ตัวอย่างแบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย และเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก (Lactic Acid Bacteria; LAB) จำนวน 2 สายพันธุ์ คือ *Lactobacillus acidophilus* LA-5 และ *Bifidobacterium lactis* BL-04 เชื้อแบคทีเรียในระบบทางเดินอาหาร กลุ่ม Enterobacteriaceae คือ *Escherichia coli* ได้จากห้องปฏิบัติการของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญญ์ อิศรานวัฒน์ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทำการศึกษาเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1.5.1 การศึกษาสภาวะการงอกที่เหมาะสมได้แก่ สภาวะการงอก การศึกษาเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวกล้องงอก การวัดความชื้นในเมล็ดข้าวและการขัดสีข้าวกล้องงอก

1.5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เกลือ เยื่อใยทั้งหมดและแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ผ่านระบบย่อยเทียม

1.5.3 วิเคราะห์องค์ประกอบของพรีไบโอติกคือ วิเคราะห์หาปริมาณพรีไบโอติกโดยวิธีทางเคมี (crude prebiotic) การวิเคราะห์ปริมาณ resistant component การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาล โดยใช้ HPLC ทดสอบการส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติก 2 สายพันธุ์ โดยวัดค่า OD โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ การลดลงของค่า pH โดยวัดค่า pH



โดยใช้ pH meter) การหาค่า Prebiotic Index (PI) การศึกษาการผลิตกรดไขมันสายสั้น (Short Chain Fatty Acid: SCFA) และ กรดแลคติก (วิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันสายสั้น ได้แก่ อะซิเตต (acetate) โพรพิโอเนต (probionate) และ บิวทีเรต (butyrate) โดยใช้ HPLC) และวิเคราะห์การใช้น้ำตาลของแบคทีเรียโพรไบโอติก

1.5.4 การผลิตไอศกรีมข้าวกล้องงอกขึ้นไบโอติก ทำการผลิตไอศกรีมข้าวกล้องงอกขึ้นไบโอติก โดยคัดเลือกข้าวกล้องงอกที่มีคุณสมบัติที่ดี คือ สามารถส่งเสริมการเจริญของเชื้อโพรไบโอติกได้ดี มีค่า PI สูง และมีความสามารถผลิตกรดไขมันสายสั้นในปริมาณที่สูง มาเป็นส่วนประกอบในสูตร และเติมเชื้อโพรไบโอติก *Bifidobacterium lactis* BL-04 ให้มีความเข้มข้นสุดท้าย เท่ากับ 10^7 หรือ 10^8 CFU/mL (Reque, 2000, Anadon, 2006) หลังการผลิต วิเคราะห์ คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรีย และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้วิธี Hedonic 7 scales test

1.5.5 แผนการทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปและเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล มี ดังนี้

1.5.6.1 สถิติเชิงพรรณนา

สรุปข้อมูลจากการศึกษาเพื่อแสดงลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่

$\bar{X}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ย (Mean)

% หมายถึง ร้อยละ

SD หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

1.5.6.2 สถิติเชิงวิเคราะห์

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ ตามวิธีของ Duncan's Multiple Range Test ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P\text{-value} \leq 0.05$

1.5.7 ระยะเวลาทำการวิจัย ระหว่างเดือนมกราคม 2554 - เดือนมีนาคม 2556

1.5.8 สถานที่ทำวิจัย ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีและศูนย์เครื่องมือกลาง (Central laboratory) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 พรไบโอติก (prebiotics) หมายถึง สารอาหารที่ร่างกายไม่สามารถจะย่อยได้เมื่อผ่านเข้าไปถึงบริเวณลำไส้ใหญ่จะกลายเป็นอาหารของแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสารกลุ่มนี้ ได้แก่ อินนูลิน (inulin) และโอลิโกฟรุคโตส เป็นต้น ดังนั้น พรไบโอติกจึงเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่และเป็นอาหารของแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่

1.6.2 แป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ หรือ รีซิสแทนท์สตาร์ช (resistant starch) หมายถึง แป้งและผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์และไม่สามารถดูดซึมภายในลำไส้เล็กของ



มนุษย์ได้ สามารถส่งผ่านไปยังลำไส้ใหญ่และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ ให้สารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพมนุษย์

1.6.3 โพรไบโอติก (probiotics) หมายถึง แบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพเมื่อรับประทานเข้าสู่ร่างกายแล้ว แบคทีเรียพวกนี้สามารถทนกรด ทนด่างในกระเพาะและลำไส้เล็ก สามารถผ่านไปสู่ลำไส้ใหญ่ได้ ทำให้ประชากรแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่เพิ่มจำนวนขึ้นเป็นประโยชน์ต่อระบบการย่อยอาหารการดูดซึมอาหารและการขับถ่ายทั้งยังช่วยเข้าไปปรับปริมาณของปริมาณของจุลินทรีย์ในร่างกายให้อยู่ในสภาวะที่สมดุล ตัวอย่างของโพรไบโอติก เช่น *Bifidobacterium bifidum*, *Lactobacillus acidophilus*

1.6.4 ซินไบโอติก (synbiotic) หมายถึง การผสมกันระหว่างโพรไบโอติกและพรีไบโอติก และการผสมดังกล่าวต้องช่วยปรับปรุงการรอดชีวิตของแบคทีเรีย ซึ่งอยู่ในระบบกระเพาะลำไส้ส่วนบน และเป็นการส่งผ่านจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเข้าไปในรูปของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในทางเดินอาหารและลำไส้



บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

ข้าวจัดเป็นพืชในตระกูลหญ้าเจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ชาวนาในภูมิภาคเอเชียนิยมปลูกข้าวในตระกูล *Oryza sativa* Linn. มาช้านาน ซึ่งเป็นข้าวเมล็ดยาว ทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวโดยข้าวทั้งสองชนิดนี้มีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินแตกต่างกัน ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสต่างกัน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532) นอกจากนี้ข้าวยังเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญผ่านการกินมากถึง 75% (Juliano, 1990) โดยข้าวเป็นแหล่งโภชนาการที่มีคุณภาพที่ได้รับความสนใจจากผู้บริโภคทั่วโลก (Marshall and Wadsworth, 1994) จากคุณสมบัติด้านโภชนาการและคุณสมบัติการส่งเสริมสุขภาพของข้าว ดังนั้นจึงมีการนำข้าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น เช่น น้ำข้าวกล้องงอก ข้าวกล้องหุงสุก หรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้ข้าวเป็นส่วนประกอบ เช่น ข้าวที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง เป็นต้น

2.1 ความรู้เกี่ยวกับข้าว

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 ให้ความหมายของคำว่า “ข้าว” ไว้ดังนี้คือ “ชื่อไม้ล้มลุกหลายชนิด หลายสกุล ในวงศ์ Gramineae โดยเฉพาะชนิด *Oryza sativa* Linn. ใช้ส่วนเมล็ดเป็นอาหารหลัก มีหลายพันธุ์ได้แก่ ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวเป็นพืชวงศ์หญ้า (family Gramineae) เผ่าพันธุ์ Oryzae พืชเผ่าพันธุ์นี้มีอยู่ประมาณ 25 ชนิด ในจำนวนนี้มีข้าวอยู่สองชนิดที่นำมาปลูกเป็นอาหารแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ข้าว *Oryza sativa* ปลูกในทวีปเอเชียและข้าว *Oryza glaberrima* ปลูกในทวีปแอฟริกา แต่ข้าวที่ค้าขายกันในตลาดโลกเกือบทั้งหมดเป็นข้าวที่ปลูกจากแถบเอเชีย” ซึ่งข้าวชนิดดังกล่าว แบ่งได้ตามแหล่งปลูก ดังนี้ คือ

2.1.1 ข้าวอินดิกา (Indica) มีลักษณะเมล็ดยาวรี ต้นสูง เป็นข้าวที่ปลูกในเอเชียเขตร้อน ตั้งแต่ จีน เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ไทย อินโดนีเซีย อินเดีย และศรีลังกา ข้าวพันธุ์นี้ค้นพบครั้งแรกในอินเดีย และต่อมาได้พัฒนาไปปลูกที่ทวีปอเมริกา



ที่มา : http://www.thairiceexporters.or.th/rice_profile.htm

ภาพประกอบ 2.1 ข้าวอินดิกา



2.1.2 ข้าวจาปอนิกา (Japonica) เป็นข้าวที่ปลูกในเขตอบอุ่น เช่น จีน ญี่ปุ่น เกาหลี มีลักษณะเมล็ดป้อมกลมรี ต้นเตี้ย ให้ผลผลิตสูง



ที่มา : http://www.thairiceexporters.or.th/rice_profile.htm

ภาพประกอบ 2.2 ข้าวจาปอนิกา

2.1.3 ข้าวจาวานิกา (Javanica) ปลูกในอินโดนีเซียและฟิลิปปินส์ มีเมล็ดป้อมใหญ่ แต่ไม่ได้รับความนิยมเพราะให้ผลผลิตต่ำ

สำหรับข้าวที่ปลูกในไทยเป็นพันธุ์ข้าวเมล็ดยาว คือ ข้าวอินดิกา แต่ประกอบด้วยหลายพันธุ์ ทั้งที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ และข้าวพันธุ์พื้นเมือง มีอยู่ประมาณ 3,500 พันธุ์ ซึ่งมีข้าวป่า ข้าวพื้นเมือง และข้าวที่ผสมขึ้นมาใหม่โดยมนุษย์ แต่ข้าวพันธุ์ที่สร้างชื่อเสียงให้กับไทยมากที่สุด คือ ข้าวหอมมะลิ

สำหรับประเทศไทยเป็นแหล่งปลูกข้าวทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมากกว่า 2,000 ปี ซึ่งคนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักและเป็นสินค้าส่งออกอันดับต้นๆ ของประเทศ คาดว่าการผลิตข้าวในปี จะให้ผลผลิตราว 27 ล้านตันในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2555-2556 (สำนักวิจัยและพัฒนา, 2555) ข้าวสายพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดในประเทศคือ ข้าวหอมมะลิ ซึ่งเป็นข้าวประเภทที่มีคุณภาพสูง

2.2 ข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ

2.2.1 หอมมะลิแดง

เป็นข้าวเจ้า นาปี ต้นสูงประมาณ 125 เซนติเมตร ใบสีเขียว แตกกอดี รวงยาว คอ รวงยาว ติดเมล็ดดี เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ข้าวกล้องสีแดง คุณภาพการขัดสีดี คุณภาพการหุงต้ม นุ่ม มีกลิ่นหอมต้านทานโรคและแมลง เหมาะสมกับการผลิตแบบอินทรีย์ เก็บเกี่ยวปลายเดือน พฤศจิกายน

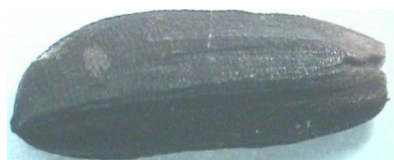


ภาพประกอบ 2.3 หอมมะลิแดง



2.2.2 หอมมะลิดำ

เป็นข้าวเจ้า นาปี ต้นสูง 125 เซนติเมตร แผ่นใบใหญ่ ใบยาวสีเขียวคลุมวชพืชได้ดี เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง ข้าวกล้องสีดำ รูปร่างเรียวยาว การหุงต้ม นุ่ม เหนียว กลิ่นหอมอ่อน สรรพคุณทางยา มีธาตุเหล็กสูง ข้าวกล้องสีดำ ใช้ประโยชน์จากสีดำทำสีผสมอาหารได้ เก็บเกี่ยวปลายเดือนพฤศจิกายน



ภาพประกอบ 2.4 หอมมะลิดำ

2.2.3 ขาวดอกมะลิ 105

เป็นข้าวเจ้า นาปี ต้นสูงประมาณ 140 เซนติเมตร ไวต่อช่วงแสง ลำต้นสีเขียวจากใบสีเขียวยาวค้อยข้างแคบ ฟางอ่อน เมล็ดยาวเรียวยาว มีเปลือกสีฟาง ข้าวกล้องสีน้ำตาลขนาดเฉลี่ยยาว 7.5 กว้าง 2.1 หนา 1.8 เมตรเมตร เก็บเกี่ยวปลายเดือนพฤศจิกายน



ภาพประกอบ 2.5 ขาวดอกมะลิ105

2.2.4 เหนียวดำ ใบดำ

เป็นข้าวเหนียว นาปี ทรงกอตั้ง ลำต้นสีม่วง แผ่นใบสีม่วง สีปล้องเส้นม่วง ต้นสูง 130 เซนติเมตร ลำต้นแข็งปานกลาง รวงยาวประมาณ 26 เซนติเมตร การติดเมล็ดปานกลาง คอรวงยาว เมล็ดข้าวเปลือกสีม่วง-ดำ ข้าวกล้องสีม่วงดำ เมล็ดค่อนข้างป้อม คุณภาพการหุงต้มข้าวสุกนุ่ม เหนียว มีกลิ่นหอมเก็บเกี่ยวเดือนธันวาคม



ภาพประกอบ 2.6 เหนียวดำ ใบดำ



2.2.5 เหนียวดำ ใบเขียว

เป็นข้าวเหนียว นาปี ทรงกอตั้ง ลำต้นสีเขียว แผ่นใบสีเขียวเข้ม ปล้องสีฟาง ต้นสูง 130 เซนติเมตร ต้นแข็งแรง แตกกอดี รวงยาวประมาณ 27 เซนติเมตร การติดเมล็ดปานกลาง คอรวงยาวเมล็ดข้าวเปลือกสีฟางข้าวกล้องสีม่วงดำ แข็งหักยาก เมล็ดค่อนข้างป้อม คุณภาพการหุงต้มข้าวสุก นุ่ม เหนียว มีกลิ่นหอมเก็บเกี่ยวเดือนธันวาคม



ภาพประกอบ 2.7 เหนียวดำ ใบเขียว

2.2.6 นางนวล

เป็นข้าวเหนียว ไวต่อช่วงแสง ความสูงประมาณ 160 เซนติเมตร แตกกอปานกลาง ลำต้นแข็งแรง ใบธงตั้ง เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง มีก้นเป็นจุด ทนแล้งปานกลาง ข้าวสุกมีกลิ่นหอม นุ่มเหนียว เก็บเกี่ยวประมาณเดือนพฤศจิกายน



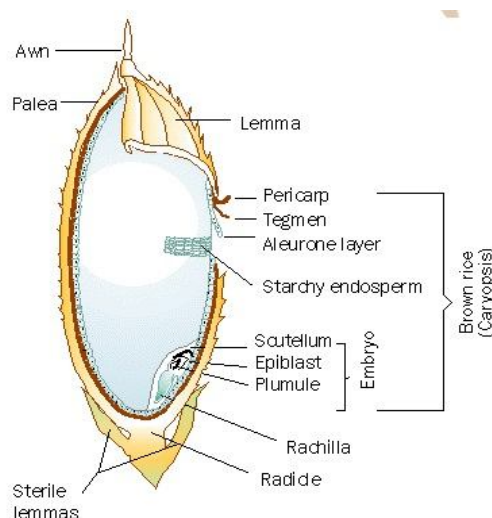
ภาพประกอบ 2.8 นางนวล

2.3 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว

2.3.1 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวมีเยื่อหุ้มเมล็ด (testa) ติดกับผนังรังไข่ (ovary wall) และเมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังภาพประกอบ 2.9





ที่มา : http://www.ikisan.com/crop%20specific/eng/links/ap_ricemorp.shtml

ภาพประกอบ 2.9 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

2.3.1.1 แกลบ (hull หรือ husk) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (leเมตรเมตร) เปลือกเล็ก (palea) หาง (awn) ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบลองเมล็ด (sterile lemmae) เปลือกใหญ่ จะปกคลุมอยู่ 2 ใน 3 ของเนื้อที่เมล็ด เปลือกเล็กจะยึดแน่นอยู่ภายในส่วนของเปลือกใหญ่ด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายตะขอ (hooklike structure) ดังนั้นเปลือกข้าวจึงปิดแน่น แกลบจะมีประมาณร้อยละ 18–20 ของข้าวเปลือก ทำหน้าที่ป้องกันการทำลายจากแมลงต่าง ๆ และป้องกันไม่ให้เมล็ดข้าวสูญเสียความชื้น

2.3.1.2 ข้าวกล้องหรือส่วนที่บริโภคได้ (brown rice) แบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ ดังนี้

1) เปลือกหุ้มเมล็ด (pericarp) ในข้าวกล้องมีปริมาณร้อยละ 1-2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดส่วนใหญ่จะเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้าง เช่น เซลลูโลส เพนโทแซน นอกจากนี้ก็มีแร่ธาตุต่าง ๆ (ถ้า) โปรตีน และไขมัน เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) ซึ่งชั้นนี้จะเป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้องที่พัฒนามาจากผนังรังไข่ของดอกข้าว และหนา ประมาณ 10 ไมโครเมตร และมีท่ออาหารอยู่ทางด้านหลัง (dorsal) ของเมล็ด ข้าวบางชนิดอาจมีสารสี เช่น ข้าวแดง หรือข้าวเหนียวดำ เป็นต้น

2) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) ประกอบด้วย

2.1) ชั้นเยื่อโปร่งใส (hyaline layer) มีปริมาณร้อยละ 4-6 ของข้าวกล้อง เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากชั้นเปลือกหุ้มผล เป็นไข เป็นเซลล์ชั้นเดียวมีความหนาประมาณ 0.5 ไมโครเมตร มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อาจมีแถวเดียว หรือสองแถวหรือมากกว่า เซลล์ชั้นนี้ในมีสารให้สีอยู่ด้วย ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่างๆ เช่น ขาว แดง ม่วงแดง ส้ม ดำ เป็นต้น และประกอบด้วยโปรตีน แร่ธาตุ มีเพนโทแซน เซลลูโลส และไขมันแต่น้อยกว่าเปลือกหุ้มผล มีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำไม่ให้เข้าสู่ภายในเมล็ด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

2.2) ชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) หรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด มีลักษณะเป็นเซลล์รูปร่างสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีผนังเซลล์หนา มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง เป็นชั้นที่มีองค์ประกอบทาง



เคมีหลายชนิด ภายในเซลล์แอลิวโรน พบเมล็ดแอลิวโรน (aleurone grain) ขนาดเล็กจำนวนมาก และภายในเป็นกรดไฟติก หรือมีเกลือโพแทสเซียม และแมกนีเซียม รวมทั้งโปรตีนด้วย ในข้าวมีชั้นนี้ ตั้งแต่ 1 ถึง 7 แถว ผนังหนา และประกอบด้วยเมล็ดแอลิวโรน และไขมันที่มีขนาดกลม (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

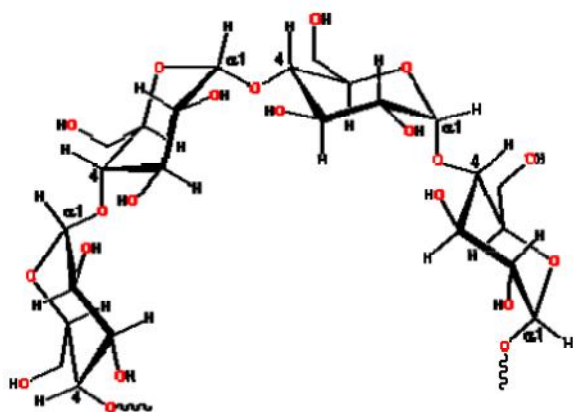
2.3) เนื้อเมล็ด (endosperm) มีประมาณร้อยละ 89-94 ของข้าวกล้อง แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ติดกับชั้นแอลิวโรน เป็นเซลล์ที่มีผนังบาง ขนาดเล็ก รูปลูกบาศก์ ภายในเซลล์ประกอบด้วย เม็ดแป้ง และโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ ข้าวมีเม็ดแป้งขนาดเล็กเป็นเหลี่ยมอยู่รวมกัน เป็นกลุ่ม ประมาณ 150 เม็ด มองไม่เห็นไฮลัม เม็ดเกาะรวมกัน ขนาดเม็ดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-12 μm และโปรตีนจะอยู่รวมกับเม็ดแป้งมี 2 ลักษณะ คือ เกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม พบในชั้นติดกับแอลิวโรนของข้าวมี 3 แบบคือ รวมตัวขนาดกลมใหญ่ ขนาดกลมเล็ก และมีลักษณะเป็นผลึก ส่วนลักษณะของโปรตีนอีกประเภทหนึ่งจะเกาะเกี่ยวเป็นร่างแหกับเม็ดแป้ง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

2.3.2 องค์ประกอบภายในแป้งข้าว

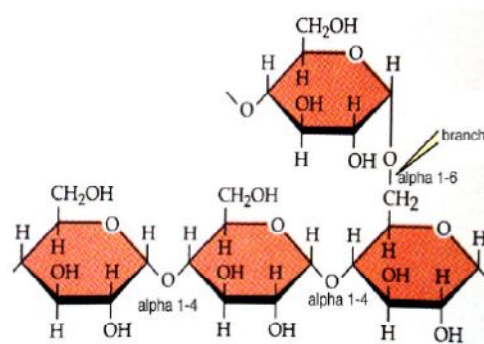
ข้าว หรือ *Oryza sativa* L. เป็นธัญพืชที่เป็นแหล่งอาหารจำพวกแป้งถูกสะสมอยู่ในเอนโดสเปิร์มของเมล็ด ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมี คือ $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ และเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ตอนปลายสุดของสายพอลิเมอร์ มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ เรียกว่า reducing end group เกาะอยู่และแบ่งประกอบด้วย พอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดคือพอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพคติน) ข้าวเจ้ามีอะไมโลเพคติน ประมาณ 70% และอะไมโลส ประมาณ 30% ส่วนข้าวเหนียว มีอะไมโลเพคตินประมาณ 90% และอะไมโลสประมาณ 7-10% โดยก่อนการขัดสี เมล็ดข้าวมีโปรตีนประมาณ 12% หลังการขัดสีแล้วปริมาณโปรตีนจะลดลงเหลือประมาณ 7.5% และมีแป้งประมาณ 75-80% เมื่อ อะไมโลสละลายในน้ำร้อน จะกระจายตัวกลายเป็นคอลลอยด์ ขณะที่อะไมโล เพคตินไม่ละลายน้ำ

2.3.2.1 อะไมโลส (amylose) ประกอบด้วยกลูโคส 200 ถึง 20,000 หน่วยซึ่งต่อกันเป็นโซ่ยาวแบบไม่มีกิ่ง แต่โซ่ของอะไมโลส ขดเป็นเกลียวแบบเฮลิคัล น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500,000 Da เป็นโมเลกุลเส้นยาว ส่วนใหญ่ประกอบด้วย α -1,4-glycosidic bonds และส่วนน้อยเป็น α -1,6-glycosidic bonds (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) (ภาพประกอบ 2.10) คุณสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน แสดงในตาราง 2.1





(ก)



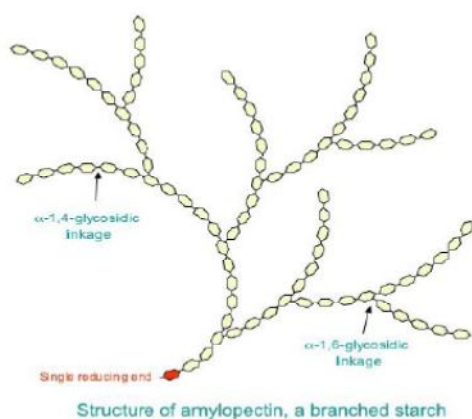
(ข)

ที่มา : (ก) <http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html>.

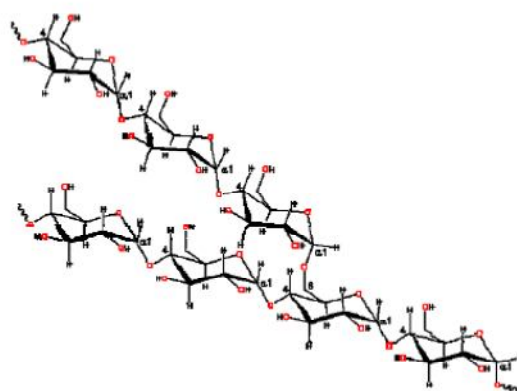
(ข) <http://academic.brooklyn.cuny.edu/biology/bio4fv/page/starch.html>

ภาพประกอบ 2.10 อะไมโลส

2.3.2.2 อะไมโลเพคติน (amylopectin) แตกต่างจากอะไมโลส คือ มีกลูโคสต่อเป็นโซ่ยาวแล้วยังต่อแบบเป็นกิ่งจำนวนมาก แต่ละกิ่งก้านมีกลูโคสประมาณ 30 หน่วย ระหว่างสายตรงที่มีกลูโคสประมาณ 20-30 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วย α -1,6-glycosidic bonds และ 1 โมเลกุลประกอบไปด้วยกลูโคส 2 ล้านหน่วย ดังภาพประกอบ 2.11 (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



(ก)



(ข)

ที่มา : (ก) <http://www.langara.bc.ca/biology/mario/Assets/Aเมตρυlopectin.jpg>.

(ข) <http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html>

ภาพประกอบ 2.11 อะไมโลเพคติน



ตาราง 2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคส เกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	200 – 2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้ดีกว่า	ละลายน้ำได้น้อยกว่า
ลักษณะเมื่อต้มในน้ำ	มีความข้นหนืดน้อยและขุ่น	ข้นหนืดมากและใส
ทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วงหรือสีน้ำตาลแดง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัว เป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา : Beynum และ Roels (1985); Kerr (1950)

2.4 ข้าวกล้องงอก (germinated brown rice)

จากการวิจัยพบว่าข้าวกล้องมีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมากกว่าข้าวขัดขาว โดยเฉพาะจมูกข้าวประกอบด้วยโปรตีนวิตามินเกลือแร่เส้นใยอาหาร (dietary fiber) และกรดแกมมา-แอมิโนบิวทิริก (γ -aminobutyric acid: GABA) จากข้อมูลข้างต้นทำให้ผู้บริโภคหันมาเลือกรับประทานข้าวกล้องหรือผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องมากขึ้น ภายใต้แนวคิดที่ว่า “กินข้าวเป็นยา” อย่างไรก็ตามข้าวกล้องยังมีข้อด้อยในด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เพราะมีลักษณะที่แข็งและไม่นุ่ม นักวิจัยจึงได้พยายามหาวิธีการทำให้ได้ข้าวกล้องที่อ่อนนุ่ม รสชาติดี และเพิ่มคุณค่าทางอาหาร จึงเกิดนวัตกรรมใหม่เกี่ยวกับข้าวกล้อง ซึ่งเป็นที่รู้จักและเรียกกันว่า “ข้าวกล้องงอก” เกิดขึ้นเมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมี ส่งผลให้ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการย่อยแบ่งเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล (Brennan, 2008) ที่มีโมเลกุลเล็กลง เช่น oligosaccharide และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) การเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากส่วนของ polysaccharide และ mucilage เกิดการขยายตัวจากโมเลกุลของน้ำที่ซึมเข้าไปและเกิดการย่อยของเอนไซม์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยในเมล็ดธัญพืชได้

2.5 อาหารเพื่อสุขภาพ (functional food)

2.5.1 ความหมาย

กระทรวงสวัสดิการและสุขภาพของญี่ปุ่น (Japan Ministry of Health and Welfare, เมตรHW) ได้ให้คำจำกัดความ “อาหารเพื่อสุขภาพ” คือผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนประกอบของสารอาหารหรือสารประกอบจากธรรมชาติที่ช่วยส่งเสริมให้ร่างกายทำงานได้ดีขึ้นและให้สารอาหาร



เพิ่มขึ้นรวมทั้งช่วยเพิ่มการทำงานของกลไกของระบบต่างๆในร่างกายและช่วยป้องกันโรค เช่น ความดันโลหิตสูงเบาหวานความผิดปกติที่เป็นมาแต่กำเนิดของระบบเมแทบอลิซึมและช่วยชะลอความแก่ (มลศิริ วิโรทัย, 2545)

2.5.2 ตัวอย่างอาหารเพื่อสุขภาพ

อาหารเพื่อสุขภาพที่ผู้บริโภค เลือกรับประทานเพื่อป้องกันและรักษาโรค โดยประกอบด้วยอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และทำหน้าที่เป็นยาตามธรรมชาติ ซึ่งได้จากสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในอาหาร ได้แก่ สารกลุ่มที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารแอลคาลอยด์ สารกลุ่มไกลโคไซด์ และสารกลุ่มเทอร์ปีนอยด์ เป็นต้น

2.5.2.1 อาหารที่มีเส้นใยสูง

อาหารเส้นใยสูง ได้แก่ ข้าวโดยเฉพาะข้าวกล้อง (ข้าวซ้อมมือข้าวแดง) ข้าวเหนียวดำ ข้าวโพด ลูกเดือยผักต่างๆเช่น ผักกาด ผักคะน้า ผักกะหล่ำ ต้นหอมยอดกระถิน ผักบุ้ง ชะอม ดอก และใบขี้เหล็กหน่อไม้ ใบตำลึงและผลไม้บางอย่าง เช่น ฝรั่ง มะม่วง สับปะรด พุทรา มะขาม นอกจากนี้ยังมีมากในถั่วต่างๆ มันฝรั่ง มันสำปะหลัง แห้ว เมล็ดแมงลัก

2.5.2.2 อาหารจำพวกปลา

ปลาเป็นอาหารประเภทหนึ่งที่ดีด้วยโปรตีน และยังมีคุณสมบัติเด่นในการบำบัดความหิวได้ดีกว่าไขมันและคาร์โบไฮเดรต ปลาส่วนใหญ่มีไขมันน้อยกว่า เนื้อวุ้น หมู เป็ด หรือไก่ และให้ปริมาณโปรตีนมากกว่าในการบริโภคแต่ละครั้ง ปลาสดนำมาอบหรือปิ้งให้คุณค่าทางอาหารและความอร่อยเป็นเลิศ แต่สำหรับผู้ที่มีเวลาจำกัดไม่ควรมองข้ามอาหารจำพวก ปลาแชลมอน และทูน่ากระป๋องหรืออาจเลือกใช้น้ำมันปลาแทนเป็นขึ้น ซึ่งสามารถนำมาประกอบอาหารได้สะดวกและรวดเร็ว

2.5.2.3 ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่

อาหารที่มีฟอสฟอรัสสูงจะใช้เวลาในการย่อยนาน จึงทำให้อิ่มนานขึ้น ผลไม้สดทุกชนิดล้วนอุดมด้วยไฟเบอร์ และเบอร์รี่คือหนึ่งในผลไม้ที่มีไฟเบอร์สูงสุด ผลเบอร์รี่ทุกชนิดล้วนอุดมด้วยไฟเบอร์ 8 กรัม 65 แคลอรี ปัจจุบันมีผลเบอร์รี่แบบแช่แข็ง ซึ่งสะดวกสำหรับนำมาปั่นลงในเครื่องตีประเภทโปรตีนเชค รู้สึกอิ่ม นำมาบริโภคจะทำให้อิ่มนาน

2.5.2.4 บร็อกโคลี่

ผักเป็นรายการอาหารที่พบบ่อยในรายชื่ออาหารที่ทำให้ไม่อ้วน เนื่องจากอุดมไปด้วยไฟเบอร์ที่ปราศจากแคลอรีและน้ำ ซึ่งจะทำให้รู้สึกอิ่มและไม่อ้วน บร็อกโคลี่เป็นผักที่จัดอยู่ในกลุ่มผักที่มีไฟเบอร์สูงสุด บร็อกโคลี่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ผ่านการปรุงสุกแล้วจำนวน 1 ถ้วย จะให้ไฟเบอร์ที่ช่วยให้ไม่อ้วนได้ถึง 6 กรัม ขณะที่ให้แคลอรีเพียง 50 แคลอรี

2.5.2.5 ถั่วดำ

ถั่วช่วยให้หายหิวได้ดี เพราะมีไฟเบอร์สูงและยังอุดมไปด้วยโปรตีน ในปริมาณที่เหมาะสม ถั่วดำปริมาณครึ่งถ้วยจะให้โปรตีนและไฟเบอร์ถึง 8 กรัม ขณะที่ถั่วขาว ถั่วป่นโตมีลายขาวแดง และถั่วแดงหลวง มีปริมาณโปรตีนและไฟเบอร์ตามมามาติด ๆ เป็นอันดับ 2 เมื่อเราผสมถั่วในสลัด ซุป หรือเมนูต่างๆ ก็จะทำให้อาหารมีรสชาติอร่อยขึ้น และอิ่มนาน

2.5.2.6 ควินัว (Quinoa)

พืชสดเต็มเมล็ดส่วนใหญ่ให้ไฟเบอร์ในปริมาณมาก และมีน้ำหนักรับมากกว่าอาหารที่ทำจากธัญพืชแห่ง เช่น ขนมปังแครกเกอร์ หรือเพรทเซล ดังนั้นแน่นอนว่าอาหารจำนวนนั้นจะให้



ความรู้สึกอิ่มมากกว่า แต่ "ควินัว" เป็นพืชที่มีความโดดเด่นยิ่งกว่า เพราะโปรตีนสูงกว่าธัญพืชส่วนใหญ่ราว 8 กรัมต่อ 1 ถ้วย และยังปรุงสุกได้อย่างรวดเร็วภายในเวลาเพียง 15 นาที ต่างจากข้าวบาร์เลย์ และข้าวกล้องที่ใช้เวลาในการปรุงนานกว่า สามารถนำควินัวมาปรุงเป็นอาหารในรูปของเครื่องเคียง หรือนำมาใช้เป็นส่วนผสมของสลัด พร้อมด้วยผักชนิดต่างๆ รวมทั้งไก่ย่างฉีกเป็นชิ้นๆ

2.5.2.7 โยเกิร์ตกรีกไร้ไขมัน

ผลิตภัณฑ์นมไร้ไขมันส่วนใหญ่เป็นแหล่งอาหารโปรตีนสูงแต่โยเกิร์ตกรีกมีปริมาณโปรตีนสูงกว่า และเข้มข้นมากกว่า โยเกิร์ตกรีกไร้ไขมัน 1 กล่อง ให้โปรตีนสูงกว่าโยเกิร์ตกรีกไร้ไขมันเป็นอาหารว่าง นอกจากจะให้โปรตีนที่ทำให้อิ่มท้อง

2.5.2.8 ซุปผัก

ซุปผักเป็นอาหารที่ให้แคลอรีต่ำ และมีน้ำในปริมาณมาก จึงให้ความรู้สึกอิ่มท้องอย่างเต็มที่ การเริ่มมื้ออาหารด้วยซุป 1 ถ้วยหรือ 1 ชามเล็ก จะทำให้เรารับประทานอาหารจานหลักในปริมาณที่ลดลง นอกจากนี้ซุปผักรสเลิศ 1 ถ้วย เป็นอาหารว่างง่ายๆ แต่ให้คุณค่าทางโภชนาการชั้นเลิศ ซึ่งจะช่วยสร้างสีสันและความรื่นรมย์ในยามบ่ายได้อย่างดี

2.6 พรีไบโอติก (prebiotics)

2.6.1 ความหมาย

พรีไบโอติก คือ องค์ประกอบของอาหารที่ไม่ถูกย่อย หรือถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหารส่วนต้น (Fooks, 1999) โดยพรีไบโอติกมีแนวคิดที่สำคัญคือ “เป็นอาหารที่เฉพาะเจาะจง” และ “ได้รับประโยชน์ เพื่อการปรับปรุงสุขภาพเจ้าภาพ” (Chockchaisawasdee, 2012) พรีไบโอติกที่จะต้องไม่ย่อยสลายในลำไส้เล็กและถูกหมักในลำไส้ใหญ่ โดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ (*Bifidobacterium* และ *Lactobacillus*) (Cho, 2007) มีงานวิจัยจำนวนมาก ยืนยันว่า พรีไบโอติก ถูกจัดการด้วยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ต้องสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Clostridium* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสารพิษได้ (Gibson, 1995)

สรุปว่า พรีไบโอติก คือ สารที่ถูกย่อยสลายในลำไส้ใหญ่โดยแบคทีเรียในลำไส้ ซึ่งพรีไบโอติก จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันสายสั้น ได้แก่ อะซิเตด โพรพิโอเนต และบิวทีเรต ซึ่งกรดไขมันที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะทำให้ค่าพีเอช ในลำไส้ใหญ่ลดลง มีผลไปยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค (pathogenic bacteria) ช่วยกระตุ้นให้เซลล์หยุดการเจริญเติบโตหยุดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ และช่วยเพิ่มการตายตามธรรมชาติของเซลล์ (apoptosis) ซึ่งคุณสมบัติทั้งสามข้อนี้อาจมีฤทธิ์ในการต้านการเกิดมะเร็งได้ยังพบอีกว่า โอลิโกฟรุคโตส ช่วยให้มีการเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียม

2.6.2 คุณสมบัติของพรีไบโอติก

สารที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่ดีต้องสามารถทนต่อการย่อยของกรดในกระเพาะอาหาร และลงสู่ลำไส้ใหญ่ได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง ไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก เพื่อที่จุลินทรีย์ประจำถิ่น (microflora) ที่อาศัยในลำไส้สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนได้ (Gibson, 2004) นอกจากนี้ต้องส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในทางเดินอาหาร เช่น *Bifidobacterium* และ *Lactobacilli* (Gibson, 1995; Holzapfel, 2003) ไม่ส่งเสริมการ



เจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรค เช่น *Clotridium perfringens* ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคในลำไส้ (Gibson, 1995; Kolida, 2000) และส่งผลให้สุขภาพของผู้บริโภคดีขึ้น ช่วยในการดูดซึมธาตุ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียมและเหล็ก (Lopez, 2000; Van, 1998) ช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่

2.6.3 ตัวอย่างพรีไบโอติก

2.6.3.1 พรีไบโอติกกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide)

แป้งเป็นพอลิแซคคาไรด์หลักที่ถูกสะสมในเมล็ดธัญพืช พืชตระกูลถั่ว ส่วนรากและหัวของพืชหลายชนิด (van der Maarel, 2002; Belitz, 2004) รวมทั้งข้าวที่มี แป้ง จะประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกติน อะไมโลสต่อเป็นเส้นตรง ต่อด้วย α -1,4-glycosidic bonds และส่วนน้อยเป็น α -1,6-glycosidic bonds ซึ่งมี DP (degree of polymerization) ประมาณ 200-6,000 อะไมโลเพกติน ประกอบด้วย α -1,4-glycosidic bonds และระหว่างสายโซ่กิ่ง เชื่อมต่อด้วยพันธะ α -(1 $\rightarrow$ 6) (van der Maarel, 2002) พรีไบโอติกจากข้าว ได้รายงานการวิจัยว่า ข้าวกล้อง การย่อยสลายอะไมโลส ถูกย่อยด้วยแอลฟา-และเบต้า-อะไมเลส และ อะไมโลกลูโคซิเดส ผลิตภัณฑ์ได้จะเชื่อมต่อด้วยพันธะ α -(1 $\rightarrow$ 4) เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin) มอลโตส (maltose) และ กลูโคส ได้มีรายงานการวิจัยของ Saman (2008) ได้ศึกษาการควบคุมการงอกเพื่อเพิ่มหมู่ฟังก์ชันของข้าวเหนียว (RD 6) และข้าวเจ้า (RD17) ได้วิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลและโอลิโกแซคคาไรด์ พบว่าข้าวทั้งสองสายพันธุ์ มีน้ำตาลและโอลิโกแซคคาไรด์เพิ่มขึ้นตามระยะการงอก และในข้าวเหนียว (RD6) พบน้ำตาล glucose maltose maltotriose 58.9, 25.4, 1.8, mg/g ตามลำดับ ส่วนในข้าวเจ้า (RD17) พบน้ำตาลชนิดนี้เช่นเดียวกัน ปริมาณ 47.3 18.2 0.23 mg/g ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบมีโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งประกอบด้วย maltoheptaose เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาได้แก่ maltopentaose และ maltohexaose ตามลำดับ ส่วนการไฮโดรไลต์อะไมโลเพกติน ต้องใช้ อะไมโลพลูกลานเนส หรือ พลูกลานเนส จะแตกพันธะที่เชื่อมต่อ α -(1 $\rightarrow$ 6) ตรงสายโซ่กิ่ง ผลิตจากการไฮโดรไลต์ จะได้ α -D-Glu- α -(1 $\rightarrow$ 6)-D-Glu (isomaltose) และโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผสมระหว่าง α -(1 $\rightarrow$ 4) และ α -(1 $\rightarrow$ 6) (Gänzle M. G. 2012) ไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ (IMO) ประกอบด้วย ไอโซมอลโต ไอโซมอลโตไตรโอส ไอโซมอลโตเตตราโอส และ แพนโนส (α -D-Glu- α -(1 $\rightarrow$ 6)- α -D-Glu- α -(1 $\rightarrow$ 4)-D-Glu) และ IMO ถูกนำไปใช้เป็นพรีไบโอติกในเชิงพาณิชย์ (Seibel, 2010) IMO ทางการค้าประกอบด้วย ไตร และ เตตราแซคคาไรด์และประกอบด้วย panose, 6'-glucosylpanose และ 6',6'-glucosylpanose ซึ่งถูกเติมไปใน IMO (Ketabi, 2011) IMO (isomalttooligosaccharides) จัดเป็นพรีไบโอติกโอลิโกแซคคาไรด์แบบโซ่กิ่ง ซึ่งถูกสังเคราะห์จากแป้ง (Saman, 2012) โอลิโกแซคคาไรด์แบบโซ่กิ่ง ถือเป็นหนึ่งในพรีไบโอติกหลัก ได้แก่ isomaltose, panose, isopanose, branched maltose และ branched isomaltopenose (Cho, 2007) Chen (2001) ได้ศึกษาผลของ Isomalto-oligosaccharide (IMO) ที่มีผลต่อลำไส้ของผู้สูงอายุ ซึ่งมีองค์ประกอบของ IMO ดังตาราง 2.2 การผลิตโอลิโกแซคคาไรด์แบบโซ่กิ่งถูกผลิตจากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่แตกต่างกันสองชนิด (Seifert, 2007) IMO เป็นโมโนเมอร์ของกลูโคส ที่เชื่อมต่อด้วย α -(1 $\rightarrow$ 6) และ α -(1 $\rightarrow$ 4) เล็กน้อย IMO ผลิตจากแป้ง ถูกแยกด้วยเอนไซม์ 3 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ได้แก่ แป้งถูกไฮโดรไลต์ได้เป็น มอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ โดย α -amylase และ pullulanase หลังจากนั้น α -glucosidase



ถูกเติมเข้าไปทำหน้าที่เป็นตัวคะตะไลต์ในปฏิกิริยาการถ่ายโอน โดยจะเปลี่ยน α -(1 $\rightarrow$ 4) ใน maltooligosaccharide เป็น α -(1 $\rightarrow$ 6) ใน isomaltooligosaccharide (Panesar, 2011) ขั้นที่ 2 เอนไซม์ β -amylase และ α -glucosidase แต่อย่างไรก็ตาม α -glucosidase เท่านั้นที่เกิดปฏิกิริยา ทรานกลูโคซิเดรต ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่จะผลิตโอลิโกแซคคาไรด์แบบโซกิง (Cho, 2007)

ตาราง 2.2 องค์ประกอบของ Isomalto-oligosaccharides

components	content (%)
Moisture	25.00
Isomaltose	9.00
panose	21.83
Isomaltotriose	1.95
Isomaltotetraose	7.42
Dextrin	2.50
Fructose	0.38
Glucose	15.68
Maltose	11.55
Maltotriose	2.93
Maltotetraose	3.20

ที่มา : Chen (2001)

2.6.3.2 พรีไบโอติกกลุ่มอื่น ๆ ได้แก่ เส้นใยที่ละลายน้ำได้ เช่น เส้นใยที่ได้จากถั่วจาก เมล็ดธัญพืชและสารเพกติน จะเป็นแป้งที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร (resistant starch)

2.6.4 ประโยชน์ต่อสุขภาพ

พรีไบโอติก มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ ช่วยส่งเสริมการทำงานของระบบทางเดินอาหารมีผลต่อการดูดซึมเกลือแร่บางชนิด และมีผลต่อเมแทบอลิซึมของไขมัน มีดังนี้

2.6.4.1 ผลต่อระบบทางเดินอาหาร พรีไบโอติก จะทนต่อการย่อยในทางเดินอาหาร ส่วนบนของมนุษย์เมื่อมาถึงลำไส้ใหญ่จะเป็นอาหารให้กับแบคทีเรียในลำไส้ ซึ่งเมื่อแบคทีเรีย นำไปใช้ก็จะให้พลังงาน และสารสำคัญบางอย่างแก่ร่างกาย ได้แก่ inulin-type fructans ให้กรดแลกติก (lactic acid) และกรดไขมันชนิดสายสั้น (short-chain fatty acids) ซึ่งเป็นผลิตผลจากกระบวนการหมักจะกระตุ้นการเจริญของ *Bifidobacteria* ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์สุขภาพ และในสภาวะความเป็นกรดที่เกิดขึ้นจะช่วยยับยั้งการเจริญของ *Clostridium perfringens*, *Salmonella* spp. และ *Escherichia coli* ในลำไส้ จึงช่วยป้องกันท้องเสียท้องเดิน โดยเฉพาะจากการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหารได้



2.6.4.2 ผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิด ปกติพวกใยอาหาร หรือ พรีไบโอติกนี้จะรบกวนการดูดซึมของเกลือแร่ด้วยการไปจับกับแร่ธาตุไว้ในโครงสร้างที่ซับซ้อนของมันทำให้ไม่สามารถถูกดูดซึมได้ที่ลำไส้เล็ก ก็จะเดินทางมาถึงลำไส้ใหญ่ จากนั้นมันก็จะปลดปล่อยแร่ธาตุเหล่านั้นออกมาเมื่อมีการหมักโดยแบคทีเรียในลำไส้ได้กรดไขมันชนิดสายสั้น ความเป็นกรดก็จะช่วยในการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิด ได้แก่ แคลเซียมและแมกนีเซียม เป็นต้น

2.6.4.3 ผลต่อเมแทบอลิซึมของไขมัน คือ การที่จุลินทรีย์สุขภาพเพิ่มจำนวนมากขึ้นจะช่วยย่อยสลายคอเลสเตอรอล และยับยั้งการดูดซึมผ่านผนังลำไส้ หรืออาจเนื่องจากผลจากกระบวนการหมักที่ได้กรดไขมันสายสั้นบางชนิด โดยเฉพาะกรดโพรพิโอนิก ซึ่งสามารถไปยับยั้งการสังเคราะห์ไขมันรวมทั้งคอเลสเตอรอล อีกกลไกหนึ่งคือมีการปรับเปลี่ยนระดับกลูโคสและอินซูลิน เนื่องจากการสังเคราะห์ไขมันมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมของกลูโคสด้วย ดังนั้น พรีไบโอติกอาจช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดแข็งซึ่งมีสาเหตุจากไขมัน โดยเฉพาะภาวะไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูง (hypertriglyceridemia) และภาวะดื้อต่ออินซูลิน (insulin resistance) สาเหตุจากกินอาหารคาร์โบไฮเดรตสูง

2.6.4.4 ผลิตผลการหมักพรีไบโอติก คือ กระบวนการหมัก (fermentation) คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยและดูดซึมในลำไส้เล็กจะผ่านเข้ามาที่ลำไส้ใหญ่และเกิดกระบวนการหมักขึ้น โดยอาศัยแบคทีเรียที่อยู่ใน ลำไส้ใหญ่ ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ และได้กรดไขมันสายสั้น ได้แก่ acetate, propionate และ butyrate และกระตุ้นให้แบคทีเรียมีการเจริญเติบโตและมีก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซึมและขับออกทางลมหายใจหรือทางทวารหนักส่วนกรดไขมันสายสั้นซึ่งเป็นสารสำคัญที่ได้จากการหมักจะถูกดูดซึมและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยมีผลต่อร่างกาย ดังนี้

- 1) SCFAs จะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วโดยเยื่อบุลำไส้ใหญ่และช่วยดูดซึมน้ำและโซเดียม จึงช่วยรักษาสภาวะสมดุล และการทำงานของลำไส้
- 2) SCFAs ช่วยลดคอเลสเตอรอล ลดค่า pH ภายในลำไส้ และตกตะกอนเกลือแร่ที่เป็นพิษและทำให้การควบคุมเอนไซม์ที่เป็นอันตราย และการยับยั้งจุลินทรีย์จำพวกทนกรดที่ลำไส้ใหญ่
- 3) SCFAs (โดยเฉพาะ propionate) มีอิทธิพลต่อจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่โดยการยับยั้งจุลินทรีย์แกรมลบสูงและกระตุ้นการเจริญของ *Bifidobacteria*
- 4) butyrate เป็น SCFAs ที่มีความสำคัญทางสรีรวิทยาที่ดี ตั้งแต่ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานสำหรับเซลล์เยื่อบุลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ยังพบว่า butyrate ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ โดยการลดการตอบสนองของเซลล์มะเร็ง นอกจากนี้ butyrate อาจมีส่วนร่วม ในการป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ของมนุษย์ได้
- 5) การทดลองในหลอดทดลองพบว่าการเสริมเส้นใยและบ่มโดยเชื้อตั้งต้นจากอุจจาระของมนุษย์สามารถผลิต butyrate ได้



2.7 แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch)

2.7.1 ความหมายของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์

แป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ตามคำนิยามของ European FLAIR-Concerted Action on Resistant Starch หมายถึง แป้งและผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์และไม่สามารถดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ได้ สามารถส่งผ่านไปยังลำไส้ใหญ่และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ ให้สารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพมนุษย์ (Niba, 2002) โดยปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

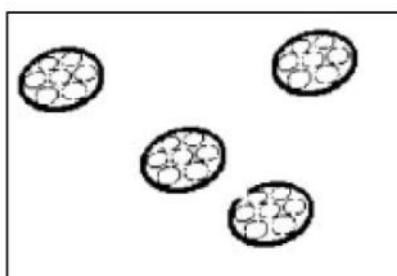
$$RS = TS - (RDS + SDS)$$

โดยที่	RS	คือ	แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก (resistant starch)
	TS	คือ	ปริมาณแป้งทั้งหมด (total starch)
	RDS	คือ	แป้งที่สามารถถูกย่อยไปเป็นน้ำตาลกลูโคสโดยเอนไซม์ในร่างกายได้อย่างรวดเร็ว (rapidly digested starch)
	SDS	คือ	แป้งที่สามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์ในร่างกายได้อย่างช้าๆ (slowly digested starch) และสามารถถูกย่อยไปเป็นน้ำตาลกลูโคสได้อย่างสมบูรณ์

2.7.2 ประเภทของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

แป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (RS) แบ่งได้ 4 ประเภทได้แก่

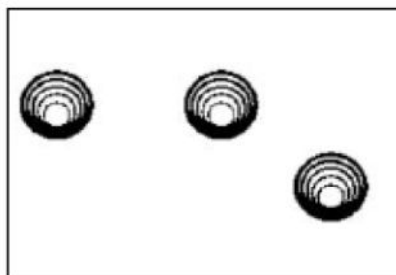
2.7.2.1 ชนิดที่ 1 (RS1) คือแป้งที่มีลักษณะทางกายภาพขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ (physically inaccessible) พบในเมล็ดธัญพืชที่ผ่านการบดเพียงบางส่วน ได้แก่ พืชตระกูลถั่ว (legumes) และผัก เป็นต้น แป้งชนิดนี้ทนต่อความร้อนและใช้ในส่วนผสมของอาหารมีลักษณะโครงสร้าง ดังภาพประกอบ 2.12



ที่มา : Sajilata (2006)

ภาพประกอบ 2.12 โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 1 (RS1)

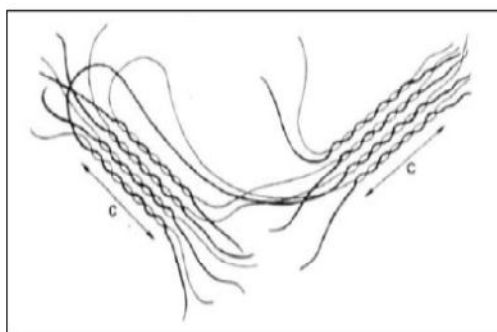
2.7.2.2 ชนิดที่ 2 (RS2) คือเม็ดแป้งดิบที่ทนต่อการทำงานของเอนไซม์ (raw or ungelatinized starches) พบในแป้งที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้แป้งสุก เช่น เม็ดแป้งกล้วยดิบ เม็ดแป้งมันฝรั่งดิบและแป้งอะไมโลสสูงมีลักษณะโครงสร้างดังภาพประกอบ 2.13 โดยกล้วยที่อยู่ในรูปของผงแป้งจะมีปริมาณของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์สูงถึงร้อยละ 52.1 (โดยน้ำหนักแห้ง) ทำให้เอนไซม์อะไมเลสไม่สามารถย่อยได้และไม่เกิดเจลาทิไนซ์ (gelatinize)



ที่มา : Sajilata (2006)

ภาพประกอบ 2.13 โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 2 (RS2)

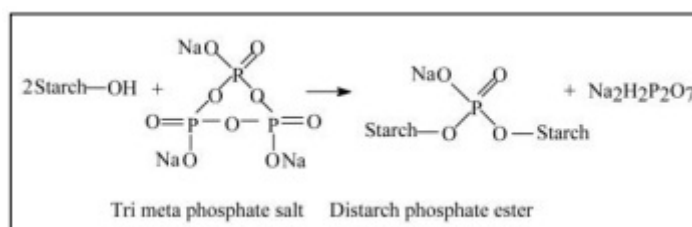
2.7.2.3 ชนิดที่ 3 (RS3) เป็นประเภทแป้งคืนตัว (retrograded starch) ส่วนใหญ่แป้งชนิดนี้พบในอาหารที่ให้ความร้อนจนเกิดเจลาทิไนซ์เมื่อถูกทำให้เย็นลงเกิดการจัดเรียงตัวของอะไมโลสใหม่ ภาพประกอบ 2.14 ตัวอย่างของแป้งชนิดนี้ เช่น มันฝรั่งที่ต้มแล้วทำให้เย็น เปลือกขนมปังคอร์นเฟลกส์ (corn flakes) และการคืนตัวของแป้งข้าวโพดอะไมโลสสูง เป็นต้น (Vatanasuchart, 2009) สมบัติของแป้งกลุ่มนี้ คือ สามารถละลายได้ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide) (Sajilata, 2006)



ที่มา : Sajilata (2006)

ภาพประกอบ 2.14 การต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของ double helices บริเวณโครงสร้างผลึก (C) ของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 3 (RS3)

2.7.2.4 ชนิดที่ 4 (RS4) เป็นแป้งที่มีโครงสร้างเกิดจากการดัดแปร ซึ่งเกิดจากการใช้สารเคมีในการเชื่อมขวาง (cross link) เช่น ไดสตาร์ชฟอสเฟตเอสเทอร์ (distarch phosphate ester) ทำให้ในโครงสร้างแป้งสร้างเกิดพันธะแบบใหม่ภาพประกอบ 2.15



ที่มา : Sajilata (2006)

ภาพประกอบ 2.15 ไดสตาร์ชฟอสเฟตเอสเทอร์

2.7.3 ประโยชน์ของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

2.7.3.1 แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ไม่ถูกย่อยสลายในลำไส้เล็กแต่เกิดการหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ และผลิตกรดไขมันสายสั้นๆ เช่น อะซิเทต (acetate) บิวทิเรต (butyrate) และโพรพิโอเนต (propionate) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์ (probiotic microorganisms) เช่น *Bifidobacterium* เป็นต้น (Sajilata, 2006)

2.7.3.2 แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด จากการวิจัยของ Roben (1994) พบว่าแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ จะเกิดการย่อยภายหลังการบริโภคแล้ว 5-7 ชั่วโมง ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดและอินซูลิน หลังบริโภคอาหารลดลง สำหรับแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนจะเกิดการย่อยทันทีหลังบริโภคทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดและอินซูลิน หลังบริโภคอาหารเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Reader (1997) ที่ศึกษาการใช้แป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 3 (RS3) ผลิตโดยบริษัท CrystaLean® นำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร พบว่าระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดของผู้ทดสอบภายหลังการบริโภคอาหารมีค่าต่ำกว่าการบริโภคคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นๆ เช่น แป้งชนิดอื่น โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) และน้ำตาล เป็นต้น โดยแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ชนิดที่ 3 (RS3) อาจมีบทบาทควบคุมโรคเบาหวาน

2.7.3.3 บทบาทของแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในการป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ โดยกรดไขมันที่เกิดขึ้นจากการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่จะช่วยเพิ่มปริมาณของเหลวและปรับค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ภายในลำไส้ให้ต่ำลง เมื่อเกิดสภาวะกรดขึ้นภายในบริเวณลำไส้ใหญ่จะเกิดการยับยั้งเอนไซม์จากจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถเปลี่ยนน้ำดีให้เกิดเป็นสารก่อมะเร็งในลำไส้ใหญ่ การที่จุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยสลายเส้นใยอาหารได้ จึงมีการแบ่งตัวเพิ่มจำนวน ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณอุจจาระ กระตุ้นให้เกิดการขับถ่าย ป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่ (มลศิริ วิโรทัย, 2545) กรดไขมันบิวทิเรต ยังช่วยปรับสภาวะตอนปลายของลำไส้ใหญ่ให้สมบูรณ์ด้วย (Alexander, 1995; Ferguson, 2000)



2.7.3.4 ยับยั้งการสะสมไขมัน Higgins (2004) ทำการศึกษาโดยใช้ผู้ทดสอบเพศชาย จำนวน 12 คน ให้บริโภคอาหารที่มีการเติมเส้นใยจากแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่าแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ช่วยลดการสะสมของไขมันเนื่องจากภายหลังการบริโภคเกิดการออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) เพิ่มขึ้น

2.7.3.5 เกี่ยวข้องกับการดูดซึมแร่ธาตุที่ลำไส้จากงานวิจัยของ Morais (1996) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของแป้ง 2 ชนิดได้แก่ แป้งที่มีส่วนผสมของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ร้อยละ 16.4 และแป้งที่ไม่ได้ผสม โดยตรวจสอบผลต่อการดูดซับของแคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และสังกะสี พบว่า แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ มีผลต่อการดูดซึมแคลเซียมและเหล็กของลำไส้

2.7.3.6 หน้าทีอื่น ๆ ของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ หรือเส้นใยอาหาร ช่วยป้องกันหรือลดสภาวะโรคอ้วน มีบทบาทในการลดคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน เป็นต้น

2.7.4 การผลิตแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์

2.7.4.1 การใช้ความร้อนชื้น (heat-moisture treatment) ในการแปรรูปต้องทำการควบคุมความชื้นของแป้งไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก และให้ความร้อนกับแป้งที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส สภาวะดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกในเม็ดแป้งสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้งเพิ่มขึ้น (Hormdok and Noohor, 2007)

2.7.4.2 การใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง (enzymatic treatment) เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) เช่น การใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) ลดขนาดโมเลกุลของแป้ง ได้ผลิตภัณฑ์คือ มอลโทเด็กทรีนชนิดที่มีระดับการย่อยต่ำ การใช้เอนไซม์ย่อยพันธะโซ่กิ่ง (debranching) เป็นการเพิ่มศักยภาพในการเตรียมแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์จากแป้งที่มีแอมิโลสต่ำ

2.7.4.3 การใช้ความร้อนและเอนไซม์ (heat and enzyme treatment) ให้ความร้อนแก่น้ำแป้งเพื่อทำให้สุก และทำให้น้ำแป้งเย็นตัวลง โมเลกุลของแป้งที่ละลายออกมาจะเกิดการจับตัวใหม่ได้ผลึกแป้งที่แข็งแรงมากขึ้น และเอนไซม์ย่อยได้น้อยลง หรือทำการย่อยส่วนของโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึกด้วยเอนไซม์ วิธีการนี้นิยมใช้กับแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง

2.8 โพรไบโอติก (probiotics)

2.8.1 ความหมายของโพรไบโอติก

โพรไบโอติก มาจากภาษากรีก แปลว่า “เพื่อชีวิต” ถูกนำมาในครั้งแรกในรายงานการวิจัยของ Lilly และ Stillwell (1965) พบว่าโพรไบโอติกเป็นสารที่จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ถูกผลิตออกมา และช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งได้ ซึ่งจะทำงานตรงข้ามกับการทำงานของยาปฏิชีวนะ (antibiotic) ที่ทำลายจุลินทรีย์เกือบทุกชนิดในระบบทางเดินอาหารรวมถึงจุลินทรีย์ดีประจำถิ่น (normal flora) ด้วย



Paker (1974) ได้ให้คำจำกัดความโพรไบโอติก ว่าเป็นสิ่งมีชีวิต และสารเคมีที่มีผลต่อสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ที่เป็นเชื้อประจำถิ่นในระบบทางเดินอาหาร

Fuller (1989) ได้ปรับปรุงคำจำกัดความ โพรไบโอติกว่าจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตที่สามารถใช้เป็นอาหารเสริม (feed supplement) ปรับระดับความสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิตที่มันอาศัยอยู่

Guarner และ Schaafsma (1998) กล่าวว่า โพรไบโอติก คือ เชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิต เมื่อบริโภคเข้าไปแล้ว ทำให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกายผู้บริโภคมกกว่าการกินอาหารทั่วไป และผลิตภัณฑ์ที่ผสมเชื้อโพรไบโอติก ควรมีปริมาณเซลล์ไม่น้อยกว่า 10^7 CFU/mL

ดังนั้น สรุปได้ว่า โพรไบโอติก ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งอาจมีเพียงชนิดเดียว หรือเป็นส่วนผสมของจุลินทรีย์หลายชนิด ที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของจุลินทรีย์ดั้งเดิมที่อาศัยอยู่ในลำไส้เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและทำให้ผู้บริโภคมีสภาพดีขึ้น คือ โพรไบโอติกมีคุณสมบัติช่วยในการต่อต้านเชื้อโรค กระตุ้นให้เกิดภูมิคุ้มกัน ป้องกันท้องร่วง หรือการเกิดอาการท้องผูก ลดระดับการเกิดเอนไซม์ที่ทำให้เกิดมะเร็งในลำไส้ ลดการเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง ทำให้เกิดการย่อยแลคโตสปรับปรุงสุขภาพ และลดคอเลสเตอรอล

ปัจจุบันนิยมใช้โพรไบโอติกที่จัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดแลคติก เช่น *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. เป็นต้น

2.8.2 คุณสมบัติพื้นฐานของเชื้อโพรไบโอติก

โพรไบโอติกที่ดีจะต้องชักนำให้เกิดความสมดุลทางโภชนาการ และสุขภาพที่ดีได้ทั้งภายนอกและภายในเซลล์ การทำให้เกิดสมดุลภายนอกเซลล์นั้น เชื้อโพรไบโอติกทั่วไป จะต้องเกิดกระบวนการหมักอาหารให้ได้สารอาหารมากมายหลายชนิด เช่นสามารถย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสในโยเกิร์ต ทำให้ร่างกายสามารถใช้ประโยชน์จากสารอาหารได้ นอกจากนี้ยังสามารถผลิตสารยับยั้งจุลินทรีย์ สารยับยั้งการเกิดมะเร็งและคุณสมบัติอื่น ๆ อีกหลายชนิด ส่วนคุณสมบัติภายในเซลล์ของเชื้อโพรไบโอติกที่ต้องการ คือ สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่รองรับจุลินทรีย์นั้น และยังคงมีคุณสมบัติเฉพาะของโพรไบโอติกนั้นอยู่ด้วย

2.8.3 เชื้อจุลินทรีย์ที่จัดเป็นโพรไบโอติกในลำไส้

โพรไบโอติกมีคุณสมบัติทนต่อสภาวะที่เป็นกรดในกระเพาะอาหารและทนต่อเกลือแร่ในลำไส้ใหญ่โดยส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria) โดยทั่วไปคือกลุ่ม *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* นอกจากนี้ยังมีโพรไบโอติกกลุ่มอื่น ๆ อีกที่มีการคัดเลือกและศึกษาคุณสมบัติว่าเป็นโพรไบโอติก เช่น *Streptococci* และ *Enterococci* ดังแสดงตาราง 2.3



ตาราง 2.3 ตัวอย่างของแลคติกแบคทีเรียที่ใช้เป็นโพรไบโอติกสำหรับการบริโภคของมนุษย์

Lactobacilli	Bifidobacteria	Streptococci	Enterococi
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	<i>Bifidobacterium bifidum</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
<i>Lactobacillus casei</i> (rhamnosus)-LGG	<i>Bifidobacterium longum</i>		<i>Enterococcus faecium</i>
<i>Lactobacillus reuteri</i>	<i>Bifidobacterium breve</i>		
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	<i>Bifidobacterium infantis</i>		
<i>Lactobacillus plantarum</i>	<i>Bifidobacterium adolescents</i>		
<i>Lactobacillus johnsonii</i>	<i>Bifidobacterium lactis</i>		
<i>Lactobacillus lactis</i>		<i>Trichuris suis</i>	

ที่มา : Fooks (1999)

2.8.4 จุลินทรีย์โพรไบโอติก (probiotics)

ตามที่ Fuller ได้ให้คำจำกัดความของโพรไบโอติกว่าเป็นอาหารที่มีการเติมจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งให้ประโยชน์ต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่มีนอาศัยอยู่ (host) โดยการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร ในปัจจุบันคำว่าโพรไบโอติกซึ่งหมายถึงจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่มีผลต่อสุขภาพของร่างกายที่รับประทานเข้าไป โดยปรับปรุงคุณสมบัติของจุลินทรีย์ดั้งเดิม (microflora) ที่มีอยู่ในร่างกาย (Gomes and malcata, 1999) จุลินทรีย์โพรไบโอติกเป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดแลคติกได้ โดยทั่วไปอยู่ในจีสต่อไปนี้

Lactobacillus spp. ได้แก่ *L. acidophilus*, *L. crispatus*, *L. amylophilus*, *L. casei*, *L. gallinarum*, *L. gasseri*, *L. johnsonii*, *L. reuteri*, *L. paracasei*, *L. ramosus*, *L. fermentum*, *L. salivarius*, *L. Bulgaricus*, *L. plantarum* และ *L. rhamnosus*

Enterococcus spp. ได้แก่ *EC. Faecium* และ *EC. faecalis*

Bifidobacterium spp. เกือบทุกสายพันธุ์จัดเป็นจุลินทรีย์โพรไบโอติก แต่ที่สำคัญ ได้แก่ *B. bifidum*, *B. longum* และ *B. Infantis*

จุลินทรีย์โพรไบโอติกที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ จุลินทรีย์ในสายพันธุ์ *Bifidobacterium* spp. และ *Lactobacillus* spp. เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ดั้งเดิมที่มีการใช้มานาน และพบว่ามีความปลอดภัยต่อสุขภาพ (สมุณธา, 2549)



2.8.4.1 *Lactobacillus*

พวก *Lactobacillus* จะมีรูปร่างเป็นท่อนค่อนข้างยาวมักเรียงต่อกันเป็นลูกโซ่ เป็นพวกต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อยในการเจริญ (microaerophilic) แต่มีบางชนิดเป็นพวกแอนแอโรบ ไม่สร้างเอนไซม์อะตาเลส ย้อมติดสีแกรมบวก สลายน้ำตาลแล้วให้กรดแลคติกเป็นส่วนใหญ่ ถ้าเป็นโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ (homofermentative) จะสลายน้ำตาลแล้วให้กรดแลคติกเกือบทั้งหมด มีกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอื่นๆ บ้างเล็กน้อย แต่ถ้าเป็นพวกเฮเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ (heterofermentative) จะสลายน้ำตาลแล้วให้สารระเหยได้รวมทั้งแอลกอฮอล์ในปริมาณมากพอๆ กับกรดแลคติก ตัวอย่างของโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ และเฮเทอโรเฟอร์เมนเททีฟได้แสดงไว้ในตาราง 2.4

ตาราง 2.4 แสดงการแบ่งกลุ่มของ *Lactobacillus* ตามชนิดของผลผลิตและอุณหภูมิที่เหมาะสม

อุณหภูมิที่เหมาะสม	โฮโมเฟอร์เมนเททีฟ	เฮเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ
ไม่ต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส	<i>L. acidophilus</i> <i>L. bulgaricus</i> <i>L. helveticus</i> <i>L. lactis</i> <i>L. thermophilus</i> <i>L. delbrueckii</i>	<i>L. fermentum</i>
ต่ำกว่า 37 องศาเซลเซียส	<i>L. plantanum</i> <i>L. leichmanii</i> <i>L. casei</i>	<i>L. brevis</i> <i>L. bruchneri</i> <i>L. pastorianus</i> <i>L. hilgardii</i> <i>L. trichodes</i>

1) *Lactobacillus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก ไม่สร้างสปอร์ มีลักษณะเป็นแท่งสั้นๆ เป็นพวก แฟคัลเตติฟแอนแอโรบ เป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ แยกได้จากทางเดินอาหาร ในลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ยังพบบริเวณช่องคลอดอีกด้วย เจริญได้ในสภาวะกรด *Lactobacilli* สามารถใช้น้ำตาลซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนและผลิตกรดแลคติกได้มากกว่า ร้อยละ 85 ในการหมักแบบโฮโมเฟอร์เมนเททีฟ หรือได้กรดแลคติก ร้อยละ 50 คาร์บอนไดออกไซด์ เอทานอล และกรดอะซิติก ในการหมักแบบเฮเทอโรเฟอร์เมนเททีฟ เจริญได้ที่พีเอช 4.0-4.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญคือ 30-40 °C อย่างไรก็ตาม ไม่ใช่ทั้งหมดของ *Lactobacillus* ทุกสายพันธุ์ที่จะมีประสิทธิภาพในการต่อต้านจุลินทรีย์ก่อโรคในลำไส้ มีการทดลองใช้อาสาสมัครที่มีสุขภาพแข็งแรง 23 คน รับประทานผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกที่มี *L. acidophilus* และ *L. bulgaricus* แล้วลองให้ได้รับเชื้อ *E. coli* ชนิดที่สร้างเอ็นเทอโรท็อกซิน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทั้งในอัตราการเกิดโรค ระยะฟักตัว และระยะเวลาในการเกิดโรคเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับโพรไบโอติก *Saccharomyces boulardii* ถูกนำมาใช้ในการทดลองเกี่ยวกับการป้องกันและรักษาโรคท้องร่วงสัมพันธ์กับการติดเชื้อ *C. difficile* ใช้ผู้ป่วยจำนวนทั้งหมด 180 คน ในการทดลอง เป็นกลุ่มควบคุม 20 คน พบว่าผู้ป่วยที่ได้รับโพรไบโอติกร้อยละ 9.5 มีอาการท้องเสีย เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีอาการร้อยละ 22 ดังนั้น การใช้โพรไบโอติกช่วย



ลดการเกิดอาการท้องร่วงที่สัมพันธ์กับการติดเชื้อ *C. difficile* ถึงแม้ว่า *S. boulardii* จะไม่สามารถป้องกันเชื้อก่อโรคได้ก็ตาม ตัวอย่างของเชื้อแบคทีเรียกลุ่มนี้ได้แก่ *Lactobacillus acidophilus* เป็นแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกเพียงอย่างเดียว เซลล์มีรูปร่างทรงแปดเหลี่ยม เคลื่อนไหวไม่ได้ เซลล์มีขนาด $0.6-0.9 \times 1.5-6$ ไมโครเมตร อยู่เดี่ยว ๆ หรือจับเป็นคู่ หรือรวมตัวกันเป็นสายโซ่สั้นๆ ไม่สร้างสปอร์ ไม่เจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่เจริญที่อุณหภูมิ 35-45 องศาเซลเซียส และพีเอชที่เหมาะสมในการเจริญ คือ 5.5- 6.0 ใช้น้ำตาล เช่น ฟรักโทส กาแลคโตส แลคโตส มอลโทส แมนโนส และแรฟฟิโนส ได้ (Tamime and Robinson, 1999)

2) *Bifidobacterium* แยกได้ครั้งแรกจากอุจจาระของทารกในปี ค.ศ. 1899-1900 โดย Tissier ปัจจุบันมีสมาชิก 30 สปีชี (Gomes and Malcata, 1999) มีสมบัติสำคัญ คือ แบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างเป็นท่อนสั้น ไม่ให้เอนไซม์อะไมเลส เคลื่อนที่ด้วยตัวเองไม่ได้และไม่สร้างสปอร์ ไม่เจริญในสภาพที่มีออกซิเจน ช่วงอุณหภูมิต่ำสุดที่เจริญได้ คือ 25-28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่เจริญได้ คือ 43-45 องศาเซลเซียส แบคทีเรียนี้เจริญได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.0-8.0 (สุเมธนา, 2549) สามารถหมักน้ำตาลกลูโคสให้เป็นกรดอะซิติก และกรดแลคติกในอัตราส่วน 3:2 ไม่สังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะผลิตกรดแลคติกในรูป L(+) ซึ่งร่างกายใช้ในระบบเมแทบอลิซึมได้มากกว่า กรดแลคติกในรูป L(-) นอกจากนี้ยังสามารถหมักน้ำตาลเฮกโซสได้เป็นกรดแลคติกโดยผ่านวิถีฟอสโฟคีโตเลท (phosphoketolase pathway) เมื่ออยู่ในสภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเซลล์ให้มีก้านมากมายในอาหารที่ขาดเบต้า-เมทิล-ดี-กลูโคซามีน (β -methyl-D-glucosamine) เซลล์ที่มีลักษณะเป็นสองส่วนเท่ากันจะเกิดรูปร่างที่แตกแขนงมากขึ้น และเมื่อมีการเติมกรดอะมิโนเพียงเล็กน้อยในอาหารเลี้ยงเชื้อ เซลล์ที่เป็นก้านมากมายจะเปลี่ยนเป็นแท่งโค้ง *Bifidobacterium* นี้ พบได้ในลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ และช่องคลอด ช่วยผลิตวิตามินบี อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญคือ 37-41 °C, pH ที่เหมาะสมคือ 5.5-7.0 ผลิตกรดอะซิติก และกรดแลคติก ทำให้เพิ่มความเป็นกรดในลำไส้ ตัวอย่างของเชื้อแบคทีเรียกลุ่มนี้ ได้แก่ *Bifidobacterium lactis*

2.8.5 ประโยชน์ของโพรไบโอติก

ประโยชน์ของโพรไบโอติก สามารถสรุปได้ดังนี้

2.8.5.1 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคได้ด้วยกลไกหลายอย่าง เช่น สามารถแข่งขันกับจุลินทรีย์ก่อโรค โดยยึดเกาะบริเวณเยื่อผิวผนังทางเดินอาหารได้ และแย่งพื้นที่การเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค ผลิตสารต้านการเจริญของจุลินทรีย์ เป็นต้น (Guarner and Schaafsma, 1998)

2.8.5.2 เป็นจุลินทรีย์ที่มีความปลอดภัยเนื่องจากเป็นที่ยอมรับ และผ่านการคัดเลือกแล้วว่ามีความปลอดภัย ไม่ทำให้เกิดโรค และไม่แพ้พิษ (Guarner and Schaafsma, 1998)

2.8.5.3 มีความสามารถในการผลิตสารต้านจุลชีพ เช่น แบคเทอริโอซิน กรดแลคติกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อื่นๆ ก่อให้เกิดโทษได้ และสารที่สร้างขึ้นสามารถเพิ่มความต้านทานต่อสภาวะการติดเชื้อภายในลำไส้ได้ (Guarner and Schaafsma, 1998)



2.8.5.4 สามารถส่งเสริมภาวะโภชนาการของผู้บริโภคได้ คือ มีการสังเคราะห์สารอาหารที่จำเป็น และนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น วิตามินบี 12 ที่ทำให้การเจริญเติบโตของผู้บริโภคดีขึ้น เนื่องจากวิตามินบี 12 มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดอะมิโน และการสร้างโปรตีน (Grosso Favaro-Trindade, 2002)

2.8.5.5 สามารถกระตุ้นให้เกิดภูมิคุ้มกันต้านทานในร่างกายผู้บริโภค (Favaro-Trindade, 2002)

2.8.5.6 ไม่ตกค้างสะสมในร่างกาย และไม่ถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร (Grosso Favaro-Trindade, 2004)

2.8.5.7 ช่วยขจัดสารพิษ (detoxification) และมลภาวะต่างๆจากร่างกาย เช่น แอมีน (amine) และก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น เนื่องจากโปรตีนถูกเปลี่ยนเป็นแอมายและก๊าซแอมโมเนีย โดยการเพิ่มกิจกรรมเมแทบอลิซึม (metabolism activity) ของเชื้อ *Escherichia coil* (ธารารัตน์ ศุภกิจ, 2542)

2.8.5.8 สามารถลดระดับคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ให้อยู่ในระดับปกติ (ธารารัตน์ ศุภกิจ, 2542)

2.8.5.9 ช่วยบำบัดภาวะเบื่ออาหาร ภาวะเครียด (ธารารัตน์ ศุภกิจ, 2542)

2.8.5.10 ช่วยในการทำงานของไต และตับให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Guarner and Schaafsma, 1998)

2.8.5.11 สามารถส่งเสริมระบบการไหลเวียนของเลือดให้ดียิ่งขึ้น (Guarner and Schaafsma, 1998)

2.8.5.12 สามารถผลิตเอนไซม์แลคเตส (lactase) และเอนไซม์อะไมเลส (amylase) ทำให้ง่ายต่อการได้รับเอนไซม์มากขึ้น จึงสามารถช่วยย่อยน้ำตาลในนมทำให้ไม่มีอาการท้องอืดจากการดื่มนม และช่วยให้การดูดซึมแคลเซียมดีขึ้น ส่งผลลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคกระดูกพรุน โดยเฉพาะกระดูกในลำไส้ใหญ่และกระดูกสันหลัง (ธารารัตน์ ศุภกิจ, 2542)

2.8.5.13 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง และกำจัดสารก่อมะเร็งบางชนิด (ธารารัตน์ ศุภกิจ, 2542)

2.8.5.14 ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของสายพันธุ์ และไม่เกิดการแพ้ (ธารารัตน์ ศุภกิจ, 2542)

2.8.5.15 จุลินทรีย์มีบทบาทมากในระบบการย่อยอาหาร ระบบขับถ่าย และระบบภูมิคุ้มกัน โดยจะเข้าไปอาศัยอยู่ในลำไส้ตั้งแต่เกิด ในลำไส้ควรมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์มากกว่าจุลินทรีย์ก่อโรค ในอัตราส่วนจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค เท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ต่อ 15 เปอร์เซ็นต์ (ธารารัตน์ ศุภกิจ, 2542)

2.9 ซินไบโอติก (synbiotic)

2.9.1 ความหมาย

ซินไบโอติก หมายถึงการผสมกันระหว่างโพรไบโอติกและพรีไบโอติกและการผสมดังกล่าวต้องช่วยปรับปรุงการรอดชีวิตของแบคทีเรีย ซึ่งอยู่ในระบบกระเพาะลำไส้ส่วนบน (Roberfroid,



2000) และเป็นการส่งผ่านจุลินทรีย์ที่มีชีวิต เข้าไปในรูปของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (dietary supplements) ในทางเดินอาหารและลำไส้

2.9.2 ผลิตภัณฑ์ชีนไบโอติก

ปัจจุบัน ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพที่เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริม รวมถึง อาหารที่เป็นส่วนผสมระหว่างโพรไบโอติก และพรีไบโอติก ได้รับการยอมรับและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการรับรู้ข่าวสารข้อมูลด้านสุขภาพของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น และความสัมพันธระหว่างอาหารและสุขภาพ บอกให้ทราบถึงคุณประโยชน์ของพรีไบโอติก สามารถกระตุ้นการเจริญของโพรไบโอติกแบบเจาะจงและสามารถกำจัดแบคทีเรียที่เป็นอันตราย ในลำไส้ ดังนั้นจึงปรับปรุงสุขภาพ เจ้าภาพ (Phakkhateem, 2000) ได้แก่ โยเกิร์ตเสริมโพรไบโอติก นมเปรี้ยว ยาคุลท์ และข้าวหมาก

2.9.3 ประโยชน์

2.9.3.1 ลดความเสี่ยงมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Reddy, 1999)

2.9.3.2 ปรับสมดุลในระบบทางเดินอาหารและลำไส้ใหญ่ (Bielecka, 2002)

2.10 ผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

2.10.1 ไอศกรีม (ice cream)

ไอศกรีม หมายถึง ผลิตภัณฑ์นมแช่เยือกแข็งที่ผลิตจากการแช่เยือกแข็งส่วนผสมที่นำไปปั่นเพื่อรวมตัวกับอากาศและได้ลักษณะที่คงตัว ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์นม (ไขมันนม) น้ำตาล น้ำ น้ำเชื่อม สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ รวมถึงไข่ ผลิตภัณฑ์จากไข่ สี กลิ่นรสที่ปลอดภัย (Marshall and Arbuckle, 1996: 1)

2.10.2 ชนิดของไอศกรีม

ชนิดของไอศกรีมมีหลายชนิดตามส่วนผสมในสูตรการผลิต ได้แก่

- 1) ไอศกรีมที่มีกลิ่นรสเพียง 1 ชนิด (plain ice cream) ซึ่งหมายถึง ไอศกรีมวนิลา
- 2) ไอศกรีมที่เติมผลไม้ หรือ น้ำผลไม้ (fruit ice cream)
- 3) ไอศกรีมที่เติมถั่วต่างๆ (nut ice cream)
- 4) ไอศกรีมที่มีส่วนของไข่แดงอย่างน้อยร้อยละ 1.4 (frozen custard; French ice cream)
- 5) ไอศกรีมผลไม้ที่ใส่ไข่ หรือไข่แดงตามต้องการ (ice cream pudding)
- 6) ไอศกรีมเชอร์เบต (sherbet) หมายถึง ไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งไขมันเล็กน้อยรวมกับน้ำตาล น้ำผลไม้ กลิ่นรสผลไม้และสารให้ความคงตัวต้องประกอบด้วยไขมันนมร้อยละ 1 - 2 และของแข็งทั้งหมดในนมร้อยละ 2-5
- 7) ไอศกรีมที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไอศกรีมเชอร์เบต แต่ไม่มีปริมาณของแข็งไขมันหรือไข่ (water ice)
- 8) ไอศกรีมที่ใช้น้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ทดแทนไขมันนม (mellorine-type ice cream)
- 9) ไอศกรีมที่มีสูตรเช่นเดียวกับไอศกรีม แต่ผสมกับโยเกิร์ต (frozen yogurt)



2.10.3 ส่วนผสมในไอศกรีม

ส่วนผสมในไอศกรีม แบ่งเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย

- 1) ส่วนที่เป็นนมและผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ นม ครีม หางนมผง และนมระเหยต่างๆ
- 2) ส่วนที่ไม่ใช่นมและผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ น้ำตาล สารให้ความคงตัว

อิมัลซิไฟเออร์ สารให้กลิ่นและสี ปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ ที่ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะดี คือ ไขมัน ร้อยละ 12 น้ามนไม่รวมมันเนยร้อยละ 11 น้ำตาลร้อยละ 15 สารให้ความคงตัว หรืออิมัลซิไฟเออร์ ร้อยละ 0.3 และปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 38.3

2.10.4 บทบาทของส่วนผสมในไอศกรีม

ส่วนผสมในไอศกรีม มีหน้าที่ดังนี้

1) ไขมันนม (milk fat) เป็นส่วนผสมหลักที่สำคัญในไอศกรีม นอกจากด้านกลิ่นรส และความเรียบเนียนของเนื้อสัมผัสในไอศกรีม ไขมันนมยังเป็นส่วนผสมที่มีมาตรฐานทางกฎหมาย กำหนด ปริมาณไขมันไอศกรีมโดยทั่วไปอยู่ระดับร้อยละ 10-12 ขณะแช่เยือกแข็งเม็ดไขมันใน ไอศกรีมทำหน้าที่รวมตัวกันยึดผนังฟองอากาศ ทำให้ไอศกรีมเก็บอากาศได้ และช่วยขัดขวางการเกิด ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ได้เนื้อสัมผัสไอศกรีมที่เรียบเนียน ซึ่งแหล่งของไขมันนม ได้แก่ ครีม เนย เนยเหลว เป็นต้น

2) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เป็นสารที่ทำให้เกิดอิมัลชันที่คงตัว สารอิมัลซิไฟเออร์จากธรรมชาติ เช่น ไข่แดง หรือ เลซิทีน การใช้ไข่แดงมีผลทางด้านรสชาติ กลิ่น รส และการเกิดอิมัลชันไปด้วยพร้อมกัน อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช่มากในไอศกรีม ได้แก่ มอโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โซบิทอล โกลคอล และโกลคอลเอสเทอร์ อิมัลซิไฟเออร์ มีหน้าที่สำคัญในไอศกรีมหลายประการ เช่น ทำให้ไขมันเกิดการกระจายตัวในส่วนของน้ำ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสามารถของส่วนผสม ไอศกรีมในการจับอากาศได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นจึงลดการยุบตัวของไอศกรีม ทำให้เนื้อสัมผัสไอศกรีมเนียน ปรับปรุงลักษณะการละลาย และช่วยลดการแยกตัวของชั้นไขมันจากส่วนของน้ำในระหว่าง กระบวนการแช่แข็งไอศกรีม ข้อเสียของการใช้อิมัลซิไฟเออร์ในปริมาณที่สูงเกินไป มีผลทำให้ไอศกรีมมี ลักษณะการละลายที่ไม่ดี หรือมีกลิ่นรสผิดปกติ

3) สารให้ความคงตัว สารให้ความคงตัว (stabilizer) ทำหน้าที่จับกับน้ำบางส่วนจึง ช่วยลดลักษณะการเปลี่ยนแปลงระหว่างน้ำแข็งกลายเป็นน้ำ หรือน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง เมื่ออุณหภูมิ เปลี่ยนส่งผลให้ลักษณะของเนื้อสัมผัสไม่เรียบเนียน สารให้ความคงตัวเป็นสารจำพวกไฮโดร-คอลลอยด์ ที่นิยมใช้ได้แก่

3.1) เจลาติน (gelatine) เป็นสารประกอบโปรตีน ผลิตจากหนังและกระดูก สัตว์

3.2) โซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate) ปริมาณการใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.18-0.25 ของน้ำหนักไอศกรีมเหลว

3.3) คาราจีแนน (carrageenan) ต้องใช้ความร้อนในการละลายให้ความหนืดสูง ป้องกันการแยกตัวของเวย์ ปริมาณการใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.1-0.3

3.4) กวักัม (guar gum) สามารถละลายได้ในน้ำเย็น เหมาะกับการ พาสเจอร์ไรส์แบบ HTST ให้ความหนืดสูงมาก ถ้าใช้มากเกิดลักษณะลื่น (sliminess) ปริมาณการใช้ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.2-0.3



3.5) โลคัสต์บีงกัม (locust bean gum) ต้องใช้ความร้อนละลายให้ความหนืดสูงแต่ไม่เกิดเจล นิยมใช้ร่วมกันกับคาราจีแนน ปริมาณการใช้ในช่วงร้อยละ 0.1-0.3

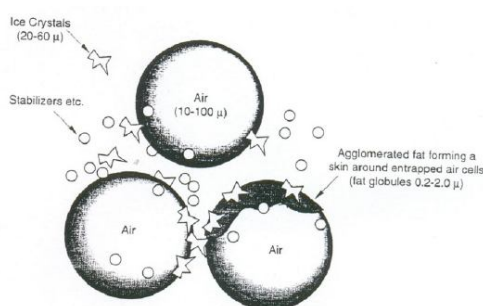
3.6) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) ละลายได้ในน้ำเย็น มีสมบัติการอุ้มน้ำสูงเกิดเป็นเจลอ่อนๆ ได้ด้วยตัวมันเอง ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อเรียบเนียน มี chewy body และปรับปรุงสมบัติการขึ้นฟู ปริมาณการใช้ในช่วงร้อยละ 0.15-0.2

จุดประสงค์หลักของการใช้สารคงตัวในไอศกรีม เพื่อต้องการให้ลักษณะเนื้อไอศกรีมเรียบเนียน ป้องกันและลดการเกิดผลึก น้ำแข็งในขณะเก็บรักษา ให้ลักษณะที่เป็นเนื้อเดียวกันและทำให้เกิดการละลายของไอศกรีมช้าลง นอกจากนี้สารให้ความคงตัวยังสามารถสร้างลักษณะโครงสร้างของเจลได้ในน้ำและช่วยจับน้ำได้อีกด้วย จึงเป็นการช่วยเพิ่มความหนืดให้ส่วนผสมไอศกรีมและความหนืดที่เพิ่มขึ้นนี้ช่วยให้อากาศแทรกตัวได้มากขึ้น (marshall and Arbuckle, 1996: 72-75)

4) ปริมาณของแข็งในน้ำนมไม่รวมไขมัน หรือน้ำนมไม่รวมมันเนย

ปริมาณของแข็งในน้ำนมไม่รวมไขมัน หรือน้ำนมไม่รวมมันเนย (milk solid non fat, MSNF) ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 37 น้ำตาลแล็กโทสร้อยละ 55 และเกลือแร่ร้อยละ 8 โปรตีนในธาดุน้ำนมไม่รวมมันเนย จะทำให้ไอศกรีมคงตัวเรียบเนียน ป้องกันไม่ให้เกิดเนื้อไอศกรีมเหลวและหยาบ น้ำตาลแล็กโทสทำหน้าที่ให้ความหวาน เกลือแร่ให้รสชาติเค็มเล็กน้อยช่วยเสริมให้รสชาติไอศกรีมดีขึ้น ดังนั้นปริมาณธาดุน้ำนมไม่รวมมันเนยต้องเหมาะสม ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้มีรสเค็ม เกิดการไหม้ เมื่อให้ความร้อนและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดผลึกของน้ำตาลแล็กโทสระหว่างเก็บรักษา นอกจากนี้ น้ำนมไม่รวมมันเนย ยังช่วยเพิ่มความหนืด ไอศกรีมละลายได้ช้าและมีจุดเยือกแข็งต่ำลงด้วย

5) น้ำและอากาศ น้ำอยู่ในส่วนเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) อากาศกระจายอยู่ในอิมัลชันระหว่างไขมันและของเหลว พื้นผิวระหว่างน้ำและอากาศคงตัวได้ด้วยฟิล์มบางๆ ของส่วนผสมที่ไม่แข็งตัวและเม็ดไขมัน ในขณะที่แช่เยือกแข็งไอศกรีมที่อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส น้ำร้อยละ 85- 90 แข็งตัวโดยมีผลึกน้ำแข็งขนาด 20-60 ไมครอนล้อมรอบเซลล์อากาศที่ขนาด 10-100 ไมครอนและเม็ดไขมันขนาด 0.2-2.0 ไมครอน แสดงได้ดังภาพประกอบ 2.16

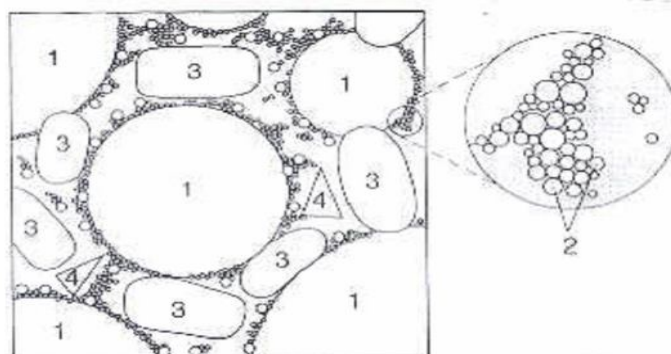


ที่มา : Marshall and Arbuckle (1996: 169)

ภาพประกอบ 2.16 การจัดเรียงตัวของผลึกน้ำแข็งและอากาศในไอศกรีม



การจัดเรียงตัวของส่วนผสมต่าง ๆ ในไอศกรีม แสดงดังภาพประกอบ 2.17



ที่มา : Marshall and Arbuckle, 1996, p. 168

หมายเหตุ 1 ฟองอากาศ 2 เม็ดไขมันล้อมรอบฟองอากาศ

3 ผลึกน้ำแข็ง 4 ผลึกน้ำตาลเล็กโตส

ภาพประกอบ 2.17 โครงสร้างทางกายภาพของไอศกรีม

2.10.5 การเตรียมไอศกรีมมิกซ์

ไอศกรีมโดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ประเภทคือแบบนุ่ม (soft) แบบแข็ง (hard) และแบบมูส (mousse) ผลิตภัณฑ์นี้จะมีลักษณะทางกายภาพคล้ายไอศกรีมและมีลักษณะที่เด่นชัดคือเติมเชื้อโปรไบโอติก พร้อมกับมีความเย็นของไอศกรีมเมื่อเทียบกับไอศกรีมแล้วไอศกรีมข้าวกล้องงอกซินไบโอติกจะมีปริมาณสารเพิ่มความคงตัว หรืออิมัลซิไฟเออร์สูงกว่าเพราะส่วนผสมเหล่านี้มีความจำเป็นในระหว่างกระบวนการปั่นไอศกรีม (freezing process) เพื่อรักษาโครงสร้างฟองอากาศซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีของส่วนผสมและอุณหภูมิขณะเก็บรักษามีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นี้จากตาราง 2.5 แสดงสูตรที่แนะนำสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์

ตาราง 2.5 ส่วนประกอบทางเคมี (กรัมต่อ 100 กรัม) ของไอศกรีมมิกซ์

ส่วนประกอบ	ชนิดไอศกรีมมิกซ์		
	นุ่ม	แข็ง	มูส
ไขมัน	2-6	2-6	3
ของแข็งไม่รวมไขมัน, SNF	5-10	5-14	12
น้ำตาล	8-20	8-16	8
สารเพิ่มความคงตัว/อิมัลซิไฟเออร์	0.2-1.0	0.2-1.0	2.4
% overrun	50-60	70-80	90

ที่มา : Tamime และ Robinson (1999)



2.10.6 กระบวนการผลิตไอศกรีมข้าวกล้องงอกซินไบโอติก

ไอศกรีมข้าวกล้องงอกซินไบโอติกสามารถผลิตได้ 2 แบบ คือ ผลิตจากไอศกรีมไอศกรีมข้าวกล้องงอกผสมกับไอศกรีมมิกซ์ หรือผลิตจากไอศกรีมไอศกรีมข้าวกล้องงอกโดยตรง โดยพัฒนาจากสูตรพื้นฐานของกระบวนการเหมือนการผลิตไอศกรีมทั่วไป

2.11 ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2.11.1 อาหาร

อาหารต่างๆ ของมนุษย์ เช่น ข้าว เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ ก็เป็นอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์เช่นกัน จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนเข้ามาในอาหารที่เราผลิตได้จากแหล่งต่าง ๆ ตั้งแต่วัตถุดิบที่นำมาเข้าสู่โรงงาน ดิน น้ำ อากาศ และเครื่องมือสำหรับการแปรรูปอาหาร นอกจากนี้ยังมาจากตัวคนและสัตว์ เมื่อมีอาหาร จุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมและจุลินทรีย์ที่ติดมากับตัวอาหารเอง จะย่อยสลายสารอาหารดังกล่าวเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนต่อไป

2.11.2 น้ำ

ปริมาณน้ำในอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียต้องการปริมาณน้ำมากกว่ายีสต์และรา อาหารแต่ละชนิดจะเสียเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ หรือที่เรียกว่า water activity หรือ a_w (ตาราง 2.5)

อาหารที่มีปริมาณน้ำมากจัดอยู่ในประเภทที่มีค่า a_w สูง ได้แก่ อาหารสดทั้งหลาย เช่น เนื้อสัตว์ อาหารทะเลและผักสด เป็นต้น อาหารที่มีค่า a_w ปานกลาง ได้แก่ แยม ทูเรียนกวน และกึ่งแห้ง เป็นต้น อาหารที่มีค่า a_w ต่ำ ได้แก่ นมผง ธัญพืช และกาแฟ เป็นต้น อาหารที่มีค่า a_w ต่ำ จะเกิดการเน่าเสียได้ยาก และสามารถเก็บรักษาไว้นาน

จุลินทรีย์แต่ละชนิดเจริญได้ในอาหารที่มีค่า a_w ต่างกันแบคทีเรียจะเจริญได้ดีในอาหารที่มีค่า a_w สูง ส่วนยีสต์และรา นั้น ทนสภาพแห้งแล้ง (ค่า a_w ต่ำ) ได้ดีกว่าแบคทีเรีย นั่นคือ การเน่าเสียส่วนใหญ่จะเกิดจากยีสต์และรา

2.11.3 อุณหภูมิ

แบคทีเรียแต่ละประเภทมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 พวก คือ

2.11.3.1 Psychrophile หมายถึง แบคทีเรียที่ชอบความเย็น เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ -5°C ถึง 5°C และเจริญอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ $12-15^{\circ}\text{C}$ แต่จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะไม่ทนความร้อน เช่น *Listeria monocytogenes*

2.11.3.2 mesophile หมายถึง แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ $35-37^{\circ}\text{C}$ พบว่า แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการเน่าเสียของอาหารและการเกิดโรค รวมทั้งการเกิดอาหารเป็นพิษ ส่วนใหญ่จะอยู่ในประเภท mesophile นี้ เช่น *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอากาศค่อนข้างร้อนเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้มาก ดังนั้นบริเวณผลิตจึงควรมีการถ่ายเทอากาศดี ไม่ร้อนอบอ้าว



2.11.3.3 Thermophile หมายถึง แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 45°C แบคทีเรียพวกนี้ส่วนใหญ่จะสร้างสปอร์ที่ทนความร้อนได้ดี แม้ว่าพวก thermophiles ส่วนใหญ่ จะไม่ก่อให้เกิดโรคและสร้างสารพิษ แต่ก็มี thermophiles บางตัว เช่น *Bacillus cereus* ที่สามารถสร้างสารพิษได้ ซึ่งพบได้ในแป้งและนมผง เป็นต้น

ตาราง 2.6 ค่า a_w ที่น้อยที่สุดซึ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่พบในอาหาร

ชนิดของสิ่งมีชีวิต	a_w	ชนิดของสิ่งมีชีวิต	a_w
กลุ่ม			
แบคทีเรียที่ทำให้อาหารเสีย	0.90	แบคทีเรียที่ชอบความเค็ม	0.75
ยีสต์ที่ทำให้อาหารเสีย	0.83	ราที่โตได้เมื่อมีปริมาณน้ำน้อย	0.61
ราที่ทำให้อาหารเสีย	0.80	ยีสต์ที่ทนความดันสูง	0.60
ชนิดของสิ่งมีชีวิต			
<i>Clostridium botulinum</i> Type E	0.97	<i>Candida scottii</i>	0.92
<i>Pseudomonas</i> spp.	0.97	<i>Trichosporon pullulans</i>	0.91
<i>Acinetobacter</i> spp.	0.96	<i>Candida zeylanoides</i>	0.90
<i>Escherichia coli</i>	0.96	<i>Endomyces cemolis</i>	0.89
<i>Enterobacter aerogenes</i>	0.95	<i>Staphylococcus aureus</i>	0.86
<i>Bacillus subtilis</i>	0.95	<i>Alternaria citri</i>	0.84
<i>Clostridium botulinum</i>	0.94	<i>Penicillium patalum</i>	0.81
Types A and B		<i>Aspergillus glaucus</i>	0.70
<i>Candida utilis</i>	0.94	<i>Aspergillus conicus</i>	0.70
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0.94	<i>Aspergillus echinulatus</i>	0.64
<i>Batrytis cinerea</i>	0.93	<i>Saccharomyces rouxii</i>	0.62
<i>Rhizopus stolonifer</i>	0.93	<i>monascus bisparus</i>	0.61
<i>mucor spemosus</i>	0.93	(<i>Xeromyces bisporus</i>)	



ตาราง 2.7 อุณหภูมิต่ำสุดซึ่งเชื้อที่ทำให้เกิดโรคซึ่งอาศัยอยู่ในอาหารต้องการในการเจริญเติบโต

ชนิดของสิ่งมีชีวิต	อุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเจริญเติบโต (°C)
<i>Listeria onccytogenes</i>	1
<i>Yersinia enterocolitica</i>	-2
enterotoxigenic <i>Escherichia coli</i>	3
<i>Vibrio vulnificus</i>	5
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0-5
non-proteolytic <i>Clostridium botulinum</i>	3.3
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	5-7
<i>Salmonella</i>	7-10
<i>Bacillus cereus</i>	6-10
<i>Staphylococcus aureus</i>	7-10
proteolytic <i>Clostridium botulinum</i>	10
<i>Clostridium perfringens</i>	12

แม้ว่าจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดปัญหาในอาหารส่วนใหญ่จะเป็นพวก mesophiles แต่ก็พบว่ามีจุลินทรีย์ที่เป็น pathogens หลายตัวที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ในตู้เย็น (ตาราง 2.6) แต่อย่างไรก็ตาม เวลาในการแบ่งตัว (generation time) ของ pathogens เหล่านี้จะนาน (ตาราง 2.8)

ตาราง 2.8 ค่าประมาณของเวลาที่ใช้ในการแบ่งตัวของแบคทีเรียที่ชอบความเย็น

อุณหภูมิ (°C)	ค่าประมาณของเวลาที่ใช้ในการแบ่งตัว (นาที)
25	30
20	75
15	120
10	200
5	1200

อย่างไรก็ตาม ในการที่จุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายจะก่อปัญหาได้นั้น จะต้องมีจำนวนมากพอ ดังแสดงไว้ในตัวอย่างในตาราง 2.9



ตาราง 2.9 ปริมาณของเชื้อที่ทำให้เกิดโรคในลำไส้ใหญ่

ชนิดของสิ่งมีชีวิต	ปริมาณที่ทำให้เกิดโรค (เซลล์)
<i>Shigella dysenteriae</i>	10^1 - 10^4
<i>Shigella flexneri</i>	10^2 - 10^9
<i>Vibrio cholerae</i>	10^3 - 10^9
<i>Salmonella typhi</i>	10^4 - 10^9
<i>Salmonella species (non-typhi)</i>	10^5 - 10^{10}
<i>Escherichia coli</i> (pathogenic types)	10^6 - 10^{10}
<i>Clostridium perfringens</i>	10^8 - 10^9
<i>Yersinia enterocolitica</i>	10^9

ส่วนจุลินทรีย์ที่สารพิษ เช่น *Staphylococcus aureus* จะสร้างสารพิษ เมื่อเจริญจนมีปริมาณ 10^6 cells

2.11.4 ปริมาณออกซิเจน หรือปริมาณอากาศ ในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแต่ละประเภทนั้นจะมีความต้องการปริมาณออกซิเจนมากน้อยแตกต่างกัน จึงมีการแบ่งแบคทีเรียออกเป็น aerobic bacteria คือ จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนหรืออากาศในการเจริญเติบโต microaerophilic bacteria คือ จุลินทรีย์ที่ต้องการปริมาณออกซิเจนเพียงเล็กน้อยในการเจริญเติบโต anaerobic bacteria คือ จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนหรืออากาศในการเจริญเติบโต

2.11.5 ความเป็นกรด-ด่างในอาหาร (pH) จุลินทรีย์โดยทั่วไปจะเจริญได้ดีในอาหารที่มี pH 5.5-7.0 แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่ทนต่อกรด จึงเจริญได้ดีในอาหารประเภทเนื้อสัตว์ แต่อย่างไรก็ตาม มีแบคทีเรียบางชนิด เช่น lactic acid bacteria สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่เป็นกรด เช่น แหนม และนมเปรี้ยว ส่วนยีสต์และราเจริญได้ในอาหารที่มี pH ต่ำ หรืออาหารที่เป็นกรด (มีรสเปรี้ยว)

การจัดกลุ่มอาหารตาม pH ของอาหาร โดยพิจารณาถึงจุลินทรีย์ที่สำคัญที่สร้างสารพิษ และทำให้ผู้บริโภคเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก คือ *Clostridium botulinum* เป็นหลัก จุลินทรีย์นี้และสปอร์ของมันสามารถทนความร้อนได้สูง และโดยที่จุลินทรีย์นี้สามารถเจริญได้ใน pH ต่ำสุด คือ 4.8 และมีความต้านทานต่อความร้อนมาก จึงได้จัดกลุ่มอาหารโดยพิจารณา pH ของการเจริญเติบโตของ *Clostridium botulinum* เป็นหลัก และจัดได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

low acid foods คือ อาหารที่มี pH มากกว่า 4.6

acid foods คือ อาหารที่มี pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.6

pH ของอาหารมีผลต่อความต้านทานของแบคทีเรีย คือ ในอาหารที่มีความเป็นกรดสูง หรือมีค่า pH ต่ำ แบคทีเรียจะทนความร้อนได้น้อยกว่าเมื่อมันอยู่ในอาหารที่มี pH ต่ำ และสปอร์ของ *Clostridium botulinum* จะไม่ออก เมื่อ pH ของอาหารต่ำกว่า 4.6 ค่า pH ต่ำสุดที่แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคบางตัวเจริญได้ ดังตาราง 2.10



ตาราง 2.10 ค่า pH ต่ำสุดที่แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคบางตัวเจริญได้

ชนิดของสิ่งมีชีวิต	ค่า pH ต่ำสุด
<i>Clostridium botulinum</i>	4-8
<i>Salmonella</i>	4.0
<i>Listeria</i> เมตรอนอคโตเจเนส	4.5-5.0

2.11.6 เวลา แบคทีเรียเจริญได้เร็วกว่ายีสต์และรา คือ สามารถแบ่งตัวได้ภายในเวลา 20-30 นาที จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า แบคทีเรียจะไม่ถูกปนเปื้อน ด้วยเชื้อยีสต์และราดังตัวอย่างในตาราง 2.11

ตาราง 2.11 การเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

เวลา (ชั่วโมง)	จำนวนเซลล์
0	1
1	4
2	16
3	64
4	256
5	1,024
6	4,096
7	16,384
8	65,536

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนินันท์ วรรณะหทัย (2542) ได้เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งที่ได้จากพันธุ์ข้าวไทยและการผลิตมอลโทเดกซ์ทรินโดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ทำการผลิตแป้งโดยวิธีไม่แห้งจากข้าวที่คัดเลือกพันธุ์แล้ว 5 พันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 ชัยนาท 1 เหนียว สันป่าตอง ก.วก. 1 และ ก่ำดอยสะเก็ดและศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าวที่ผลิตได้ ส่วนที่ 2 นำแป้งข้าวมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินเหลว (DE 12-20) และตรวจสอบองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตมวลโมเลกุลต่ำโดยเฉพาะพวกที่มี degree of polymerization (DP) ในช่วง 1-7 โดยเทคนิค paper chromatography และหาปริมาณโดยใช้ HPLC ผลการทดลองในส่วนแรกแสดงให้เห็นว่าพันธุ์ข้าวที่ต่างกันให้องค์ประกอบเคมีและสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน และให้ผลผลิตแป้งข้าวต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยพันธุ์ข้าวเหนียว (ข้าวเหนียวสันป่าตอง และข้าวกำดอยสะเก็ด) ให้ผลผลิตแป้งข้าวสูงกว่าพันธุ์ข้าวเจ้า (ข้าว ก.วก. 1, ขาวดอกมะลิ 105



และ ชัยนาท 1) ข้าวเหนียวมีความชื้น (10.01-10.10%) สูงกว่า แต่มีปริมาณอะไมโลส (3.70-5.25%) และไขมัน (0.89-1.07%) ต่ำกว่าข้าวเจ้า (9.82-9.98, 1.41-2.63 และ 18.50-29.64% ตามลำดับ) ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าองค์ประกอบเคมีทำให้ความแข็งแรงภายในเมล็ดของข้าวต่างพันธุ์มีความต่างกันและส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของข้าวต่างพันธุ์มีความแตกต่างกัน แป้งข้าวมีความสัมพันธ์ทางลบกับ อะไมโลส และไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) กำลังการพองตัวและการละลายของแป้งก็ให้ความสัมพันธ์ทางลบกับอะไมโลสและไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ขณะที่ pasting temperature ให้ความสัมพันธ์ทางบวกกับอะไมโลสและไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) การผลิตมอลโทเดกซ์ทรินเหลวให้มี DE 15-20 แสดงให้เห็นว่าข้าวต่างพันธุ์จะใช้เวลาในการย่อยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เวลาที่ใช้ในการย่อยของแป้งข้าว ก.ว.ก.1 แป้งข้าวเหนียว สันป่าตองข้าวท่าคอยสะเกิด แป้งข้าวชัยนาท 1 และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 อยู่ในช่วง 11.07-22.38, 23.03-37.93, 24.65-39.76, 36.00-55.54 และ 39.79-58.22 นาที ตามลำดับมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว ก.ว.ก. 1, เหนียวสันป่าตอง และท่าคอยสะเกิด มีองค์ประกอบของน้ำตาล DP 3, 5 และ 6 เป็นหลักซึ่งปริมาณสัดส่วนของน้ำตาล DP 3, 5 และ 6 ในมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวทั้ง 3 พันธุ์เรียงตามลำดับ คือ ร้อยละ 63.66, 59.56 และ 54.52 มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวชัยนาท 1 และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีองค์ประกอบของน้ำตาล DP 5, 6 และ 7 เป็นหลัก ในปริมาณร้อยละ 52.06 และ 51.63 ตามลำดับ มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า 2 พันธุ์ที่ให้ความชื้นสูงในขณะที่มีมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว ก.ว.ก. 1, แป้งข้าวเหนียวสันป่าตองและแป้งข้าวท่าคอยสะเกิดมีความใส แม้ทำการเก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 2 เดือนนอกจากนี้ยังพบว่ามอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวท่าคอยสะเกิดให้ผลิตภัณฑ์สีส้มพว่อน

ปาริชาติ หิรัญพงษ์ และวรรณา ตั้งเจริญชัย (2551) ได้ศึกษาผลของการออกต่อปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องงอกสามสายพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 กข23 และชัยนาท 1 สามารถดูดซับน้ำสูงสุดที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 °C ในเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ปัจจัยของระยะเวลาการงอกที่อุณหภูมิ 35 ± 0.5 °C นาน 6-24 ชั่วโมงและสายพันธุ์ข้าวที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารชีวกิจกรรมในเมล็ดข้าวกล้องงอก ข้าวกล้องงอกสามสายพันธุ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 20.76 ± 0.16 , 23.42 ± 0.58 และ 26.38 ± 0.05 มิลลิกรัมแกลกติกต่อแป้งข้าว 100 กรัมตามลำดับและมีปริมาณสูงสุดเมื่อเวลาการทำงาน 24 ชั่วโมง คือ 24.16 ± 1.62 , 28.70 ± 0.72 และ 47.99 ± 0.55 มิลลิกรัมต่อแป้งข้าว 100 กรัมตามลำดับพบแกมมาโอไรซานอลในข้าวกล้องงอกทั้งสามสายพันธุ์เท่ากับ 83.54 ± 0.94 , 84.41 ± 0.75 และ 86.52 ± 0.62 มิลลิกรัมต่อแป้งข้าว 100 กรัมตามลำดับและมีปริมาณสูงสุดเมื่อเวลาการทำงาน 24 ชั่วโมงเท่ากับ 102.76 ± 0.90 , 84.25 ± 1.98 และ 102.04 ± 1.44 มิลลิกรัมต่อแป้งข้าว 100 กรัมตามลำดับไม่พบ GABA (gamma-aminobutyric acid) ในข้าวกล้องงอกทั้งสามสายพันธุ์ระยะเวลาของการทำงานมีแนวโน้มต่อการเพิ่มปริมาณ GABA ในจมูกข้าวกล้องงอกสามสายพันธุ์และเมื่อใช้เวลาการทำงาน 24 ชั่วโมงพบปริมาณ GABA เท่ากับ 76, 77 และ 186 มิลลิกรัมต่อจมูกข้าว 100 กรัมตามลำดับ

สุนันทา ทองทา (2552) ได้ศึกษากระบวนการผลิตแป้งทนต่อการย่อยของเอนไซม์ชนิด 3 โดยใช้แป้งข้าวโปรตีนต่ำเป็นวัตถุดิบ ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการตัดกิ่งสตาร์ข้าวจาก 3 ตัวแปร สภาวะที่เลือกคือ สตาร์ข้าวตัดกิ่งที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของสตาร์ข้าว 14.5% ร่วมกับ



ปริมาณเอนไซม์พอลูลานเนส 60 พอลูลานเนสชนิดต่อกรัมแป้ง เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งแสดงค่าระดับการย่อยสูงสุด และมีปริมาณแป้งทนย่อยเกิดขึ้น 15.9% การศึกษาสภาวะการบ่มสตาร์ชข้าวตดกึ่งต่อการสร้างแป้งทนย่อย พบว่าการเพิ่มปริมาณสตาร์ชความเข้มข้น 15-30% และการเพิ่มระยะเวลาการบ่มจาก 24 เป็น 72 ชั่วโมงไม่มีผลต่อการสร้างแป้งทนย่อย โดยมีปริมาณแป้งทนย่อยเกิดขึ้นในช่วง 26-31% สำหรับอุณหภูมิการบ่มที่ 4, 25, 50, 80 และ 100 °C ไม่มีผลต่อการสร้างแป้งทนย่อย มีปริมาณแป้งทนย่อยเกิดขึ้นในช่วง 26-33% แสดงรูปแบบผลึกแบบ CB และมีปริมาณผลึกสัมพัทธ์ 16-20% ส่วนอุณหภูมิการลอมเหลวนั้นมีค่าสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิการบ่มเพิ่มขึ้น การบ่มสตาร์ชข้าวตดกึ่งในสภาวะอุณหภูมิการบ่มแบบวนรอบที่อุณหภูมิ 30/80 °C ใช้เวลาการบ่ม 48 ชั่วโมง พบว่าการบ่มแบบวนรอบ 3 รอบที่ใช้ระยะเวลาการเติบโตผลึกนานกว่าเวลาการเกิดนิวเคลียสมีปริมาณแป้งทนย่อยเกิดขึ้น 32% ขณะที่การบ่มแบบวนรอบ 3.5 รอบ ซึ่งใช้ระยะเวลาการเติบโตผลึกสั้นกว่ามีปริมาณแป้งทนย่อยเกิดขึ้น 37% แต่โครงสร้างผลึกที่ได้เป็นแบบ CB เหมือนกัน การบ่มแบบวนรอบโดยใช้อุณหภูมิการเกิดนิวเคลียส 30 และ 60 °C ไม่มีผลต่อการสร้างแป้งทนย่อย ขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิการเติบโตผลึกจาก 80 °C เป็น 120 °C มีผลในการลดการสร้างแป้งทนย่อย นอกจากนี้ยังทำให้อุณหภูมิการลอมเหลวเพิ่มขึ้นทั้ง 2 ช่วงคือ จาก 106 °C เป็น 121 °C และจาก 159 °C เป็น 177 °C การศึกษาวิธีการแยกแป้งทนย่อย ได้แก่ การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง การทำแห้งแบบพ่นฝอย การทำแห้งโดยวิธีการเอกซ์ทราซัน การทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน และการทำแห้งแบบรวดเร็ว (flash drying) พบว่าแต่ละสภาวะของแต่ละวิธีการทำแห้งไม่ทำให้ปริมาณแป้งทนย่อยของแป้งข้าว มีความแตกต่างกัน แต่การทำแห้งมีผลให้ปริมาณแป้งทนย่อยลดลงจากตัวอย่างแป้งทนย่อยแบบสด การทำแห้งแบบพ่นฝอยให้ปริมาณแป้งทนย่อยสูงสุด คือ 44% ขณะที่การทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน การเอกซ์ทราซัน และแบบลูกกลิ้งแสดงปริมาณแป้งทนย่อยเท่ากับ 39, 35 และ 35% ตามลำดับ แป้งข้าวทนย่อยที่ได้จากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งแสดงลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ CA ขณะที่การแยกแป้งวิธีอื่น ๆ แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ CB การตรวจสอบสมบัติของแป้งข้าวทนย่อยในด้านการผลิตกรดไขมันสายสั้นในลำไส้ใหญ่ พบว่าสามารถผลิตกรดไขมันสายสั้นได้ปริมาณ 173 mol/g โดยมีปริมาณของอะซิเตทสูงสุด คือ 110.83 mol/g รองลงมาคือ โพรพิโอเนต และบิวไทเรต

อุไรวรรณ สุวนานนท์ และสุตารัตน์ เจริมยังยืน (2551) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา การแช่และเวลาการเพาะที่มีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องงอก วางแผนการทดลองแบบ 2x4x7 Factorial design โดยนำข้าวกล้องแช่น้ำ 30 และ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง แล้วนำมาเพาะเป็นเวลา 0, 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง ก่อนนำไปอบแห้ง ทำการวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอก โดยใช้ DPPH พบว่าการแช่ข้าวที่ 30 และ 40 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การออกของเม็ตอดอยู่ในช่วง 55-85 และ 56-83 เปอร์เซ็นต์ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 92.65-94.78 และ 93.81-95.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไม่มี interaction ระหว่างปัจจัย แต่พบผลของปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิและเวลาการเพาะ โดยพบว่า ข้าวที่แช่น้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวที่แช่น้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ด้านผลของการเพาะ พบว่า ข้าวกล้องงอกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างนัยสำคัญ เมื่อเพาะเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ขึ้นไป ดังนั้น สภาวะที่



เหมาะสมในการงอกของข้าวกล้องที่มีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ คือ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการแช่ 3 ชั่วโมง และระยะเวลาการเพาะที่ 18 ชั่วโมง

Moongngarm (2010: 782-788) ได้ศึกษาน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าวเหนียว (กข. 6) ซึ่งทำการแช่ 12 h นำไปเพาะงอกในแคมเบอร์ 24 h อุณหภูมิ 28-30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% รดน้ำด้วยสปริงเกอร์อัตโนมัติ พบว่ากระบวนการงอกมีน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะผงข้าวกล้องงอกมีระดับน้ำตาลทั้งหมดสูงสุด คือ 14.6 % และน้ำตาลรีดิวซ์ คือ 10.9% ซึ่งการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลทั้งสองชนิดเกิดจากกระบวนการงอกทำให้แป้งถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสได้เพิ่มขึ้น

Ohtsubo (2005: 303-316) ทำการศึกษาปริมาณ GABA ในข้าวพันธุ์ Koshihikari พบว่าข้าวพันธุ์ Koshihikari มีปริมาณ GABA 1.7 เมตรg/ 100 g และข้าวกล้องพันธุ์ Koshihikari มีปริมาณ GABA 6.0 เมตรg/ 100 g และเมื่อนำข้าวพันธุ์ Koshihikari ไปทำให้งอก โดยนำข้าวกล้องแช่น้ำในน้ำที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 24 48 72 และ 96 hr พบว่าในระหว่างการงอกปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น โดยภายหลังการบ่มเป็นเวลา 24 48 72 และ 96 hr มีปริมาณ GABA เท่ากับ 6.0 27.7 69.2 และ 149.0 เมตรg ตามลำดับนอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องมีปริมาณกรดเฟอรูลิกทั้งหมดและปริมาณโอโรซานอลเพิ่มขึ้น เมื่อให้ระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นจาก 72 hr เป็นเวลา 96 hr

Pongjanta และคณะ (2008: 199-208) ได้ศึกษาการย่อยแป้งข้าวอะไมเลสสูง (32.10%) ความเข้มข้น 15% w/v ทำให้เกิดเจลลิตินต์ที่ 75 °C นาน 30 เมตรin ด้วยเอนไซม์พลูลูแลนส ที่ระดับความเข้มข้น 8 U/g starch ที่ 55 °C ที่ 0-48 hr พบว่ามี %D.H. 0.14-1.55% นำเหนียวน้ำที่ 4 °C นาน 16 hr และแล้วนำไปผ่านกระบวนการแช่แข็งที่ -10 °C 16 hr ละลายที่ 30 °C จำนวน 1 รอบ พบว่ามีแป้งคืนรูป 28.10-54.53% และ resistant starch content of RS 3 เพิ่มขึ้นจาก 4.80-12.33% ที่ 0-48 hr ตามลำดับ

Pongjanta และคณะ (2009: 5-9) ได้ศึกษาการย่อยแป้งข้าวอะไมเลสสูง (32.10%) ความเข้มข้น 15% w/v โดยให้ความร้อนก่อนที่ 95 และ 121 °C ตามลำดับนาน 30 เมตรin นำมาย่อยด้วยเอนไซม์พลูลูแลนส ที่ระดับความเข้มข้น 8 U/g starch ที่ 55 °C ที่ 0-48 hr พบว่ามี %D.H. 0.14-3.10% นำเหนียวน้ำที่ 4 °C นาน 16 hr และแล้วนำไปผ่านกระบวนการแช่แข็งที่ -10 °C 16 hr ละลายที่ 30 °C จำนวน 1 รอบ พบว่าแป้งข้าวที่ไม่ย่อยด้วยเอนไซม์แป้งที่ให้ความร้อนก่อน และแป้งที่ 121 °C นาน 48 hr มี % D.S. 33.22% 45.27% และ 58.91 % ตามลำดับ แป้งข้าวที่ย่อยด้วยเอนไซม์ ที่มี %D.H สูงจะให้ resistant starch content สูงด้วย

Pongjanta (2009) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์พลูลูแลนส ต่อคุณสมบัติทางเคมีและอัตราการไฮโดรไลต์ด้วยแอลฟาอะไมเลส ของแป้งทนการย่อยชนิด 3 (RS 3) จากแป้งข้าวอะไมเลสสูง ซึ่งมีความเข้มข้น 15% w/v ทำให้เกิดเจลลิตินต์ที่ 121 °C นาน 30 เมตรin ทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 55 °C และเติมเอนไซม์พลูลูแลนส ที่ระดับความเข้มข้น 8, 10, 12, 14 และ 16 U/g starch ตามลำดับ นาน 16 hr นำผลที่ได้มาคำนวณค่า %D.H. (0.14-5.27%) และ beta-amylolysis ลิเมตริต (66.60-98.82%) นำเหนียวน้ำที่ 4 °C นาน 16 hr แล้วนำไปผ่านกระบวนการแช่แข็งที่ -10 °C 16 hr ละลายที่ 30 °C จำนวน 1 รอบ พบว่าอัตราการไฮโดร



ไลต์ด้วยแอลฟาอะไมเลสที่ 8-16 U/g starch มี %D.S. (51.64%-54.85%) ค่า resistant starch content เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ โดยมีค่าสูงสุดที่ 12 U/g starch และลดลง 13.16% ที่ 16 U/g starch

Saman (2008: 1377-1382) ได้ศึกษาการควบคุมการงอกเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการเป็นหมู่ฟังก์ชันของข้าวโดยการผลิตพรีไบโอติกโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้รับการตรวจสอบ จากการงอกของข้าวเหนียว (RD 6) และข้าวเจ้า (RD 17) มากกว่า 7 วัน ถูกประเมินจากน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด กรดอะมิโน pH และกิจกรรมของเอนไซม์ การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ α -amylolytic และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีพบในข้าวทั้งสองสายพันธุ์ ข้าวเหนียวมีระดับของน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดสูงขึ้นและกิจกรรมของ α -amylolytic ซึ่งรวมทั้งเอนไซม์ α -อะไมเลสและ α -กลูโคซิเดรส มีระดับสูงขึ้นด้วยซึ่งมีค่าสูงสุดในวันที่สามของการงอก อย่างไรก็ตามข้าวเหนียว (RD6) มีกรดอะมิโนอิสระต่ำกว่า ข้าวเจ้า (RD17) การวิเคราะห์น้ำตาล ในระหว่างการงอก RD6 แสดงให้เห็นว่า ผลิตน้ำตาลและโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่า จากผลลัพธ์ดังกล่าว RD6 ที่ระยะเวลาการงอกที่แตกต่างกันถูกนำมาใช้เพื่อการผลิตน้ำเชื่อมจากข้าวหลังจากผ่านการบด หลังจากทำให้แซคคาไรด์บริสุทธิ์ พบว่าน้ำเชื่อมจากข้าวที่ประกอบด้วยความเข้มข้นของน้ำตาลและโอลิโกแซคคาไรด์ที่แตกต่างกันโดยเฉพาะไอโซมอสโตสเพนโนส และไอโซมอสโตไดโรส ซึ่งมีรายงานว่ามีความสัมพันธ์เป็นพรีไบโอติก

Shyama (2005: 527-531) ได้ศึกษา feruloyl arabinoxylans ที่ละลายน้ำได้จากข้าวและราจิ ที่ใช้วิธีการงอกทั้งเมล็ด อุณหภูมิ 25 °C ใช้เวลาเพาะงอก 96 h และได้ทำการวิเคราะห์น้ำตาล พบน้ำตาล rhamnose arabinose xylose galactose มีค่า 2.0%, 44.3%, 46.7% และ 7.0% ตามลำดับ ไม่พบ mannose และ glucose เนื่องจากน้ำตาลทั้งสองชนิดนี้ถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของต้นข้าว การแช่ข้าวที่ระยะเวลานานขึ้น มีผลทำให้คาร์โบไฮเดรตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่ เนื่องจากข้าวที่อยู่ในสภาวะที่มีการเจริญเติบโต จะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยกระตุ้นให้เอนไซม์ในเมล็ดข้าวเกิดการทำงาน เมื่อเมล็ดเริ่มงอก สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยสลายไปตาม กระบวนการทางชีวเคมี ซึ่งมีปริมาณเอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลสที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักในกระบวนการงอก ทำให้เกิดการย่อยแปรรูปเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเพิ่มขึ้น

Yuan และคณะ (2005: 431-440) การศึกษาผลของ Feruloyl oligosaccharides (0-0.5%) เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของเชื้อ *Bifidobacteriu bifidu* F-35 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ TPY บ่มที่ 37 °C 24 ชั่วโมง พบว่ามีความสามารถในการผลิตกรดมีค่า Δ pH เท่ากับ 2.28 และ 1.08 ตามลำดับ feruloyl oligosaccharides มีศักยภาพกระตุ้นการเจริญเติบโตของ *B. bifidu* F-35 การเพิ่มจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น feruloyl oligosaccharides 0-0.5% อัตราการเจริญเติบโตของ *B. bifidu* F-35 เมื่อเสริม 0.1% feruloyl oligosaccharides นอกจากนี้พบว่าเชื้อ *B. bifidu* F-35 เจริญเติบโตหลังจากชั่วโมงที่ 6 และเจริญสูงสุดที่ 36 ชั่วโมง และการเพิ่มจำนวนเซลล์ เป็น 50% เมื่อเสริม 0.1% feruloyl oligosaccharides และเปรียบเทียบในอาหารเลี้ยงเชื้อ TPY



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามหัวข้อต่อไปนี้

- 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เชื้อจุลินทรีย์และวัสดุอุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย
- 3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย
- 3.3 แผนการทดลอง
- 3.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เชื้อจุลินทรีย์และวัสดุอุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัย

3.1.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ข้าวเปลือกเจ้า 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 หอมมะลิแดง และหอมมะลิดำ ข้าวเปลือกเหนียว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ กล้าเปลือกขาว กล้าเปลือกดำ และนางนวล แต่ละสายพันธุ์ปลูกในพื้นที่ 1 ไร่ ที่ปลูกในพื้นที่นาและมีการดูแลรักษาตลอดระยะเวลาการปลูกโดยระบบเกษตรอินทรีย์ ที่บ้านนาดี ตำบลเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์

กลุ่มตัวอย่าง ข้าวเปลือกเจ้า 3 สายพันธุ์และข้าวเปลือกเหนียว 3 สายพันธุ์ จากการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย จำนวน 30 kg คัดเลือกสายพันธุ์ละ 12 kg ก่อนทำการงอก

3.1.2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย

เชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก ได้แก่ *Lactobacillus acidophilus* LA-5 เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth ที่อุณหภูมิ 37 °C บ่มในตู้บ่ม CO₂ (5%CO₂) และ *Bifidobacterium lactis* BL-04 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth เติม 0.05% L-cysteine อุณหภูมิ 37 °C บ่มใน anaerobic jar นาน 24 h

สำหรับเชื้อก่อโรคทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เชื้อ *Escherichia coli* เลี้ยงในอาหาร NB อุณหภูมิ 37 °C นาน 24 h

3.1.3 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือในการวิจัย

- 1) centrifuge (Beckman CoulterTM, AllegraTM X-22R Centrifuge, Germany)
- 2) Water bath (Mettler, Germany)
- 3) Paper disc 6 mm. (Whatman, England)
- 4) Micropipette (Biohit, France)
- 5) Refrigerator or Freezer (Sanyo, Thailand)
- 6) Microwave (Toshiba, TRX-2021, Thailand)
- 7) Hot air oven (Mettler, Germany)
- 8) Laminar air flow (Telstar Industrial, Biostar plus 4, Spain)
- 9) Freeze-Dryer (Bench top, UK)
- 10) CO₂ Incubator (Contherm, MITRE 4000 Series, Australia)



- 11) UV-Vis Spectrophotometer (Beckman Coulter, DU 720[®], USA)
 - 12) Vortex mixer (Vortex-Genie2, Scientific Industries, USA)
 - 13) Blender (Mettler Toledo, PB1502-5, Switzerland)
 - 14) Autoclave (Hirayama, HICLAVE[™], Allegra[™] X-22R Cen, Japan)
 - 15) UV-Vis Spectrophotometer (Shimadzu, UV-160A)
 - 16) pH meter (Mettler Toledo, SevenMulti, Switzerland)
 - 17) Refractometers (PAL-15S, Germany)
 - 18) ชุดกรอง กระดาษกรอง (Holder, Syringe, Cellulose acetate membrane filters, 0.45 μ m. Whatman, Japan)
 - 19) Balance (Mettler Toledo, PB1502-5, Switzerland)
 - 20) Anaerobic Jar (Oxoid, UK)
 - 21) Hammer mill ϕ 0.5 mm (Retsch, GmbH 5657 HAAN, Germany)
 - 22) Brookfield Programmable Viscometer (LV DV- II, UK)
 - 23) Automatic Gelato Ice Cream Maker (NEMOX Gelato chef 2500, Italy)
 - 24) Microplate 96-well (PerkinElmer, UK)
 - 25) Microplate Reader (Biotek GEN 2.0, UK)
 - 26) เครื่องแก้วต่าง ๆ
- 3.1.4 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในงานวิจัย
- 1) MRS broth และ MRS agar (Merck, Germany)
 - 2) Nutrient broth และ Nutrient agar (Merck, Germany)
 - 3) Buffered peptone water (Himedia, India)
 - 4) Sodium hydroxide (NaOH) (LAB-SCAN Analytical Sciences, Thailand)
 - 5) Gas pack (Merck, Germany)

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การศึกษาสภาวะการงอกและคุณสมบัติต่างๆ

3.2.1.1 สภาวะการงอก กระบวนการทำให้ข้าวงอกโดยนำจากข้าวเปลือกมางอก พบว่าให้สารสำคัญมากกว่าปกติ ให้รสชาติดี มีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสที่ดี (จารุรัตน์ สันเตและคณะ, 2550) ทำการเพาะงอกโดยนำข้าวเปลือกแต่ละชนิดพันธุ์ มาชั่งน้ำหนัก 1 kg ใส่ถุงพลาสติกขนาด 16x25 นิ้ว เติมน้ำประปาจากการประปาส่วนภูมิภาค อัตราส่วนข้าวเปลือกต่อน้ำ 1:2 w/v แล้วนำไปวางใส่ในตะกร้าพลาสติก ขนาด 20x30 cm ในห้องมืดขนาด 3x3 m² ควบคุมอุณหภูมิ 30 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 78-90% แขนาน 10 hr เทน้ำออกเพาะงอกต่อ เก็บตัวอย่างที่ 0, 12, 24 และ 36 hr ตามลำดับ เพื่อศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ต่อไป ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอก เปอร์เซ็นต์การขัดสี และองค์ประกอบทางเคมี



3.2.1.2 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ

1) การศึกษาเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวกล้องงอก การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอก โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างเพื่อให้ได้ตัวอย่างจากการสุ่มทดสอบอย่างสม่ำเสมอจะใช้ข้าวเปลือกที่เพาะงอก จากถุงพลาสติกแต่ละถุงทำการสุ่มเป็นจุด นับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกยาว $\geq 5\text{mm}$ นับรวมกัน 100 เมล็ด ทำ 3 ซ้ำ ตามระยะเวลาการงอก คือ 0, 12, 24 และ 36 hr ตามลำดับ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การงอก} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดข้าวกล้องที่มีรากยาว} \geq 5\text{mm}}{100} \times 100$$

2) การศึกษาเปอร์เซ็นต์การขัดสีข้าวกล้องงอก หลังจากอบข้าวเปลือกงอกแห้ง นำข้าวไปกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องสีข้าวดัดแปลง นำไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลที่ได้ (ดั่งสมการ) และเก็บตัวอย่างในตู้ -20°C เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป โดยใช้ข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านการงอก เป็นตัวควบคุม

$$\text{เปอร์เซ็นต์การขัดสี} = \frac{\text{น้ำหนักของข้าวกล้องงอก} \times 100}{\text{น้ำหนักของข้าวเปลือก}} \times 100$$

3.2.1.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) ของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก

1) การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนหยาบ (crude protein)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนหยาบในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน จากตัวอย่างผงข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก วิเคราะห์อัตโนมัติด้วยเครื่อง Truspec CHN ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ แล้วคำนวณหาปริมาณโปรตีน โดยคำนวณจาก

$$\text{crude protein} = \%N \times 5.95$$

หมายเหตุ %N หมายถึง ร้อยละของไนโตรเจนทั้งหมด
5.95 หมายถึง ค่าคงที่ขององค์ประกอบโปรตีนในข้าว

2) การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก ด้วยเทคนิค supercritical fluid extraction (SFE) ด้วยเครื่อง LECO-Dry ใช้เวลา 20-45 นาที ต่อตัวอย่าง (Winkler, 2007) เพื่อตรวจสอบปริมาณไขมัน โดยเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ



3) การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ash)

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก ตัดแปลงตามวิธี AOAC (2000) โดยชั่งตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 2 g (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในถ้วยกระเบื้อง นำไปเผาจนหมดควัน เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 °C ประมาณ 2 hr หรือจนมีสีขาว-เทา ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาค่าปริมาณเถ้าเป็นร้อยละ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยคำนวณจาก

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม (น้ำหนักแห้ง)}} \times 100$$

4) การวิเคราะห์เส้นใยหยาบ (crude fiber)

การวิเคราะห์เส้นใยหยาบ ในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกตัดแปลงจาก AOAC (2000) มีขั้นตอนดังนี้

นำตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกที่สกัดไขมันออกแล้วใส่ในถ้วยระเหย แล้วนำไประเหยเอาตัวทำละลายออกจนแห้ง ถ่ายตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกลงในครูชีเบล แก้ว (อบที่อุณหภูมิ 105–110 °C และชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่แน่นอน) นำครูชีเบลแก้วมา ประกอบเข้าในเครื่องสกัด เติม 1.25 % กรดซัลฟิวริกที่ต้มให้ร้อน หลอดละ 75 mL และออกทานอล 3-5 หยดเพื่อป้องกันการฟองตัว ปรับระดับความร้อนของเครื่อง (ระดับ 7-8) นาน 30 min ถ่ายกรดออกจากตัวอย่างแล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ๆ ละ 15 mL ถ่ายออก เติม 1.25 % โซเดียมไฮดรอกไซด์ 75 mL และออกทานอล 3-5 หยดปรับระดับความร้อนของเครื่องสกัด (ระดับ 7-8) แล้วต้มนาน 30 min ถ่าย 1.25 % โซเดียม ไฮดรอกไซด์ออกแล้ว ล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ๆ ละ 15 mL ล้างด้วยน้ำเย็น 1 ครั้ง ล้างออกด้วยอะซิโตน 3 ครั้ง ๆ ละ 15 mL และนำครูชีเบลแก้ว อบที่อุณหภูมิ 105 °C ประมาณ 2 hr ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก คำนวณเปอร์เซ็นต์เยื่อใยทั้งหมด

$$\text{เส้นใยหยาบ (crude fiber)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมัน}} \times 100$$

5) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของข้าว หลังจากนำข้าวงอกมาอบแห้งด้วยเครื่องอบรมร้อนควบคุมอุณหภูมิ 45-55 °C แล้วสับตัวอย่างข้าวงอกไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture analyzer) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ ด้วยเครื่องวัดความชื้นอินฟราเรด ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.2.1.4 การเตรียมสารสกัดจากข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก

นำตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 6 สายพันธุ์ที่เก็บที่ -20 °C มาสกัดตามวิธีของ Moongngarm (2010) โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วน 1:10 (w/v) ซึ่งแบ่งข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 6 สายพันธุ์ ๆ ละ 10.0 g ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 mL เติมน้ำ 100 mL คนให้เข้ากัน นำไปวางในเครื่องอังน้ำ ควบคุมอุณหภูมิ 40°C นาน 30 min เพิ่ม



อุณหภูมิเป็น 50 °C นาน 30 min เพิ่มอุณหภูมิเป็น 60 °C นาน 1 hr เพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 °C นาน 15 min ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง กรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 g อุณหภูมิ 25 °C เก็บส่วนใสทำให้แห้ง ด้วยเครื่อง freeze-drier นำไปชั่งน้ำหนัก บรรจุซองปิดผนึก เก็บที่ -20 °C ก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติต่อไป

3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณแป้ง

3.2.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมด (Total starch: TS)

นำผงแป้งข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 6 สายพันธุ์ที่บดและกรองผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 0.5 mm และเก็บที่ -20 °C มาหาปริมาณแป้งทั้งหมด ดัดแปลงตามวิธี Goñi (1997) โดยชั่งผงแป้งข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก สายพันธุ์ละ 25-35 mg ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำ 6 mL 2M KOH เขย่าผงแป้งให้เข้ากันดีกับสารละลาย วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ เขย่าเป็นครั้งคราว นาน 30 นาที เติมน้ำ 60 µl (69.65U/mg) amyloglucosidase จาก *Aspergillus niger* (lot. 48872/1) ใน NaO₂Et buffer, pH 4.75 บ่มที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 45 min ในอ่างน้ำร้อนแบบเขย่า นำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ 3000 g นาน 10 min นำชั้นของเหลวไปหาความเข้มข้นของ กลูโคสด้วยวิธี DNS (DNS Method) เทียบกับสารละลายมาตรฐานน้ำตาลกลูโคสที่ $\lambda = 540$ nm แต่ละตัวอย่างทำ 3 ซ้ำ โดยน้ำตาล 1 g สมมติเท่าเทียมกับแป้งข้าว 0.9 g (Sha, Xu S., 2012)

3.2.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch content) โดยใช้เอนไซม์ (enzymetically hydrolysis)

นำผงแป้งข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั้ง 6 สายพันธุ์ ที่บดและกรองผ่านตะแกรง ร่อน ขนาด 0.5 mm และเก็บที่ -20 °C มาหาปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ดัดแปลง ตามวิธี Goñi, (1997) โดยชั่งผงแป้งข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก สายพันธุ์ละ 100 mg ใส่ใน หลอดทดลอง เติมน้ำ KCl-HCl buffer, pH 1.5 เขย่าผงแป้งให้เข้ากันดีกับสารละลายบัฟเฟอร์ และ เติมน้ำ 0.2 mL 20 mg (2100 U/mg solid) pepsin จาก porcine stomach mucosa (lot. 52H7110, sigma) ใน KCl-HCl buffer, pH 1.5 ที่ 40 °C นาน 60 min เพื่อขจัดโปรตีน ออก และสารละลายแป้งถูกไฮโดรไลต์ด้วยสารละลายเอนไซม์ 5 mL 40 mg (36.0 U/mg) α -amylase จาก *Aspergillus oryzae* (lot. 1344197, fluka) ใน phosphate pH 6.9 ที่ 37 °C นาน 16 hr ในอ่างน้ำร้อนแบบเขย่า นำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ 3000 g นาน 10 min ส่วนที่เป็นของเหลวถูกทิ้งไป นำส่วนตะกอนไปวิเคราะห์หาแป้งที่ยังเหลืออยู่โดยนำไปย่อยด้วยเอนไซม์ amyloglucosidase จาก *Aspergillus niger* (lot 48872/1) ใน NaO₂Et buffer, pH 4.75 บ่มที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 45 min ในอ่างน้ำร้อนแบบเขย่า นำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ 3000 g นาน 10 min นำชั้นของเหลวไปหาความเข้มข้นของกลูโคสด้วยวิธี DNS (DNS Method) เทียบกับสารละลายมาตรฐานน้ำตาลกลูโคสที่ $\lambda = 540$ nm แต่ละตัวอย่างทำ 3 ซ้ำ โดยน้ำตาล 1 g สมมติเท่าเทียมกับแป้งข้าว 0.9 g (Pongjanta, 2009)

3.2.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ (digestion starch content)

ได้จากการคำนวณจากผลต่าง มีสมการ ดังนี้



แป้งที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ = แป้งทั้งหมด - แป้งที่ทนแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์

หรือ $DSC = TS - RSC$

เมื่อ $DSC = \text{digestion starch content}$, $TS = \text{total starch}$, $RSC = \text{resistant starch content}$

3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และสารสกัดจากพืชโพลีฟีนอลิกของสารสกัดจากข้าว

3.2.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total soluble sugar) ด้วยวิธี total sugar assay (พันธุระวี หมวดศรี, 2551)

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของสารสกัดจากข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก คือ องค์ประกอบทั้งหมดที่เป็นคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ โมโนแซคคาไรด์ ไดแซคคาไรด์ และโอลิโกแซคคาไรด์ การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด มีวิธีการดังนี้ นำสารสกัดข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกแต่ละชนิดๆ ละ 1 g ละลายในน้ำกลั่น 10 mL ในหลอดทดลอง ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 4 °C ดูดสารละลายมา 200 μL ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม orcinol-sulphuric acid ปริมาตร 800 μL ผสมสารละลายให้เข้ากัน นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 15 min และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm โดยใช้สารละลายกลูโคสเป็นสารมาตรฐาน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ตามวิธีของ Somogyi-Nelson (Somogyi, 1952) มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้ เตรียมสารสกัดจากข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกแต่ละชนิด ให้มีความเข้มข้น 0.05 % w/v แล้วดูดสารละลายปริมาตร 0.5 mL ในหลอดทดลองเติมสารผสมระหว่าง Somogyi I (ภาคผนวก ค) และ Somogyi II (ภาคผนวก ค) ในอัตราส่วน 4:1 ปริมาตร 1 mL เขย่าให้สารละลายผสมกันจากนั้นให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 80 °C นาน 15 min ทำให้เย็นแล้วเติม Nelson 1 mL (ภาคผนวก ค) ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2 mL เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 550 nm เปรียบเทียบกับ Blank ซึ่งใช้น้ำกลั่นและใช้สารละลายกลูโคสเป็นสารมาตรฐานทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2.3.3 การคำนวณปริมาณสารโพลีฟีนอลิกของสารสกัดข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก

วิธีการหาปริมาณของสารโพลีฟีนอลิกอย่างหยาบ (crude prebiotic) โดยการคำนวณนี้เป็นการหาปริมาณโพลีฟีนอลิกที่ถือว่าเป็นปริมาณน้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์ (non-reducing sugar) ซึ่งหมายถึง น้ำตาลที่ไม่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น กลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ ปริมาณสารโพลีฟีนอลิกอย่างหยาบ คำนวณจากปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total soluble sugar) ลบด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ดังสมการ (พันธุระวี หมวดศรี, 2551)

สารโพลีฟีนอลิกอย่างหยาบ = ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด - ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์



3.2.4 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลของสารสกัดจากข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก ด้วยเครื่อง HPLC

เตรียมสารสกัดข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก ด้วยน้ำกลั่นโดยเตรียมตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 1% (w/v) ผสมบน vortex mixer ให้เป็นเนื้อเดียว แล้วกรองตัวอย่างผ่านตัวกรองขนาด 0.45 μm เติมลงในขวดตัวอย่าง (vial) ปริมาตร 2 mL นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของน้ำตาลในสารสกัดจากข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก โดยใช้เครื่อง HPLC ดัดแปลงจากวิธีของ Guide to Aminex HPLC Columns (BIO-RAD, USA) (2011) รุ่น Shimazu Cooperation Analysis & Measuring Instruments Division Kyoto, Japan ระบบ Pumping system; LC-20AD Series และ Auto injector system; SIL-20A series ใช้ Refractive Index Detector; RID-10A Series Column; Bio-Rad (Richmond, CA) HPX-87P, 300 mm x 7.8 mm with Bio-Rad micro-guard cartridges (30 x 4.6 mm) อุณหภูมิ 85 °C ฉีดปริมาตร 20 μL ใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นน้ำ อัตราการไหล 0.6 mL/min วิเคราะห์ชนิดและคำนวณปริมาณน้ำตาลของสารสกัดที่ได้ โดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานน้ำตาลมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์หาน้ำตาล maltoheptaose, stachyose, raffinose, sucrose, maltose, lactose, glucose, xylose, galactose, arabinose, fructose, myo-inositol, manitol และ sorbitol ทำการทดลองทั้งหมด 2 ซ้ำ

3.2.5 การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากข้าวกล้องงอกต่อการเป็นพรีไบโอติก

3.2.5.1 การเตรียมเชื้อทดลอง

เตรียมเชื้อโพรไบโอติกทดสอบสองสายพันธุ์ ประกอบด้วย *L. acidophilus* LA-5 และ *B. lactis* BL-04 โดยถ่ายเชื้อทดสอบที่เก็บไว้ใน Glycerol เข้มข้น 20% (v/v) ที่อุณหภูมิ -40 °C ในปริมาณ 1 % (v/v) ลงในอาหาร สำหรับ *L. acidophilus* LA-5 ใช้อาหาร MRS broth นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 18 hr ในสภาวะไร้ออกซิเจน (5% CO₂) ส่วน *B. lactis* BL-04 เลี้ยงในอาหาร MRS broth บ่มใน anaerobic jar ใช้ gas pack (Merck, Germany) ที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 18 hr ส่วนเชื้อในระบบทางเดินอาหารที่ใช้ทดสอบคือ *E. coli* เลี้ยงในอาหาร NB บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 18 hr ทำการถ่ายเชื้ออย่างน้อย 2 ครั้ง ก่อนนำไปทดสอบ

3.2.5.2 การศึกษาการส่งเสริมการเจริญของโพรไบโอติกและการลดลงของค่า pH

การศึกษาการส่งเสริมการเจริญของเชื้อโพรไบโอติก ดัดแปลงวิธีจาก Synytsya, (2009) โดยเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth สูตรดัดแปลงโดยเติมสารสกัดจากข้าวกล้องงอก 2% แทนน้ำตาลกลูโคส ในสูตรพื้นฐาน (ใช้อาหาร MRS สูตรพื้นฐานเป็นตัวอย่างควบคุม ดังภาคผนวก ก) เติมน้ำโพรไบโอติกทั้งสองสายพันธุ์ ปริมาณเชื้อ 2% (v/v) บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 hr ตามสภาวะที่เหมาะสม ดังข้อ 1) เก็บตัวอย่างชั่วโมงที่ 0 และ 24 hr ตามลำดับ ตรวจวัดการเจริญของแบคทีเรีย โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm และวัดการลดลงของค่า pH ทำการทดลอง 2 ซ้ำ



3.2.5.3 การคำนวณดัชนีการเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic Index, PI)

การทดสอบดัชนีการเป็นพรีไบโอติก เป็นการศึกษาความสามารถของสารสกัดจากข้าวกล้องงอกต่อการส่งเสริมการเจริญของเชื้อโพรไบโอติกแบคทีเรียและยับยั้งเชื้อก่อโรคในลำไส้ ซึ่งดัดแปลงตามวิธีการของ Huebner (2007)

การศึกษาการเจริญของเชื้อโพรไบโอติก ทั้งสองสายพันธุ์ ทำตาม ข้อ 1) สำหรับเชื้อ *E. coli* ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับการส่งเสริมการเจริญของเชื้อโพรไบโอติก โดยเลี้ยงในอาหาร NB ที่เติมสูตรดัดแปลง (ใช้อาหาร NB สูตรพื้นฐาน + 2% glucose เป็นตัวอย่างควบคุม ดังภาคผนวก ก) วัดค่า OD ที่ชั่วโมงที่ 0 และ 24 ทดลอง 2 ซ้ำ นำผลที่ได้มาคำนวณค่า PI ตามสูตร

$$\text{Prebiotic Index} = \frac{A}{B} - \frac{C}{D}$$

เมื่อ A = probiotic log OD on prebiotic at 24h - probiotic log OD on prebiotic at 0h

B = probiotic log OD on glucose at 24h - probiotic log OD on glucose at 0h

C = enteric log OD on prebiotic at 24h - enteric log OD on prebiotic at 0h

D = enteric log OD on glucose at 24h - enteric log OD on glucose at 0h

3.2.6 การวิเคราะห์การผลิตกรดไขมันสายสั้น (SCFAs)

เตรียมตัวอย่างน้ำหมักที่ได้จากเชื้อทั้งสองสายพันธุ์จากการทดลองข้อ 2) นำมาปั่นเหวี่ยงที่ ความเร็วรอบ 13,000 g เป็นเวลา 10 min กรองตัวอย่างผ่านตัวกรอง (nylon membrane filter) ขนาด 0.45 μm ใส่ในขวด vial นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ SCFAs ตามวิธีของปริยาภรณ์ อิศรานุวัฒน์ (2551) โดยใช้เครื่อง HPLC รุ่น Shimadzu, Instrument Division Kyoto, Japan ระบบ Pumping system; SIL-10AD Series พร้อมตรวจวัด SPD-M20A Diode Array Detector, Auto injection system. คอลัมน์ C18 ขนาด 2.5 x 150 mm, ใช้ 0.05% Sulfuric acid เป็นเฟสเคลื่อนที่ ความยาวคลื่น 210 nm อัตราการไหล 1.0 mL/min ปริมาตรตัวอย่างที่ฉีด 20 μL คำนวณปริมาณกรดไขมันสายสั้น โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานกรดดังนี้ acetic acid, propionic acid, butyric acid, iso-butyric acid, butyric acid, iso-valeric acid, n- valeric acid และ lactic acid ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

3.2.7 การศึกษาการใช้น้ำตาลของสารสกัดจากข้าวกล้องงอกโดยเชื้อโพรไบโอติกแบคทีเรีย

เตรียมตัวอย่างน้ำหมักที่ได้จากเชื้อทั้งสองสายพันธุ์จากการทดลองข้อ 2) นำมาปั่นเหวี่ยงที่ ความเร็วรอบ 13,000 g เป็นเวลา 10 min กรองตัวอย่างผ่านตัวกรอง (nylon membrane filter) ขนาด 0.45 μm ใส่ในขวด vial นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล โดยใช้เครื่อง



HPLC ดัดแปลงจากวิธีของ Guide to Aminex HPLC Columns (BIO-RAD, USA) (2011) รุ่น Shimadzu Cooperation Analysis & Measuring Instruments Division Kyoto, Japan ระบบ Pumping system; LC-20AD Series และ Auto injector system; SIL-20A series ใช้ Refractive Index Detector; RID-10A Series Column; Bio-Rad (Richmond, CA) HPX-87C, 300 mm x 7.8 mm with Bio-Rad micro-guard cartridges (30 x 4.5 mm) ที่อุณหภูมิ 85 °C ปริมาตรที่ฉีด 20 µl ใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นน้ำ ที่อัตราการไหล 0.6 mL/min วิเคราะห์ชนิดและคำนวณปริมาณน้ำตาลของสารสกัดที่ได้ โดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ สารมาตรฐานเป็นน้ำตาลที่ใช้วิเคราะห์หาน้ำตาล maltoheptaose stachyose, raffinose, sucrose, maltose, lactose, glucose, xylose, galactose, arabinose, fructose, myo-inositol, manitol และ sorbitol ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

3.2.8 การศึกษาสูตรมาตรฐานของไอศกรีมซินไบโอติก

การศึกษาสูตรมาตรฐานของไอศกรีมซินไบโอติก โดยนำสูตรมาตรฐานทั้ง 4 สูตรตาม ตาราง 3.1 มาผลิตไอศกรีม จากนั้นนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้าน สี กลิ่น รส ความมัน ความเรียบเนียน ความเหนียวหนืด การละลายในปาก และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ 7 ระดับ (7 Point Hedonic scale) และนำผลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิเคราะห์ความแตกต่าง

ตาราง 3.1 สูตรในการผลิตไอศกรีมซินไบโอติก ศึกษาจากสูตรมาตรฐาน 4 สูตร

ส่วนผสม	สูตร (กรัม)			
	1	2	3	4
นมสด	505	505	505	505
whipping cream	200	200	200	200
นมผง	65	65	65	65
น้ำตาล	150	150	150	150
ไข่แดง	40	40	40	40
แป้งข้าวโพด	0	10	20	40
ผงข้าว (ข้าวดอกมะลิ)	40	30	20	0
รวม	1,000	1,000	1,000	1,000
เชื้อ <i>L. acidophilus</i> LA-5 CFU/mL	10^{10}	10^{10}	10^{10}	10^{10}

ที่มา : สูตรไอศกรีม ดัดแปลงตามวิธีของ Cody (2007)

3.2.8.1 การผลิตไอศกรีมซินไบโอติก

ส่วนผสมที่เป็นของแข็ง ได้แก่ นมผง น้ำตาล แป้งข้าวโพด หรือ ผงข้าว และแยกส่วนผสมที่เป็นของเหลว ได้แก่ นมสดและวิปปิ้งครีม กวนของผสมแต่ละส่วนเป็นเนื้อเดียวกัน ดัดแปลงจากวิธี ของ Kumar และ Mishra (2004) กับ Tamine และ Robinson (1999)



จากนั้นให้ความร้อนของผสมที่เป็นส่วนของเหลว ที่อุณหภูมิ 50°C เติมน้ำมันส่วนที่เป็นของแข็งลงไป กวนส่วนผสมจนละลายหมด ลดอุณหภูมิลง 40°C เติมน้ำมันส่วนที่เหลือ ผสมให้เข้ากัน แล้วนำมาปั่นผสม ด้วยเครื่อง Homogenizer 2 ขั้นตอน ที่ 3,000 psi และ 500 psi จนได้สารเป็นเนื้อเดียวกัน เทส่วนผสมลงในขวดแก้วฝาเกลียวที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วขนาด 500 mL จำนวน 4 ใบ ปิดฝาให้สนิทและนำไปต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ $95-97^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 min ทิ้งให้ส่วนผสมเย็นลงที่ อุณหภูมิห้อง นำไปปั่นในตู้เย็น 4°C นาน 18 hr จากนั้นนำของผสมมาปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม แบบโฮมเมด จนเป็นเนื้อไอศกรีม ใช้เวลาประมาณ 15-20 min เติมน้ำมัน *L. acidophilus* LA-5 ให้มีเชื้อเริ่มต้น 10^{10} cfu mL⁻¹ ซึ่งอยู่ในสภาพนมหมัก (หมักนม นาน 18 h) ปริมาตร 200 mL ปั่นต่อเนื่อง จนกระทั่งเป็นเนื้อไอศกรีม อุณหภูมิลดลงถึง $-4\pm 1^{\circ}\text{C}$ บรรจุไอศกรีมลงในถ้วยกระดาษ ขนาดความจุ 0.5 kg แล้วทำการแช่แข็ง (hardening) ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา อย่างน้อย 24 hr และทำสูตร 2-4 เช่นเดียวกัน ตัวอย่างไอศกรีมขึ้นไบโอติกจากสูตรทั้งหมด ถูก นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและทางประสาทสัมผัส

3.2.8.2 การวิเคราะห์คุณภาพไอศกรีมขึ้นไบโอติก

1) คุณภาพทางกายภาพ

1.1) วิเคราะห์อัตราการหลอมเหลว (EL-Nagar, 2002) นำตัวอย่างไอศกรีม ขึ้นไบโอติก ที่มีน้ำหนักประมาณ 60-65 g และผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ $-20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา อย่างน้อย 24 hr วางบนตะแกรงขนาด 4 mesh รองรับด้วยปิกเกอร์ภายในห้องปรับอากาศที่มี อุณหภูมิ $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ เริ่มจับเวลาทุก ๆ 10 min จนครบ 60 min เมื่อครบเวลาจดบันทึกน้ำหนัก ไอศกรีมที่ละลายผ่านตะแกรง คำนวณน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายเทียบกับน้ำหนักไอศกรีม 100 g

$$\text{น้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย ต่อ } 100 \text{ g} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย}}{\text{น้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น}} \times 100$$

จากนั้น คำนวณอัตราการหลอมเหลวต่อ 100 g ในหน่วย g/min โดย

$$\text{อัตราการหลอมเหลว (g/min)} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย ต่อ } 100 \text{ g}}{60 \text{ (min)}}$$

1.2) เพอร์เซ็นต์โอเวอร์รัน (Muse and Hartel, 2004) ชั่งน้ำหนักของ ผสมที่แช่ 4°C บรรจุเต็มถ้วยพลาสติกมีฝาปิด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.7 cm และความ สูง 2.3 cm (w1) ทำการปั่นส่วนผสมจนแข็งตัว (-4°C) ตักไอศกรีมเข้าวาล์วของเครื่องขึ้นไบโอติก ลงในถ้วยพลาสติกใบเดิม แล้วชั่งน้ำหนักไอศกรีมขึ้นไบโอติก (w2) คำนวณค่าโอเวอร์รัน โดย

$$\text{ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{(w1 - w2)}{w2} \times 100$$



1.3) วิเคราะห์ค่าความหนืด (viscosity) ของไอศกรีมข้าวกล็องงอกซินไบโอ ตีด้วยเครื่องวัดความหนืด (viscometer) ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV- II โดยนำตัวอย่างไอศกรีม ข้าวกล็องงอกซินไบโอติก จำนวน 400 – 500 mL ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 600 mL วัดความหนืด ด้วยหัววัดเบอร์ 4 ด้วยความเร็ว 60 rpm (หัววัดและความเร็วรอบที่ให้ค่า % torque เข้าใกล้ 100 มากที่สุด) ที่อุณหภูมิ 13 ± 1 °C และอ่านค่าเมื่อมอเตอร์หมุนครบ 15 s ซึ่งมีหน่วยเป็น Centipoise (mPa·S)

2) คุณภาพทางเคมี

2.1) วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

นำของเหลวที่ได้จากการหลอมละลายของไอศกรีมในขณะวัดอัตราการ หลอมเหลวมาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ที่มีช่วงการวัด 0-32 °B และ 35-65 °B (Atago, Japan) ที่อุณหภูมิ 27 ± 2 °C โดยก่อนวัดต้องทำการสอบเทียบ เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ด้วยน้ำกลั่นเพื่อปรับค่าที่อ่านได้เท่ากับศูนย์องศาบริก

2.2) วิเคราะห์ pH ของไอศกรีม

นำของเหลวที่ได้จากการหลอมละลายของไอศกรีมในขณะวัดอัตราการ หลอมเหลวมาวิเคราะห์ pH ด้วยเครื่อง pH meter (Mettler Toledo, SevenMulti, Switzerland)

3) คุณภาพทางจุลชีววิทยา

ตรวจนับเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ในตัวอย่างไอศกรีม ซินไบโอติกหลัง การผลิตและระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ -20 °C ที่เวลา 0, 7, 15 และ 30 วัน โดยใช้ อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar ด้วยวิธี pour plate บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 hr ใน anaerobic jar

4) การทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้าน สี กลิ่นรสสัมผัส ความมัน ความเรียบเนียน ความเหนียวหนืด การละลายในปาก และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบ 25 คน โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ 7 ระดับ (7 Point Hedonic scale) และนำผลมา วิเคราะห์ความแปรปรวน และวิเคราะห์ความแตกต่าง

3.3 แผนการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้หลักสถิติวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way Analysis of Variance) โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 13 และเปรียบเทียบความ แตกต่างข้อมูลโดยวิธี Duncan' s Multiple Range Test (DMRT) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ



3.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 สถิติเชิงพรรณนา

สรุปข้อมูลจากการศึกษา เพื่อแสดงลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่

$\bar{X}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ย (Mean)

% หมายถึง ร้อยละ

SD หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3.4.2 สถิติเชิงวิเคราะห์ วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ตามวิธีของ Duncan' s Multiple Range Test (DMRT) ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P\text{-value} \leq 0.05$



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาสภาวะการงอกและคุณสมบัติต่างๆ

4.1.1 ผลการศึกษาสภาวะการงอกและคุณสมบัติทางกายภาพ

4.1.1.1 ผลการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าว 6 สายพันธุ์

จากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเปลือก 6 สายพันธุ์ ในสภาวะห้องมืด อุณหภูมิ 30 ± 0.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 95-97% และปัจจัยของระยะเวลาการงอก นาน 0-36 h ได้แก่ ข้าวเปลือก (ก่อนงอก) ข้าวเปลือกแช่น้ำประปา 10 h (0 h) เพาะงอกข้าวเปลือกหลังแช่น้ำประปา 12, 24 h และ 36 h ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การงอกข้าวเปลือก 6 สายพันธุ์ ดังตาราง 4.1 พบว่าระยะเวลาการงอกที่ 36 h มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุดคือระหว่าง 80.00 ± 1.00 - 91.00 ± 4.00 % รองลงมาคือ 24 h ระหว่าง 50.00 ± 1.00 - 62.00 ± 2.00 % และต่ำสุด คือ 12 h ระหว่าง 12.00 ± 2.65 - 38.00 ± 2.00 % ตามลำดับ ซึ่งข้าวนางนวลและขาวดอกมะลิ 105 มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด คือ 91.00 ± 1.73 % รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิดำ 90.00 ± 1.00 % กล้าเปลือกขาว 89.67 ± 2.08 % กล้าเปลือกดำ 89.00 ± 0.58 % และหอมมะลิแดงต่ำสุด เท่ากับ 80.00 ± 1.00 % ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชนิดของข้าว มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Moongngarm (2010) ได้ศึกษาเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวเหนียว (กข. 6) ซึ่งทำการแช่ 12 h นำไปเพาะงอกในแฮมเบอร์ 24 h อุณหภูมิ 28-30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% รดน้ำด้วยสปริงเกอร์อัตโนมัติ พบว่าเปอร์เซ็นต์การงอก ข้าวเปลือก (94.7%) สูงกว่าข้าวกล้อง (84.3%) เนื่องจาก เมื่อเมล็ดข้าวเปลือกดูดน้ำจนถึงความชื้นระดับหนึ่งและอุณหภูมิเหมาะสม จะเกิดการงอกขึ้น ซึ่งข้าวเปลือกจะดูดน้ำได้ดี เมื่อระยะเวลาการบ่มเพาะนานขึ้น ความชื้นในเมล็ดจะเพิ่มขึ้น ปกติข้าวจะงอกง่าย จึงสามารถผลิตได้ในปริมาณสูง ๆ และทุก ๆ เวลาของการเปรียบเทียบของข้าวทุกสายพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มขึ้น แต่พบข้อเท็จจริงว่า ข้าวเปลือกทุกสายพันธุ์ ใช้เวลานานในการงอกแตกต่างกัน คล้ายกับผลการทดลองของวรรณวิไล ฤทธิเดช (2547) ซึ่งได้ศึกษาผลของระยะเวลาการแช่ต่อระยะเวลาการเพาะของข้าวกล้องหอมมะลิที่ทำการแช่เป็นเวลา 12 h ให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่า ที่เวลา 6 h เฉลี่ยประมาณ 1 เท่า และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเพาะเมล็ด ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มขึ้นเช่นกัน (สูงสุด 90% คือข้าวหอมมะลิที่แช่และเพาะเป็นเวลา 12: 24 h) ส่วนข้าวกล้องมันปู พบว่า ที่เวลาการแช่ 24 h ให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่า ที่ระยะเวลาการแช่ 12 h เฉลี่ยประมาณ 1 เท่าเช่นเดียวกับข้าวกล้องหอมมะลิ ส่วนเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุดของข้าวกล้องมันปู คือข้าวที่แช่และเพาะเป็นเวลา 24: 36 h เท่ากับ 83% ตามลำดับ



ตาราง 4.1 ผลคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือก 6 สายพันธุ์ ที่ระยะเวลาการงอกต่างกัน

สายพันธุ์ข้าว/ ระยะเวลาการงอก (h)	คุณสมบัติทางกายภาพ (%)	
	การงอก±S.D.	การขัดสี±S.D.
ขาวดอกมะลิ105/ก่อนงอก	0	73.33±3.33 ^{ABa}
0	0	70.00±3.33 ^{ab}
12	25.00±1.00 ^{Bc}	66.67±3.34 ^{Bb}
24	53.00±2.00 ^{BCb}	64.45±2.55 ^{BCbc}
36	91.00±1.73 ^{Aa}	60.11±3.00 ^{Bc}
มะลิแดง/ก่อนงอก	0	77.22±2.54 ^{Aa}
0	0	77.78±3.79 ^{Aa}
12	12.00±2.65 ^{Dc}	79.44±1.39 ^{Aa}
24	55.00±2.00 ^{Bb}	78.89±1.54 ^{Aa}
36	80.00±1.00 ^{Ba}	71.44±0.50 ^{Ab}
มะลิดำ/ก่อนงอก	0	70.00±3.33 ^{Ba}
0	0	70.00±3.33 ^{BCa}
12	35.00±1.00 ^{Bc}	66.67±3.33 ^{Ba}
24	62.00±3.00 ^{Ab}	60.89±2.83 ^{Cb}
36	90.00±1.00 ^{Aa}	60.34±2.08 ^{Bb}
กล่ำเปลือกขาว/ก่อนงอก	0	77.22±2.54 ^{Aa}
0	0	75.56±1.93 ^{ABa}
12	27.00±1.00 ^{Cc}	76.89±3.67 ^{Aa}
24	55.00±2.00 ^{Bb}	66.67±3.33 ^{BCb}
36	89.67±2.08 ^{Aa}	61.67±1.67 ^{Bc}
กล่ำเปลือกดำ/ก่อนงอก	0	70.00±3.33 ^{Ba}
0	0	70.00±3.33 ^{BCa}
12	35.00±0.58 ^{Bc}	66.67±3.33 ^{Bab}
24	50.00±1.00 ^{Cb}	63.67±1.33 ^{Cbc}
36	89.00±0.58 ^{Aa}	60.00±3.33 ^{Bc}
นางนวล/ก่อนงอก	0	72.22±5.09 ^{ABa}
0	0	68.44±0.84 ^{Ca}
12	38.00±2.00 ^{Ac}	66.67±3.33 ^{Ba}
24	62.00±2.00 ^{Ab}	60.33±1.66 ^b
36	91.00±4.00 ^{Aa}	58.89±1.70 ^{Bb}

Brown rice means the rice that was not soaked and germinated through the germination process, ^{a-d} Mean with the same column with different letters are significantly difference (P<0.05) ^{A-C} Mean with the same row with different letters are significantly difference (P<0.05)



ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การงอกข้าว 6 สายพันธุ์ ดังตาราง 4.1 พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีเปอร์เซ็นต์การงอก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เวลาเริ่มต้น (0h) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งระยะเวลาการงอกที่ 36 h มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด ระหว่าง $91.00 \pm 4.00 - 80.00 \pm 1.00\%$ รองลงมาคือ 24 h ระหว่าง $62.00 \pm 2.00 - 50.00 \pm 1.00\%$ ที่ 12 h ระหว่าง $35.00 \pm 0.58 - 12.00 \pm 2.65\%$ ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการงอก 36 h ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และนางนวล มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด คือ $91.00 \pm 4.00\%$ รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิดำ $90.00 \pm 1.00\%$ กล้าเปลือกขาว $89.67 \pm 2.08\%$ กล้าเปลือกดำ $89.00 \pm 0.58\%$ และหอมมะลิแดง มีเปอร์เซ็นต์การงอก ต่ำสุด เท่ากับ $80.00 \pm 1.00\%$ ตามลำดับ และเมื่อนำระยะเวลาการเพาะงอก (12-36h) เปรียบเทียบกับระยะเวลาก่อนและหลังการแช่ (0h) ข้าว 6 สายพันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่าระยะเวลาการงอกที่ 36 h มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด ระหว่าง $91.00 \pm 4.00 - 89.00 \pm 0.58\%$ ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 นางนวล หอมมะลิดำ กล้าเปลือกขาว และกล้าเปลือกดำ มีเปอร์เซ็นต์การงอก คือ $91.00 \pm 1.73\%$, $91.00 \pm 4.00\%$, $90.00 \pm 1.00\%$, $89.67 \pm 2.08\%$ และ $89.00 \pm 0.58\%$ และหอมมะลิแดง มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำสุด เท่ากับ $80.00 \pm 1.00\%$ ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชนิดของข้าว มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกข้าวเปลือกและการเพิ่มระยะเวลาการเพาะงอกจะส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มขึ้นตามลำดับ

4.1.1.2 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การขัดสีของข้าว 6 สายพันธุ์

จากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การขัดสีข้าวเปลือก 6 สายพันธุ์ ในสภาวะห้องมีอุณหภูมิ $30 \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 95-97% และปัจจัยของระยะเวลาการงอก นาน 0-36 h ได้แก่ ข้าวเปลือก (ก่อนงอก) ข้าวเปลือกแช่น้ำประปา 10 h (0 h) เพาะงอกข้าวเปลือกหลังแช่น้ำประปา 12 h 24 h และ 36 h ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การขัดสีข้าว 6 สายพันธุ์ ดังตาราง 4.1 พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่าระยะเวลาการงอกที่ 36 h มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีต่ำสุด ระหว่าง $58.89 \pm 1.70 - 71.44 \pm 0.50\%$ รองลงมาคือ 24 h ระหว่าง $60.33 \pm 1.66 - 78.89 \pm 1.54\%$ ที่ 12 h ระหว่าง $66.67 \pm 3.33 - 79.44 \pm 1.39\%$ ที่ 0 h ระหว่าง $68.44 \pm 0.84 - 77.78 \pm 3.79\%$ และข้าวเปลือก (ก่อนงอก) ระหว่าง $70.00 \pm 3.33 - 73.33 \pm 3.33\%$ ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการงอก 36 h ซึ่งข้าวหอมมะลิแดง มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีสูงสุด คือ $71.44 \pm 0.50\%$ รองลงมาคือ ข้าวกล้าเปลือกขาว $61.67 \pm 1.67\%$ หอมมะลิดำ $60.34 \pm 2.08\%$ ขาวดอกมะลิ 105 $60.11 \pm 3.00\%$ กล้าเปลือกดำ $60.00 \pm 3.33\%$ และนางนวล มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีต่ำสุด เท่ากับ $58.89 \pm 1.70\%$ ตามลำดับ และเมื่อนำระยะเวลาการเพาะงอก (0-36h) เปรียบเทียบกับระยะเวลาก่อนงอกเป็นตัวควบคุม ข้าว 6 สายพันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่าระยะเวลาการงอกที่ 36 h มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีต่ำสุด ระหว่าง $58.89 \pm 1.70 - 71.44 \pm 0.50\%$ ซึ่งข้าวหอมมะลิแดง $71.44 \pm 0.50\%$ กล้าเปลือกขาว $61.67 \pm 1.67\%$ หอมมะลิดำ $60.34 \pm 2.08\%$ ขาวดอกมะลิ 105 $60.11 \pm 3.00\%$ กล้าเปลือกดำ $60.00 \pm 3.33\%$ และนางนวล $58.89 \pm 1.70\%$ ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชนิดของข้าว มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การขัดสีข้าวเปลือกซึ่งบอกถึงคุณภาพลักษณะทางกายภาพของข้าวกล้องงอกหลังจากผ่านเครื่องขัดสี และการเพิ่มระยะเวลาการเพาะงอกจะส่งผลทำ



ให้เปอร์เซ็นต์การขัดสีเป็นข้าวกล้องงอกลดลงตามลำดับ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ พัสกร เจียรตระกูล (2546) ได้ศึกษาอุณหภูมิและความชื้นต่อคุณภาพการสีข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ข้าวสามารถทนต่อแรงกดจนแตกหักได้มากน้อยแตกต่างกัน ซึ่งบ่งบอกถึงการทนทานต่อสภาวะความเครียดต่างๆ ที่กระทำต่อข้าว ข้าวสามารถทนต่อแรงกดหรือแรงขีดมากน้อยต่างกัน แสดงว่าถ้าข้าวสามารถทนต่อสภาวะความเครียดต่าง ๆ ได้มาก เมื่อนำไปผ่านขั้นตอนการสี (milling) จะมีปริมาณข้าวหักน้อยหรือมีปริมาณข้าวขัดมาก แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าข้าวสามารถทนต่อแรงกดได้ลดลง เมื่อนำไปผ่านขั้นตอนการสีจะมีปริมาณข้าวหักที่มากขึ้น เนื่องจากเมล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกเกิดความเครียดมากขึ้นในสภาวะการงอกได้จากหลายปัจจัย เช่น ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น (Moongngarm, 2010; Komatsuzaki, 2007) มีปริมาณ แอลฟา-อะไมเลสเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาขัดสีทำให้โอกาสของการแตกหักได้ง่าย ทำให้คุณภาพการขัดสีลดลง

4.1.2 ผลการศึกษาค่าประกอบทางเคมีของข้าว

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าว 6 สายพันธุ์ ในสภาวะห้องมืด อุณหภูมิ 30 ± 0.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 95-97% และปัจจัยของระยะเวลาการทำให้งอก นาน 0-36 h ได้แก่ ข้าวเปลือก (ก่อนงอก) ข้าวเปลือกแช่น้ำประปา 10 h (0 h) เพาะงอกข้าวเปลือกหลังแช่น้ำประปา 12, 24 และ 36 h ตามลำดับ ได้แก่ ปริมาณความชื้น (moisture content) โปรตีนหยาบ (crude protein) ไขมันหยาบ (crude fat) เถ้า (ash) และเส้นใยหยาบ (crude fiber) ผลที่ได้แสดงดังตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีข้าวแต่ละชนิดแตกต่างกัน ถ้าวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ของข้าว 6 สายพันธุ์ หลังการทำให้แห้งด้วยวิธีการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 °C นาน 48 h พบว่าข้าวต่างสายพันธุ์กัน การดูดซับน้ำได้แตกต่างกัน ส่งผลต่อความชื้นของข้าวกล้องงอกสูงกว่าข้าวกล้อง ที่ระยะเวลารงอกที่ 36 h มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงสุด มีค่า ระหว่าง 4.68 ± 0.23 - 5.40 ± 0.54 % รองลงมาคือ 24 h ระหว่าง 4.31 ± 0.78 - 5.08 ± 0.12 % ที่ 12 h ระหว่าง 4.31 ± 0.09 - 5.08 ± 0.11 % ที่ 0 h ระหว่าง 4.19 ± 0.24 - 4.96 ± 0.23 % และข้าวเปลือก (ก่อนงอก) 3.13 ± 0.13 - 3.40 ± 0.11 % ตามลำดับ ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงสุด คือ 5.40 ± 0.54 % รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิแดง หอมมะลิดำ นางนวล และกล้าเปลือกดำ 5.26 ± 0.12 %, 5.26 ± 0.10 %, 5.26 ± 0.67 % และ 5.00 ± 0.40 % ตามลำดับ กล้าเปลือกขาว มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำสุด เท่ากับ 4.68 ± 0.23 % ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชนิดของข้าว มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวเปลือก และการเพิ่มระยะเวลาการเพาะงอกจะส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวงอกเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามระดับความชื้นของข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์ หลังการทำให้แห้งด้วยวิธีอบลมร้อน ข้าวทุกสายพันธุ์สามารถลดความชื้นของข้าวงอก เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Komatsuzaki (2007) ได้ทำการศึกษาค่าผลของการแช่ ต่อสาร GABA ในส่วนจมูกข้าวกล้องญี่ปุ่น 2 สายพันธุ์ ได้แก่ Haiminori และ Nipponbare พบว่าสายพันธุ์ Nipponbare แช่ที่ 35 °C หลังจากแช่ 24 h มีความชื้น 35-36% ส่วนสายพันธุ์ Haiminori แช่ 2 h มีความชื้น 35% และ แช่ 24 h มีความชื้น 43.6% ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์โปรตีนหยาบของข้าว 6 สายพันธุ์ พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมนั้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระยะเวลารงอกที่ 36 h มีโปรตีนหยาบสูงสุด ระหว่าง 9.68 ± 0.02 - 13.54 ± 0.00 g ต่อน้ำหนัก



แห้ง 100 g รองลงมาคือ 24 h ระหว่าง 9.11 $\pm$ 0.04-10.9 $\pm$ 0.00 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 12 h ระหว่าง 9.03 $\pm$ 0.01-10.64 $\pm$ 0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 0 h ระหว่าง 8.91 $\pm$ 0.02-10.36 $\pm$ 0.00 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ

ตาราง 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว (คิดต่อ 100 g น้ำหนักแห้ง)

สายพันธุ์	องค์ประกอบทางเคมี (g/ 100 g dry weigh)				
ระยะเวลางอก (h)	moisture	crude fiber	crude protein	crude fat	ash
ขาวดอกมะลิ/ก่อนงอก	3.40 $\pm$ 0.11 ^{ns}	1.98 $\pm$ 0.04 ^e	8.70 $\pm$ 0.06 ^e	3.54 $\pm$ 0.04 ^b	1.07 $\pm$ 0.01 ^b
0	4.19 $\pm$ 0.24 ^{ns}	2.74 $\pm$ 0.07 ^d	8.91 $\pm$ 0.02 ^d	3.85 $\pm$ 0.3 ^{ab}	1.06 $\pm$ 0.01 ^b
12	4.58 $\pm$ 0.27 ^{ns}	3.95 $\pm$ 0.26 ^c	9.03 $\pm$ 0.01 ^c	3.88 $\pm$ 0.2 ^{ab}	1.27 $\pm$ 0.01 ^a
24	4.59 $\pm$ 0.09 ^{ns}	4.93 $\pm$ 0.18 ^b	9.11 $\pm$ 0.04 ^b	4.07 $\pm$ 0.2 ^a	1.27 $\pm$ 0.02 ^a
36	5.40 $\pm$ 0.54 ^{ns}	5.25 $\pm$ 0.06 ^a	9.68 $\pm$ 0.02 ^a	4.13 $\pm$ 0.09 ^a	1.26 $\pm$ 0.01 ^a
มะลิแดง/ก่อนงอก	3.36 $\pm$ 0.46 ^{ns}	1.87 $\pm$ 0.04 ^d	8.93 $\pm$ 0.00 ^d	4.18 $\pm$ 0.13 ^c	1.09 $\pm$ 0.02 ^b
0	4.26 $\pm$ 0.64 ^{ns}	4.27 $\pm$ 0.09 ^c	9.18 $\pm$ 0.01 ^c	4.40 $\pm$ 0.12 ^{bc}	1.08 $\pm$ 0.01 ^b
12	4.43 $\pm$ 0.34 ^{ns}	4.36 $\pm$ 0.05 ^c	9.23 $\pm$ 0.01 ^c	4.44 $\pm$ 0.15 ^b	1.12 $\pm$ 0.02 ^a
24	4.65 $\pm$ 0.14 ^{ns}	5.34 $\pm$ 0.05 ^b	9.57 $\pm$ 0.05 ^b	4.53 $\pm$ 0.21 ^b	1.10 $\pm$ 0.03 ^a
36	5.26 $\pm$ 0.10 ^{ns}	5.74 $\pm$ 0.07 ^a	9.95 $\pm$ 0.00 ^a	4.88 $\pm$ 0.08 ^a	1.10 $\pm$ 0.08 ^a
มะลิดำ/ก่อนงอก	3.36 $\pm$ 0.46 ^b	1.72 $\pm$ 0.41 ^e	9.12 $\pm$ 0.00 ^e	3.73 $\pm$ 0.29 ^c	1.27 $\pm$ 0.01 ^b
0	4.26 $\pm$ 0.64 ^b	1.82 $\pm$ 0.03 ^d	9.15 $\pm$ 0.01 ^d	3.92 $\pm$ 0.28 ^{bc}	1.27 $\pm$ 0.01 ^b
12	4.43 $\pm$ 0.34 ^b	2.10 $\pm$ 0.04 ^c	9.63 $\pm$ 0.00 ^c	4.25 $\pm$ 0.02 ^b	1.42 $\pm$ 0.02 ^a
24	4.65 $\pm$ 0.14 ^b	2.44 $\pm$ 0.03 ^b	9.99 $\pm$ 0.02 ^b	4.26 $\pm$ 0.36 ^b	1.44 $\pm$ 0.11 ^a
36	5.26 $\pm$ 0.10 ^a	2.79 $\pm$ 0.05 ^a	10.07 $\pm$ 0.02 ^a	4.77 $\pm$ 0.25 ^a	1.44 $\pm$ 0.05 ^a
กล่ำขาว/ก่อนงอก	3.22 $\pm$ 0.12 ^{ns}	1.46 $\pm$ 0.09 ^e	9.58 $\pm$ 0.00 ^e	3.71 $\pm$ 0.07 ^d	1.57 $\pm$ 0.01 ^b
0	4.25 $\pm$ 0.15 ^{ns}	2.82 $\pm$ 0.09 ^d	10.36 $\pm$ 0.00 ^d	4.09 $\pm$ 0.06 ^c	1.56 $\pm$ 0.05 ^b
12	4.31 $\pm$ 0.09 ^{ns}	2.96 $\pm$ 0.04 ^c	10.64 $\pm$ 0.01 ^c	4.37 $\pm$ 0.21 ^{bc}	1.64 $\pm$ 0.03 ^a
24	4.31 $\pm$ 0.78 ^{ns}	4.65 $\pm$ 0.07 ^b	10.81 $\pm$ 0.07 ^b	4.44 $\pm$ 0.09 ^b	1.66 $\pm$ 0.04 ^a
36	4.68 $\pm$ 0.23 ^{ns}	5.16 $\pm$ 0.05 ^a	11.17 $\pm$ 0.01 ^a	5.78 $\pm$ 0.31 ^a	1.66 $\pm$ 0.01 ^a
กล่ำดำ/ก่อนงอก	3.29 $\pm$ 0.11 ^{ns}	1.62 $\pm$ 0.04 ^d	9.48 $\pm$ 0.01 ^e	3.31 $\pm$ 0.22 ^b	1.31 $\pm$ 0.01 ^b
0	4.38 $\pm$ 0.50 ^{ns}	1.76 $\pm$ 0.10 ^d	10.05 $\pm$ 0.01 ^d	3.38 $\pm$ 0.15 ^b	1.34 $\pm$ 0.05 ^b
12	4.57 $\pm$ 0.54 ^{ns}	2.08 $\pm$ 0.02 ^c	10.42 $\pm$ 0.00 ^c	3.55 $\pm$ 0.12 ^b	1.62 $\pm$ 0.01 ^a
24	4.59 $\pm$ 0.62 ^{ns}	2.52 $\pm$ 0.21 ^b	10.9 $\pm$ 0.00 ^b	3.66 $\pm$ 0.18 ^b	1.62 $\pm$ 0.01 ^a
36	5.00 $\pm$ 0.40 ^{ns}	3.79 $\pm$ 0.05 ^a	13.54 $\pm$ 0.00 ^a	4.52 $\pm$ 0.31 ^a	1.61 $\pm$ 0.01 ^a
นางนวล/ก่อนงอก	3.13 $\pm$ 0.13 ^b	2.29 $\pm$ 0.10 ^c	9.07 $\pm$ 0.01 ^e	4.00 $\pm$ 0.04 ^c	1.27 $\pm$ 0.01 ^b
0	4.96 $\pm$ 0.23 ^b	2.74 $\pm$ 0.05 ^c	9.34 $\pm$ 0.01 ^d	4.31 $\pm$ 0.39 ^{bc}	1.27 $\pm$ 0.01 ^b
12	5.08 $\pm$ 0.11 ^a	3.71 $\pm$ 0.12 ^b	9.52 $\pm$ 0.01 ^c	4.62 $\pm$ 0.07 ^b	1.30 $\pm$ 0.02 ^b
24	5.08 $\pm$ 0.12 ^a	4.09 $\pm$ 0.11 ^b	9.59 $\pm$ 0.01 ^b	4.66 $\pm$ 0.17 ^b	1.35 $\pm$ 0.03 ^a
36	5.26 $\pm$ 0.67 ^a	5.67 $\pm$ 0.52 ^a	9.73 $\pm$ 0.00 ^a	5.79 $\pm$ 0.02 ^a	1.35 $\pm$ 0.03 ^a

Brown rice means the rice that was not soaked and germinated through the germination process, Mean with the same row with different letters are significantly difference ($p < 0.05$) and ^{ns}no significantly difference ($p > 0.05$)



8.70±0.06-9.58±0.00 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ ซึ่งข้าวกล้าเปลือกดำ มีปริมาณโปรตีนหยาบสูงสุด คือ 13.54±0.00 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g รองลงมาคือ ข้าวกล้าเปลือกขาว 11.17±0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวหอมมะลิดำ 10.07±0.02 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวหอมมะลิแดง 9.95±0.00 ข้าวนางนวล 9.73±0.00 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณโปรตีนหยาบต่ำสุด คือ 9.68±0.02 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชนิดของข้าวต่างชนิดกัน มีปริมาณโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเพาะงอกที่เพิ่มขึ้น จากการทดลองของวรรณวิไล ฤทธิเดช (2547) พบว่าข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ ข้าวหอมมะลิที่แช่และเพาะเป็นเวลา 12: 24 h เท่ากับ 8.85% และต่ำสุด เท่ากับ 8.33% คือ ข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดงที่แช่และเพาะเป็นเวลา 12: 12 h ส่วนปริมาณโปรตีนของข้าวกล้องมันปู ผ่านกระบวนการงอกไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ข้าวเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่มีไขมันต่ำ ดังนั้นผลการวิเคราะห์ไขมันหยาบของข้าว 6 สายพันธุ์ พบว่า ตัวอย่างข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีไขมันหยาบเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระยะเวลาการงอก 36 h มีไขมันหยาบสูงสุด ระหว่าง 4.13±0.09-5.79±0.02 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g รองลงมาคือ 24 h ระหว่าง 3.66±0.18-4.66±0.17 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 12 h ระหว่าง 3.55±0.12-4.62±0.07 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 0 h ระหว่าง 3.38±0.15-4.40±0.12 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g และข้าวเปลือก (ก่อนงอก) ระหว่าง 3.31±0.22-4.18±0.13 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ ซึ่งข้าวกล้าเปลือกขาวและนางนวล มีปริมาณไขมันหยาบสูงสุด คือ 5.78±0.31 และ 5.79±0.02 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิแดง 4.88±0.08-11.17±0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวหอมมะลิดำ 4.77±0.25 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวกล้าเปลือกดำ 4.52±0.31 และมีปริมาณไขมันหยาบต่ำสุด คือ ข้าวดอกมะลิ 105 4.13±0.00 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชนิดของข้าวต่างชนิดกัน มีปริมาณไขมันหยาบเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเพาะงอก

ข้าวกล้องเป็นแหล่งเส้นใยสูงผลการวิเคราะห์เส้นใยของข้าว 6 สายพันธุ์ พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีเส้นใยเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมนั้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระยะเวลาการงอก 36 h มีเส้นใยสูงสุด ระหว่าง 2.79±0.05-5.74±0.07 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g รองลงมาคือ 24 h ระหว่าง 2.44±0.03-5.34±0.05 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 12 h ระหว่าง 2.08±0.02-4.3±0.05 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 0 h ระหว่าง 1.76±0.10-4.27±0.09 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g และข้าวเปลือก (ก่อนงอก) ระหว่าง 1.46±0.09-2.29±0.10 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ ซึ่งข้าวหอมมะลิแดงและนางนวล มีปริมาณเส้นใยสูงสุด คือ 5.74±0.07 และ 5.67±0.52 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ และกล้าเปลือกขาว 5.25±0.06 และ 5.16±0.05 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวกล้าเปลือกดำ 3.79±0.05 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g และมีปริมาณเส้นใยต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิดำ 2.79±0.05 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชนิดของข้าวต่างชนิดกัน มีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเพาะงอก เนื่องจากข้าวที่อยู่ในสถานะที่มีการเจริญเติบโต จะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยกระตุ้นให้เอนไซม์ในเมล็ดข้าวเกิดการ



ทำงาน เมื่อเมล็ดเริ่มงอก สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยสลายไปตาม กระบวนการทางชีวเคมี ซึ่งปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสที่มากขึ้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยอาจเนื่องมาจากส่วนของพอลิแซ็กคาไรด์ และ mucilage เกิดการขยายตัวจากโมเลกุลของน้ำที่ซึมเข้าไปและเกิดการย่อยของเอนไซม์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยในเมล็ดธัญพืชได้ นอกจากนี้ยังพบรายงานของ Arora (2010) ได้นำข้าวบาร์เลย์ที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่เติม *Lactobacillus acidophilus* มีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นร้อยละ 12

ข้าวกล้องยังคงมีส่วนเยื่อหุ้มเมล็ด ในส่วนที่เป็นสารอินทรีย์หรือปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในข้าวกล้อง ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของข้าว 6 สายพันธุ์ พบว่าปริมาณเถ้าทุกสายพันธุ์ หลังจากเพาะงอกที่ 12 h จะมีค่าไม่แตกต่าง แต่มากกว่าข้าวกล้องก่อนงอกเนื่องจากข้าวดูดซับสารอินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีปริมาณเถ้าค่อนข้างคงที่ ระยะการเพาะงอกที่ 36 h มีปริมาณเถ้าสูงสุด ระหว่าง 1.10 ± 0.08 - 1.66 ± 0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 24 h มีปริมาณเถ้า ระหว่าง 1.10 ± 0.03 - 1.66 ± 0.04 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 12 h มีปริมาณเถ้า ระหว่าง 1.12 ± 0.02 - 1.64 ± 0.03 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 0 h มีปริมาณเถ้า ระหว่าง 1.06 ± 0.01 - 1.57 ± 0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g และก่อนงอก มีปริมาณเถ้า ระหว่าง 1.07 ± 0.01 - 1.56 ± 0.05 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ ซึ่งข้าวกล้องเปลือกขาว มีปริมาณเถ้าสูงสุด คือ 1.66 ± 0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g รองลงมาคือ ข้าวกล้องเปลือกดำ 1.61 ± 0.01 ข้าวหอมมะลิดำ 1.44 ± 0.05 และข้าวนางนวล 1.35 ± 0.03 และข้าวขาวมะลิ 105 1.26 ± 0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ และมีปริมาณเถ้าต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิแดง 1.10 ± 0.08 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชนิดของข้าวต่างชนิดกัน มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกัน ค่อนข้างคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Moongngarm (2010) พบว่ากระบวนการงอกจะเพิ่มปริมาณโปรตีนหยาบ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไขมันหยาบ เส้นใยหยาบและเถ้า ไม่มีความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากระหว่างกระบวนการงอก เอนไซม์หลายชนิดมีกิจกรรมขึ้นและสารกลุ่ม non-protein nitrogen บางชนิด เช่น กรดนิวคลีอิก ถูกผลิตขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้มีปริมาณโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้นหลังการงอกและผลจากการย่อยโปรตีนของเอนไซม์โปรติเอส และการสังเคราะห์เอนไซม์ใหม่จากเหตุผลดังกล่าว ข้าวกล้องทุกสายพันธุ์ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการงอก จะมีปริมาณโปรตีนหยาบสูงขึ้น และจากผลการวิจัยของ Traore (2004) การลดลงของระดับไขมันหยาบและเถ้าไม่แตกต่างกัน เมื่อไขมันในเมล็ดถูกไฮโดรไลส์ ระหว่างการงอกและถูกใช้เพื่อผลิตพลังงานที่จำเป็นต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และทางเคมีเชิงฟิสิกส์

4.1.3 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์ผลที่ได้ (yield) ของสารสกัด

การศึกษาเปอร์เซ็นต์ผลที่ได้ของสารสกัดที่ละลายน้ำได้ของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก 6 สายพันธุ์ โดยคิดจากน้ำหนักของสารที่สกัดได้ หลังการทำแห้งด้วยวิธี freeze-drying ต่อน้ำหนักแห้งของผงแป้งข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก พบว่าเปอร์เซ็นต์ผลที่ได้ ของสารสกัดที่ละลายน้ำจากข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกแต่ละชนิดที่สภาวะแตกต่าง มีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 4.3



ตาราง 4.3 เปอร์เซนต์ผลที่ได้ของสารสกัดที่ละลายน้ำได้ จากข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก
6 สายพันธุ์

เวลาออก(h)	Extraction yield (g/ 100 g dry weight)					
	ขาวดอกมะลิ	มะลิแดง	มะลิดำ	กล้าเปลือกขาว	กล้าเปลือกดำ	นางนวล
control	5.20±0.17 ^{eC}	4.76±0.11 ^{eE}	6.13±0.08 ^{eC}	6.36±0.07 ^{eA}	5.83±0.16 ^{eB}	5.57±0.12 ^{eD}
0	9.40±0.05 ^{dC}	6.78±0.06 ^{dE}	9.28±0.06 ^{dC}	9.78±0.04 ^{dA}	9.31±0.04 ^{dB}	8.88±3.85 ^{dD}
12	11.18±0.19 ^{cC}	7.80±0.06 ^{cE}	9.82±0.04 ^{cC}	11.05±0.09 ^{cA}	10.95±0.12 ^{cB}	9.43±0.06 ^{cD}
24	12.88±0.10 ^{bC}	8.54±0.08 ^{bE}	12.61±0.23 ^{bC}	13.52±0.11 ^{bA}	12.76±0.07 ^{bB}	12.42±0.09 ^{bD}
36	14.23±0.07 ^{aC}	9.87±0.06 ^{aE}	14.61±0.40 ^{aC}	15.62±0.07 ^{aA}	15.15±0.27 ^{aB}	14.05±0.06 ^{aD}

Extraction yield (%) = $\text{Weight}_{\text{rice extracted}} / \text{Weight}_{\text{before drying}} \times 100\%$

Brown rice means the rice that was not soaked and germinated through the germination process, ^{a-e} Mean with the same column with different letters are significantly difference (P<0.05) ^{A-C} Mean with the same row with different letters are significantly difference (P<0.05), control= the rice not soaked

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซนต์ผลที่ได้ของสารสกัดที่ละลายน้ำได้ของข้าวเปลือก 6 สายพันธุ์ พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีเปอร์เซนต์ของสารสกัดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมนั้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระยะเวลาการเพาะงอก 36 h ระหว่าง 9.87±0.06-15.62±0.07 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g รองลงมาคือ 24 h ระหว่าง 8.54±0.08-13.52±0.11 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 12 h ระหว่าง 7.80±0.06-11.18±0.19 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 0 h ระหว่าง 6.78±0.06-8.80±3.85 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g และข้าวกล้อง (ก่อนงอก) ระหว่าง 4.76±0.11-6.36±0.07 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ ซึ่งข้าวกล้าเปลือกขาวและกล้าเปลือกดำ มีค่าเปอร์เซนต์ผลที่ได้ของสารสกัดที่ละลายน้ำได้ สูงสุด คือ 15.62±0.07 รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิดำ ขาวดอกมะลิ 105 และนางนวล 14.61±0.40, 14.23±0.07 และ 14.05±0.06 และเปอร์เซนต์ผลที่ได้ของสารสกัดที่ละลายน้ำได้ มีค่าต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิแดง 9.87±0.06 (g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shyama (2006) ได้ศึกษาจากนาข้าวเปลือกมางอก ที่อุณหภูมิ 25 °C นาน 96 h อบที่ 50 °C นาน 24 h สกัดด้วยน้ำได้สารที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (water soluble non-starch polysaccharides: NSP) พบว่า% yield ของข้าวกล้องงอก เพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่าของข้าวกล้อง ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ Rao และ Muralikrishna (2004) ได้ศึกษาจากธัญพืช สกัดด้วยน้ำได้สารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (water extractable non-starch polysaccharide: WEP) และพบว่า สารกลุ่ม NSP มีค่าน้อยกว่า WEP (ข้าวกล้อง 1.2%, ข้าวกล้องงอก 2.2%) อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และการเกิดปฏิกิริยากับน้ำของโพลีแซคคาไรด์ระหว่างการสกัดแตกต่างกัน แต่สิ่งที่คล้ายกันคือทั้ง WEP และ NSP มีน้ำตาลมากกว่า 98%



4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกของข้าว 6 สายพันธุ์

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมดและปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยของข้าว 6 สายพันธุ์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมด (ตาราง 4.4) และปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วย เอนไซม์ (ตาราง 4.5) ของข้าว 6 สายพันธุ์ พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีปริมาณแป้งทั้งหมดและปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมนั้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่า ข้าวกล้องงอก มีปริมาณแป้งทั้งหมดและปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ สูงกว่าข้าวกล้องงอก ทุก ๆ ระยะเวลาในการเพาะงอก โดยมีปริมาณแป้งทั้งหมด ระหว่าง 5.52 ± 0.27 - 6.20 ± 1.19 mg/mL ของสารสกัด ข้าวหอมมะลิแดง มีปริมาณแป้งทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 6.20 ± 1.19 mg/mL ของสารสกัด และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่ำสุด เท่ากับ 5.52 ± 0.27 mg/mL ของสารสกัด (ตาราง 4.4) ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch content) ระหว่าง 3.05 ± 0.07 - 1.70 ± 0.01 mg/mL ของสารสกัด ซึ่งข้าวหอมมะลิแดง มีปริมาณสูงสุด เท่ากับ 3.05 ± 0.07 mg/mL ของสารสกัด รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 2.01 ± 0.07 mg/mL ของสารสกัด ข้าวนางนวล และข้าวกล้าเปลือกขาว มีค่าเท่ากัน คือ 1.95 ± 0.04 mg/mL ของสารสกัด ข้าวกล้าเปลือกขาว เท่ากับ 1.73 ± 0.03 mg/mL ของสารสกัด และมีปริมาณต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 1.70 ± 0.01 mg/mL ของสารสกัด ตามลำดับ (ตาราง 4.5) ส่วนปริมาณแป้งที่ถูกย่อยซึ่งได้จากการคำนวณ ระหว่าง 4.49 ± 0.44 - 5.28 ± 0.01 mg/mL ของสารสกัด ซึ่งข้าวนางนวล มีปริมาณสูงสุด เท่ากับ 5.28 ± 0.24 mg/mL ของสารสกัด รองลงมาคือ ข้าวกล้าเปลือกดำ เท่ากับ 5.13 ± 0.64 mg/mL ของสารสกัด ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 4.96 ± 1.72 mg/mL ของสารสกัด ข้าวหอมมะลิแดง เท่ากับ 4.78 ± 0.88 mg/mL ของสารสกัด กล้าเปลือกขาว เท่ากับ 4.58 ± 0.43 mg/mL ของสารสกัด และมีปริมาณต่ำสุด คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 4.49 ± 0.44 mg/mL ของสารสกัด ตามลำดับ (ตาราง 4.6) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดของข้าวมีผลต่อปริมาณแป้งทั้งหมดและปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ แตกต่างกัน ดังนั้นการเพิ่มปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch) ให้กับข้าวที่มีอะไมโลสสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Pongianta (2008) ได้ศึกษาการย่อยข้าวที่มีอะไมโลสสูงด้วยเอนไซม์พอลูลูนาสที่มีความเข้มข้น 8 U ต่อ 1 กรัมแป้ง ที่ 55°C พบว่าปริมาณของแป้งที่ย่อยได้ (digestion starch content) และแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch content) ทำการย่อยช้าโม่งที่ 48 มีแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ เท่ากับ 12.33 %dwb สูงกว่าช้าโม่งที่ 24 เท่ากับ 11.43 %dwd และมีปริมาณของแป้งที่ย่อยได้ช้าโม่งที่ 48 เท่ากับ 83.52 %dwb ต่ำกว่า และช้าโม่งที่ 24 เท่ากับ 84.15 % dwb ตามลำดับ ดังนั้นแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ จะแปรผกผันกับปริมาณของแป้งที่ย่อยได้ นอกจากนี้ Pongianta (2009) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้สุกก่อนการย่อยเอนไซม์ พบว่าที่ 121°C มี แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ เท่ากับ 19.32 %dwb สูงกว่า 95°C เท่ากับ 10.68 % และมีปริมาณของแป้งที่ย่อยได้ เท่ากับ 75.89 %dwb และ 83.90 %dwb ตามลำดับ นอกจากนี้ Frei (2003) ได้ศึกษาการย่อยแป้งข้าวจากฟิลิปปินส์หลายสายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวที่มีอะไมโลสสูง (26.9 %) เช่น Milagrosa และ Manumbaeay ข้าวที่มีอะไมโลสปานกลาง (18.7%) เช่น



Kutsiyam ข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ (9.8%) เช่น Kinaures และข้าวเหนียว เช่น Bagoean และ Karaya พบว่าข้าวที่อะไมโลสสูง มีปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สูงกว่า (0.2-1.3 % น้ำหนักแห้ง) ข้าวเหนียว (0.1-0.2 % น้ำหนักแห้ง) และข้าวที่อะไมโลสสูง มีแป้งที่ย่อยได้ต่ำกว่า (71.8-80.7 % น้ำหนักแห้ง) ข้าวเหนียว (80.0-80.9% น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

ตาราง 4.4 ปริมาณแป้งทั้งหมด (total starch) ของข้าว 6 สายพันธุ์

total starch (% dwb)						
เวลาออก (h)	ขาวดอกมะลิ	มะลิแดง	มะลิดำ	กล้าขาว	กล้าดำ	นางนวล
control	4.99±0.60 ^{d,B,C}	4.58±0.55 ^{dC}	4.93±0.81 ^{d,A,B}	5.30±0.28 ^{d,A,B}	5.88±0.31 ^{d,A}	5.97±0.82 ^{dA}
0	5.04±0.50 ^{c,B,C}	5.00±0.34 ^{cC}	5.71±0.34 ^{c,A,B}	5.54±0.31 ^{c,A,B}	6.03±0.11 ^{c,A}	6.05±1.30 ^{cA}
12	5.52±0.27 ^{b,c,B,C}	6.20±1.19 ^{b,c,C}	5.86±0.74 ^{b,c,A,B}	5.82±0.59 ^{b,c,A,B}	6.11±0.72 ^{b,c,A}	6.23±0.52 ^{b,c,A}
24	5.62±0.82 ^{a,b,B,C}	6.47±0.71 ^{a,b,C}	6.06±0.79 ^{a,b,A,B}	5.91±0.39 ^{a,b,A,B}	6.18±0.49 ^{a,b,A}	6.24±0.73 ^{a,b,A}
36	6.09±0.44 ^{a,B,C}	6.68±0.85 ^{aC}	6.39±1.71 ^{a,A,B}	6.27±0.40 ^{a,A,B}	6.58±0.65 ^{aA}	6.82±0.23 ^{aA}

Brown rice means the rice that was not soaked and germinated through the germination process, ^{a-d} Mean with the same column with different letters are significantly different (p<0.05) ^{A-C} Mean with the same row with different letters are significantly difference (p<0.05)

ตาราง 4.5 ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch content) ของข้าว 6 สายพันธุ์

resistant starch content (%dwb)						
เวลาออก(h)	ขาวดอกมะลิ	มะลิแดง	มะลิดำ	กล้าขาว	กล้าดำ	นางนวล
control	1.82±0.06 ^{aC}	3.05±0.07 ^{aA}	1.70±0.01 ^{aF}	1.73±0.03 ^{aE}	1.95±0.04 ^{aD}	1.95±0.04 ^{aB}
0	1.76±0.01 ^{bC}	2.87±0.19 ^{bA}	1.52±0.00 ^{bF}	1.68±0.02 ^{bE}	1.72±0.01 ^{bD}	1.72±0.01 ^{bB}
12	1.70±0.01 ^{cC}	2.35±0.12 ^{cA}	1.53±0.03 ^{cF}	1.59±0.01 ^{cE}	1.64±0.01 ^{cD}	1.64±0.01 ^{cB}
24	1.65±0.03 ^{dC}	2.19±0.09 ^{dA}	1.53±0.01 ^{dF}	1.56±0.01 ^{dE}	1.49±0.04 ^{dD}	1.49±0.04 ^{dB}
36	1.60±0.02 ^{eC}	1.90±0.04 ^{eA}	1.44±0.02 ^{eF}	1.45±0.04 ^{eE}	1.43±0.02 ^{eD}	1.43±0.02 ^{eB}

Brown rice means the rice that was not soaked and germinated through the germination process, ^{a-e} Mean with the same column with different letters are significantly different (p< 0.05) ^{A-E} Mean with the same row with different letters are significantly difference (p< 0.05)



ตาราง 4.6 ปริมาณแป้งที่ย่อยได้ทั้งหมด (digestion starch content) ของข้าว 6 สายพันธุ์

resistant starch content (%dwb)						
เวลาออก(h)	ขาวดอกมะลิ	มะลิแดง	มะลิดำ	กล้าขาว	กล้าดำ	นางนวล
control	1.82±0.06 ^{aC}	3.05±0.07 ^{aA}	1.70±0.01 ^{aF}	1.73±0.03 ^{aE}	1.95±0.04 ^{aD}	1.95±0.04 ^{aB}
0	1.76±0.01 ^{bC}	2.87±0.19 ^{bA}	1.52±0.00 ^{bF}	1.68±0.02 ^{bE}	1.72±0.01 ^{bD}	1.72±0.01 ^{bB}
12	1.70±0.01 ^{cC}	2.35±0.12 ^{cA}	1.53±0.03 ^{cF}	1.59±0.01 ^{cE}	1.64±0.01 ^{cD}	1.64±0.01 ^{cB}
24	1.65±0.03 ^{dC}	2.19±0.09 ^{dA}	1.53±0.01 ^{dF}	1.56±0.01 ^{dE}	1.49±0.04 ^{dD}	1.49±0.04 ^{dB}
36	1.60±0.02 ^{eC}	1.90±0.04 ^{eA}	1.44±0.02 ^{eF}	1.45±0.04 ^{eE}	1.43±0.02 ^{eD}	1.43±0.02 ^{eB}

Brown rice means the rice that was not soaked and germinated through the germination process, ^{a-e}Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$) ^{A-C}Mean with the same row with different letters are significantly difference ($p < 0.05$)

4.2.2 ผลการวิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าว 6 สายพันธุ์

ปริมาณน้ำตาลและสารสกัดหยาบฟรีไบโอติกของข้าว 6 สายพันธุ์ ถูกเตรียมตามวิธีของ Trakulpiboolchai (2006) โดยใช้ข้าวเป็นตัวอย่าง ละลาย อัตราส่วน 1:10 (w/v) ประกอบด้วย ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) และปริมาณสารฟรีไบโอติกอย่างหยาบ (crude prebiotic) ได้ผลดังตาราง 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ของข้าว 6 สายพันธุ์ พบว่า ตัวอย่างข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และสารฟรีไบโอติกจากการคำนวณ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมนั้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระยะเวลาการเพาะงอก 36 h มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงสุด ระหว่าง 1.23±0.01-2.52±0.02 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g (ตาราง 4.4) รองลงมาคือ 24 h ระหว่าง 1.04±0.01-2.40±0.03 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 12 h ระหว่าง 0.80±0.01-1.54±0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 0 h ระหว่าง 0.37±0.01-1.20±0.11 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g และข้าวกล้อง (ก่อนงอก) ระหว่าง 0.33±0.00-0.71±0.03 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ ข้าวกล้าเปลือกขาว มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงสุดคือ 2.52±0.02 รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิดำ ขาวดอกมะลิ 105 1.87±0.02, 1.65±0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวขาวดอกมะลิ 105 1.65±0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวนางนวล 1.56±0.03 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวกล้าเปลือกดำ 1.33±0.00 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g และข้าวหอมมะลิแดง มีค่าต่ำสุดคือ 1.23±0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ระยะเวลาการเพาะงอก 36 h มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด ระหว่าง 0.83±0.01-1.78±0.09g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g รองลงมาคือ 24 h ระหว่าง 0.65±0.04-1.44±0.08 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 12 h ระหว่าง 0.60±0.04-1.21±0.06 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 0 h ระหว่าง 0.18±0.00-0.92±0.05 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g และข้าวกล้อง (ก่อนงอก) ระหว่าง 0.16±0.01-0.49±0.05 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ ข้าวกล้าเปลือกขาว มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดคือ 1.78±0.09 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g รองลงมาคือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ



1.31±0.04 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 1.27±0.02 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวนางนวล เท่ากับ 1.23±0.08 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวหอมมะลิแดง เท่ากับ 1.06±0.08 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g และข้าวกล้าเปลือกดำ มีปริมาณต่ำสุด เท่ากับ 0.83±0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ระยะเวลาการเพาะงอก 24 h มีปริมาณสารสกัดหยาบพรีไบโอติกที่ได้จากการคำนวณสูงสุด ระหว่าง 0.10±0.05-0.96±0.11 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g รองลงมาคือ 36 h ระหว่าง 0.17±0.07-0.75±0.10 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 12 h ระหว่าง 0.08±0.08-0.63±0.10 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ที่ 0 h ระหว่าง 0.04±0.03-0.44±0.10 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g และข้าวกล้อง (ก่อนงอก) ระหว่าง 0.03±0.03-0.30±0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ ข้าวกล้าเปลือกขาว มีปริมาณสารสกัดหยาบพรีไบโอติกที่ได้จากการคำนวณสูงสุด เท่ากับ 0.96±0.11 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g รองลงมาคือ ข้าวกล้าเปลือกดำ เท่ากับ 0.66±0.06 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 0.59±0.07 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวนางนวลเท่ากับ 0.44±0.05 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ข้าวหอมมะลิแดง มีปริมาณต่ำสุด คือ 0.17±0.07 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ตามลำดับ

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดของข้าวมีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ แตกต่างกัน สอดคล้องกับ Moongngarm (2010) ได้ศึกษาน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าวเหนียว (ภข. 6) ซึ่งทำการแช่ 12 h นำไปเพาะงอกในแฮมเบอร์ 24 h อุณหภูมิ 28-30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% รดน้ำด้วยสปริงเกอร์อัตโนมัติ พบว่ากระบวนการงอกมีน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเฉพาะผงข้าวกล้องงอกมีระดับน้ำตาลทั้งหมดสูงสุด คือ 14.6 % และน้ำตาลรีดิวซ์ คือ 10.9% ซึ่งการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลทั้งสองชนิดเกิดจากกระบวนการงอกทำให้แป้งถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสได้เพิ่มขึ้น

ตาราง 4.7 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) ของข้าว 6 สายพันธุ์

เวลาออก (h)	total sugar (mg/ml)					
	ขาวดอกมะลิ	มะลิแดง	มะลิดำ	กล้าขาว	กล้าดำ	นางนวล
control	0.46±0.01 ^{eC}	0.41±0.01 ^{eF}	0.66±0.01 ^{eB}	0.71±0.03 ^{eA}	0.33±0.00 ^{eE}	0.34±0.01 ^{eD}
0	0.52±0.00 ^{dC}	0.67±0.01 ^{dF}	1.18±0.01 ^{dB}	1.20±0.11 ^{dA}	0.37±0.01 ^{dE}	0.44±0.01 ^{dD}
12	1.15±0.06 ^{cC}	0.82±0.02 ^{cF}	1.54±0.01 ^{CB}	1.32±0.04 ^{CA}	1.08±0.01 ^{CE}	0.80±0.01 ^{CD}
24	1.24±0.05 ^{bC}	1.04±0.01 ^{bF}	1.73±0.02 ^{BB}	2.40±0.03 ^{BA}	1.31±0.00 ^{BE}	1.51±0.01 ^{BD}
36	1.65±0.01 ^{aC}	1.23±0.01 ^{aF}	1.87±0.02 ^{AB}	2.52±0.02 ^{AA}	1.33±0.00 ^{AE}	1.56±0.03 ^{AD}

Brown rice means the rice that was not soaked and germinated through the germination process, ^{a-e} Mean with the same column with different letters are significantly difference ($p<0.05$) ^{A-E} Mean with the same row with different letters are significantly difference ($p<0.05$)



ตาราง 4.8 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ของข้าว 6 สายพันธุ์

เวลาออก (h)	reducing sugar (mg/ml)					
	ขาวดอกมะลิ	มะลิแดง	มะลิดำ	กล้าขาว	กล้าดำ	นางนวล
control	0.16±0.01 ^{eE}	0.40±0.07 ^{eC}	0.49±0.05 ^{eB}	0.26±0.03 ^{eA}	0.26±0.00 ^{eD}	0.29±0.04 ^{eC}
0	0.18±0.00 ^{dE}	0.63±0.03 ^{dC}	0.92±0.05 ^{dB}	0.83±0.10 ^{dA}	0.30±0.00 ^{dD}	0.48±0.05 ^{dC}
12	0.60±0.02 ^{cE}	0.74±0.08 ^{CC}	0.91±0.10 ^{CB}	1.21±0.06 ^{CA}	0.60±0.04 ^{CD}	0.64±0.00 ^{CC}
24	0.65±0.04 ^{bE}	0.95±0.05 ^{bC}	1.23±0.08 ^{BB}	1.44±0.08 ^{BA}	0.65±0.06 ^{BD}	1.07±0.05 ^{BC}
36	1.31±0.04 ^{aE}	1.06±0.08 ^{aC}	1.27±0.02 ^{AB}	1.78±0.09 ^{AA}	0.83±0.01 ^{AD}	1.23±0.08 ^{AC}

Brown rice means the rice that was not soaked and germinated through the germination process, ^{a-e} Mean with the same column with different letters are significantly difference (p< 0.05) ^{A-E} Mean with the same row with different letters are significantly difference (p< 0.05)

ตาราง 4.9 ปริมาณสารสกัดหยาบพรีไบโอติก (crude prebiotic) ของข้าว 6 สายพันธุ์

เวลาเพาะ งอก(h)	crude prebiotic					
	ขาวดอกมะลิ	มะลิแดง	มะลิดำ	กล้าขาว	กล้าดำ	นางนวล
control	0.30±0.01 ^{bB}	0.03±0.03 ^{bE}	0.18±0.04 ^{dB}	0.13±0.02 ^{dA}	0.07±0.00 ^{cC}	0.04±0.01 ^{dD}
0	0.34±0.01 ^{bB}	0.04±0.03 ^{bE}	0.27±0.05 ^{CB}	0.44±0.10 ^{CA}	0.07±0.01 ^{cC}	0.04±0.01 ^{dD}
12	0.55±0.08 ^{aB}	0.08±0.08 ^{a,b,E}	0.63±0.10 ^{AB}	0.47±0.03 ^{CA}	0.48±0.02 ^{bC}	0.18±0.01 ^{CD}
24	0.59±0.07 ^{aB}	0.10±0.05 ^{a,b,E}	0.50±0.11 ^{BB}	0.96±0.11 ^{AA}	0.66±0.06 ^{aC}	0.44±0.05 ^{aD}
36	0.34±0.03 ^{bB}	0.17±0.07 ^{aE}	0.60±0.04 ^{AB}	0.75±0.10 ^{BA}	0.50±0.01 ^{bC}	0.34±0.05 ^{bD}

Brown rice means the rice that was not soaked and germinated through the germination process, ^{a-e} Mean with the same column with different letters are significantly difference (p< 0.05) ^{A-E} Mean with the same row with different letters are significantly difference (p< 0.05)

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลของข้าว 6 สายพันธุ์ โดยเครื่อง HPLC

ผลการวิเคราะห์ชนิดและคำนวณปริมาณน้ำตาลของสารสกัดที่ได้ ด้วยเครื่อง HPLC โดยการเปรียบเทียบ fructose xylose galactose และ arabinose แสดงในตาราง 4.10 และ 4.11 จากการทดลอง พบว่า สารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์ มีน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ ได้แก่ maltoheptaose raffinose และ maltose นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลรีดิวซ์ ได้แก่ glucose และ maltose แต่ไม่พบน้ำตาล sucrose fructose xylose galactose และ arabinose ในข้าวทุกสายพันธุ์ น้ำตาล maltoheptaose พบในข้าวทุกสายพันธุ์ ระหว่าง 13.13±3.34-58.91±16.16 mg/mL ของสารสกัด (ตาราง 4.10 และ ตาราง 4.11) ซึ่งปริมาณน้ำตาล maltoheptaose สูงสุดในหน่วย mg/mL ของสารสกัด ข้าวกล้าเปลือกดำ เท่ากับ 24.23±19.71 mg/mL ของสาร



สกัดข้าวหอมมะลิแดง เท่ากับ 19.39 ± 8.55 mg/mL ของสารสกัด ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 17.45 ± 2.27 mg/mL ของสารสกัดและต่ำสุด คือ ข้าวกล้องเปลือกขาว เท่ากับ 13.13 ± 3.34 - 58.91 ± 16.16 mg/mL ของสารสกัด ตามลำดับ น้ำตาล raffinose พบในข้าวทุกสายพันธุ์ มีระหว่าง 5.18 ± 1.46 - 17.83 ± 10.43 mg/mL ของสารสกัด (ตาราง 4.10 และ ตาราง 4.11) ซึ่งปริมาณน้ำตาล raffinose สูงสุดในข้าวหอมมะลิแดง เท่ากับ 17.83 ± 10.43 mg/mL ของสารสกัด รองลงมา คือข้าวมะลิดำ เท่ากับ 14.48 ± 9.84 mg/mL ของสารสกัด ข้าวกล้องเปลือกขาว เท่ากับ 10.24 ± 0.00 mg/mL ของสารสกัด ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 7.05 ± 1.19 mg/mL ของสารสกัด ข้าวนางนวล เท่ากับ 6.04 ± 2.65 mg/mL ของสารสกัด และต่ำสุด คือข้าวกล้องเปลือกดำ เท่ากับ 5.18 ± 1.46 mg/mL ของสารสกัด ตามลำดับ น้ำตาล maltose พบในข้าวทุกสายพันธุ์ ระหว่าง 8.57 ± 2.80 - 43.83 ± 0.00 mg/mL ของสารสกัด(ตาราง 4.10 และ ตาราง 4.11) ซึ่งปริมาณน้ำตาล maltose สูงสุดในข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 43.83 ± 0.001 mg/mL ของสารสกัด รองลงมา คือข้าวกล้องเปลือกขาว เท่ากับ 28.28 ± 6.57 mg/mL ของสารสกัด ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 26.61 ± 2.59 mg/mL ของสารสกัด ข้าวกล้องเปลือกดำ เท่ากับ 11.46 ± 14.14 mg/mL ของสารสกัด ข้าวนางนวล เท่ากับ 11.11 ± 3.24 mg/mL ของสารสกัด และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิแดง เท่ากับ 8.57 ± 2.80 mg/mL ของสารสกัด ตามลำดับ น้ำตาล glucose พบในข้าวทุกสายพันธุ์ ระหว่าง 0.24 ± 0.00 - 5.67 ± 6.52 mg/mL ของสารสกัด (ตาราง 4.10 และ ตาราง 4.11) ซึ่งปริมาณน้ำตาล glucose สูงสุดในข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 5.67 ± 6.52 mg/mL ของสารสกัด รองลงมา คือข้าว กล่ำเปลือกขาว เท่ากับ 1.19 ± 1.33 mg/mL ของสารสกัด ข้าวกล้องเปลือกขาว เท่ากับ 0.97 ± 0.00 mg/mL ของสารสกัด ข้าวนางนวล เท่ากับ 0.67 ± 0.00 mg/mL ของสารสกัด ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 0.60 ± 0.10 mg/mL ของสารสกัด และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิแดง เท่ากับ 0.24 ± 0.00 mg/mL ของสารสกัด นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มระยะเวลาการเพาะงอกจะส่งเสริมปริมาณน้ำตาล และโอลิโกแซคคาไรด์เพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดของข้าวต่างกัน ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลและโอลิโกแซคคาไรด์ แตกต่างกัน ดังนั้น การเพิ่มระยะเวลาการงอกส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลและโอลิโกแซคคาไรด์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Saman (2008) ได้ศึกษาการควบคุมการงอกเพื่อเพิ่มหมู่ฟังก์ชันของข้าวเหนียว (RD 6) และข้าวเจ้า (RD17) ได้วิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลและโอลิโกแซคคาไรด์ พบว่าข้าวทั้งสองสายพันธุ์ มีน้ำตาลและโอลิโกแซคคาไรด์เพิ่มขึ้นตามระยะการงอก และในข้าวเหนียว (RD6) พบน้ำตาล glucose maltose maltotriose 58.9, 25.4, 1.8, mg/g ตามลำดับ ส่วนในข้าวเจ้า (RD17) พบน้ำตาลชนิดเดียวกัน ปริมาณ 47.3 18.2 0.23 mg/g ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบมีโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งประกอบด้วย maltoheptaose เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาได้แก่ maltopentaose และ maltohexaose ตามลำดับ Shyama, (2005) ได้ศึกษา feruloyl arabinoxylans ที่ละลายน้ำได้จากข้าวและราจิ ที่ใช้วิธีการงอกทั้งเมล็ด อุณหภูมิ 25°C ใช้เวลาเพาะงอก 96 h และได้ทำการวิเคราะห์น้ำตาล พบน้ำตาล rhamnose arabinose xylose galactose มีค่า 2.0%, 44.3%, 46.7% และ 7.0% ตามลำดับ ไม่พบ mannose และ glucose เนื่องจากน้ำตาลทั้งสองชนิดนี้ถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของต้นข้าว การแช่ข้าวที่ระยะเวลานานขึ้น มีผลทำให้คาร์โบไฮเดรตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่ เนื่องจากข้าวที่อยู่ในสถานะที่มีการเจริญเติบโต จะมีการเปลี่ยนแปลงทาง



ชีวเคมี โดยกระตุ้นให้เอนไซม์ในเมล็ดข้าวเกิดการทำงาน เมื่อเมล็ดเริ่มงอก สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยสลายไปตาม กระบวนการทางชีวเคมี ซึ่งมีปริมาณเอนไซม์ แอลฟา-อะมิเลสที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักในกระบวนการงอก ทำให้เกิดการย่อยแบ่งเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเพิ่มขึ้น (Brennan, 2008) นอกจากนี้ Briggs (1981) ได้รายงานการทำงานเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสจะตัดพันธะ ที่เชื่อมต่อแบบ α -(1 $\rightarrow$ 4) อย่างอิสระและจะช้าลงเมื่อเข้าใกล้ปลายสุดและพบโซ่กิ่งที่เกาะด้วยพันธะที่เชื่อมต่อแบบ α -(1 $\rightarrow$ 6) เอนไซม์ชนิดนี้จะตัดแบ่ง ได้ส่วนผสมเชิงซ้อนของน้ำตาลได้แก่ glucose, maltose, maltotriose และ สายโซ่เด็คซ์ทรินที่มีหลายขนาด แต่พบปริมาณน้ำตาลกลูโคสต่ำ เนื่องจากระหว่างกระบวนการงอกน้ำตาลชนิดข้านี้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการงอก (Moongngarm, 2010) พบว่าข้าวสายพันธุ์ข้าวเหนียว (RD6) สามารถผลิตโอลิโกแซคคาไรด์ได้มากกว่าสายพันธุ์ข้าวเจ้า (RD17) ถึง 10 เท่า ซึ่งเนื่องจากข้าวเหนียวมีระดับอะไมโลเพกติน (amylopectin) สูงกว่าข้าวเจ้า และมีกิ้งก้านซึ่งจะถูกไฮโดรไรต์ ด้วยเอนไซม์อะไมโลไลติก (amylolytic enzymes) จะได้ malto-oligosaccharides and isomalto-oligosaccharides ซึ่งมี panose, isomaltose และ isomaltotriose เป็นองค์ประกอบ และสารเหล่านี้ที่มีสมบัติเป็น prebiotic oligosaccharides (Saman, 2008) แต่อย่างไรก็ตาม Veluppillai, (2009) พบว่าการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมจากกระบวนการงอกของข้าว ขึ้นอยู่กับปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมด้าน ต่าง ๆ เช่น สายพันธุ์ และพื้นที่ปลูก Takahashi [26] รายงานถึงความต้องการน้ำสำหรับการงอก ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และระยะการพักตัวของข้าว

ตาราง 4.10 ชนิดและปริมาณน้ำตาล สารสกัดข้าวเจ้า สภาวะการสกัด ที่ 40 °C นาน 30 min 50 °C นาน 30 min 60 °C นาน 60 min และ 80 °C นาน 15 min

ชนิดและปริมาณน้ำตาล (mg/ml)								
เวลาเพาะ งอก (h)	มอลโตเฮป	ราฟิโนส	ไซโลส	ซูโครส	มอสโตส	กลูโคส	ฟรุคโตส	อะราบิโนส
ข้าวดอก								
มะลิ 105								
control	5.72±0.07 ^b	nd	nd	nd	0.56±0.01 ^e	0.24±0.00 ^{ns}	nd	nd
0	10.63±0.72 ^d	4.40±0.01 ^a	nd	nd	1.17±0.05 ^e	0.37±0.00 ^{ns}	nd	nd
12	12.21±0.02 ^{de}	4.65±0.00 ^d	nd	nd	3.52±0.05 ^c	0.60±0.00 ^a	nd	nd
24	56.08±1.30 ^d	5.73±0.01 ^d	nd	nd	4.67±0.05 ^e	0.60±0.00 ^a	nd	nd
36	174.60±4.13 ^a	7.05±0.02 ^{bc}	nd	nd	12.16±0.05 ^c	0.60±0.00 ^e	nd	nd
หอมมะลิดำ								
control	6.52±7.08 ^b	nd	nd	nd	5.17±0.10 ^a	nd	nd	nd
0	9.33±3.77 ^c	4.86±0.06 ^a	nd	nd	5.41±0.03 ^b	nd	nd	nd
12	14.03±2.59 ^c	6.82±0.06 ^b	nd	nd	6.68±0.15 ^b	0.31±0.00 ^c	nd	nd
24	25.91±1.02 ^e	10.57±0.00 ^a	nd	nd	11.91±0.51 ^b	4.14±0.05 ^a	nd	nd
36	32.81±4.73 ^c	14.50±0.12 ^a	nd	nd	26.99±0.51 ^b	5.67±0.00 ^e	nd	nd



ตาราง 4.10 (ต่อ)

ชนิดและปริมาณน้ำตาล (mg/ml)								
เวลาเพาะ งอก (h)	มอลโตเฮป	ราฟิโนส	ไซโลส	ซูโครส	มอสโตส	กลูโคส	ฟรุต โตส	อะราปี โนส
หอมมะลิ								
แดง								
control	1.68±0.94 ^c	4.97±0.06 ^a	nd	nd	1.74±0.05 ^b	nd	nd	nd
0	3.79±1.60 ^e	5.37±0.12 ^a	nd	nd	1.94±0.02 ^d	nd	nd	nd
12	4.48±1.91 ^d	7.23±0.01 ^a	nd	nd	2.98±0.04 ^d	nd	nd	nd
24	6.65±0.80 ^f	7.63±0.11 ^c	nd	nd	7.51±0.05 ^d	0.24±0.00 ^e	nd	nd
36	19.39±8.55 ^d	17.84±0.07 ^a	nd	nd	8.57±0.15 ^f	0.24±0.00 ^f	nd	nd

Each value represents the mean of SCFAs of two times

^{a,b,c,d,e} Different superscripts mean significant differences between sampling times for non-glutinous brown rice and germinated brown rice (P<0.05), and nd Non-determined.

ตาราง 4.11 ชนิดและปริมาณน้ำตาล สารสกัดข้าวเหนียว สภาวะการสกัด ที่ 40 °C นาน 30 min 50 °C นาน 30 min 60 °C นาน 60 min และ 80 °C นาน 15 min

ชนิดและปริมาณน้ำตาล (mg/ml)								
เวลาเพาะงอก (h)	มอลโตเฮป	ราฟิโนส	ไซโลส	ซูโครส	มอสโตส	กลูโคส	ฟรุต โตส	อะราปี โนส
กล้าเปลือกขาว								
control	23.74±5.40 ^a	nd	nd	nd	1.28±0.02 ^c	0.24±0.00 ^{ns}	nd	nd
0	27.92±0.06 ^c	nd	nd	nd	8.15±0.05 ^a	0.24±0.00 ^{ns}	nd	nd
12	33.60±1.65 ^c	5.38±0.12 ^c	nd	nd	11.77±0.01 ^a	0.31±0.00 ^c	nd	nd
24	97.44±6.62 ^b	8.93±0.04 ^b	nd	nd	15.54±0.20 ^a	0.54±0.00 ^c	nd	nd
36	157.23±1.88 ^b	10.24±0.12 ^b	nd	nd	28.28±0.52 ^a	0.98±0.0 ^b	nd	nd
กล้าเปลือกดำ								
control	24.25±14.98 ^a	nd	nd	nd	1.05±0.08 ^d	0.24±0.00 ^{ns}	nd	nd
0	52.59±9.30 ^a	nd	nd	nd	2.80±0.06 ^c	0.24±0.00 ^{ns}	nd	nd
12	149.28±1.95 ^a	0.54±0.00 ^f	nd	nd	3.11±0.13 ^d	0.32±0.00 ^c	nd	nd
24	160.42±9.21 ^a	1.27±0.00 ^f	nd	nd	8.25±0.03 ^c	0.41±0.10 ^d	nd	nd
36	165.67±19.71 ^{ab}	5.18±0.0 ^c	nd	nd	11.48±0.3 ^{cd}	1.19±0.00 ^a	nd	nd



ตาราง 4.11 (ต่อ)

เวลาเพาะ งอก (h)	มอลโตเฮป	ราฟิโนส	ไซโลส	ซูโครส	มอสโตส	ชนิดและปริมาณน้ำตาล (mg/ml)		
						กลูโคส	ฟรุคโตส	อะราบิโนส
นางนวล								
control	23.13±6.46 ^a	nd	nd	nd	0.37±0.00 ^f	0.28±0.00 ^{ns}	nd	nd
0	42.30±2.87 ^b	nd	nd	nd	0.38±0.00 ^f	0.34±0.00 ^{ns}	nd	nd
12	69.66±6.49 ^b	4.27±0.01 ^e	nd	nd	2.24±0.05 ^e	0.54±0.00 ^c	nd	nd
24	80.59±1.57 ^c	4.85±0.01 ^g	nd	nd	3.56±0.10 ^f	0.56±0.00 ^{cb}	nd	nd
36	96.58±8.98 ^c	6.05±0.0 ^c	nd	nd	11.12±0.41 ^d	0.67±0.00 ^b	nd	nd

Each value represents the mean of sugar of two times

a,b,c,d,e

Different superscripts mean significant differences between sampling times for glutinous brown rice and germinated brown rice ($P<0.05$), and nd Non-determined.

4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกของข้าว

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในเรื่องสุขภาพส่วนบุคคลเพิ่มขึ้น โดยคาดว่าอาหารที่บริโภคเข้าไปจะให้รสชาติที่ดี ปลอดภัย และมีสุขภาพดี ขณะเดียวกัน ความน่าสนใจระหว่างอาหารกับสุขภาพ ส่งผลให้ผู้บริโภคจำนวนมาก แสวงหาวิธีการกินอาหารที่ได้รับการออกแบบให้มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะการบริโภคอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อย (non-digestible carbohydrate) ได้แก่ เส้นใยอาหาร โอลิโกแซคคาไรด์ แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch) ซึ่งสารเหล่านี้มีสมบัติต่อสรีรวิทยาอย่างหลากหลาย (Bird, Brown and Topping, 2006; Nabarlatz, Ebringerova' and Montane', 2007; Nacos, 2006) และผลของการส่งเสริมคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อย ทำให้สุขภาพดีขึ้น และช่วยลดอัตราการเสี่ยงของโรคเรื้อรังและโรคเฉียบพลัน ซึ่งผ่านการทดสอบมาแล้วอย่างดี (Hussain, Claussen, Ramanchandran and Williams, 2007; Zhang and Huang, 2005) กลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อย ได้แก่ หมู่ฟังก์ชันของโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides functional food) มีสมบัติทางกายภาพทางเคมีและทางสรีรวิทยาที่สำคัญ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้ สารเหล่านี้จึงถูกนำมาใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หมู่ฟังก์ชันโอลิโกแซคคาไรด์เป็นสารตัวกลาง (intermediate) ในธรรมชาติที่อยู่ระหว่างน้ำตาลและและโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งถูกอ้างว่า ทำตัวคล้ายเส้นใยอาหารและเป็นสารพรีไบโอติก (Kunz and Rudloff, 2006) โดยเฉพาะกลุ่ม malto oligosaccharide (MOS) ประกอบด้วยส่วนผสมที่มีหน่วยย่อยกลูโคส 3-8 หน่วย ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 glycosidic และ isomalto oligosaccharide (IMO) ประกอบด้วยส่วนผสมที่มีหน่วยกลูโคส 3-8 ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6 glycosidic และอาจมี หรือไม่มีพันธะ α -1,4 glycosidic (Gibson GR, 2006) ซึ่งข้าวที่มีศักยภาพเป็นแหล่งวัสดุดิบในการเป็นพรีไบโอติกกลุ่มนี้ได้ จากรายงานของ Kneifel (2000) Pennacchia (2006) และ Saminathan (2011) ได้ศึกษาคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของน้ำตาล IMO ทางการค้า ได้แก่ isomaltose,



isomaltotriose และ panose โดยใช้เชื้อ *Lactobacillus* spp. และจากรายงานของ Sako, (1999) พบว่า MOS โดยเฉพาะชนิด maltotetraose (G_4) ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อเพิ่มคุณค่าและปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร อย่างไรก็ตาม Nakakuki (1993) ได้รายงาน เกี่ยวกับการผลิต IMO เชิงพาณิชย์โดยใช้แป้งเป็นสารตั้งต้น ร่วมกับเอนไซม์ 3 ชนิด เริ่มจากการ ทำงานของเอนไซม์ α -amylase และ pullulanase เพื่อเปลี่ยนแป้งเป็น MOS ต่อจากนั้นเอนไซม์ α -glucosidase จะเปลี่ยน α -1,4 MOS เป็น α -1,6 IMO นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวสามารถเป็นพ รีไบโอติกที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ (non-digestible oligosaccharide: NDOs) เช่นเดียวกันกับพรีไบโอติกเชิงพาณิชย์อีกหลายชนิด เช่น xylooligosaccharide (XOS) ซึ่ง Wang, (2010) ได้ศึกษาคุณสมบัติ พรีไบโอติกจากการหมักจาก เส้นใยที่ไม่ละลายน้ำของเยื่อหุ้มข้าวสาลี โดยใช้เชื้อ *Bifidobacteria* และ Sanchez (2009) ได้ ศึกษาคุณสมบัติพรีไบโอติกของ arabinoxylan-oligosaccharide (AXOS) และ resistant starch (RS) ชนิดที่ 3 หรือ RS (Cheng, and Lai, 2000; Nugent, 2005) ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับเส้นใย (dietary fiber) เป็นสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่พบในข้าวที่มีอะไมโลสหรือ อะไมโลสเพกตินเป็น องค์ประกอบ อย่างไรก็ตาม Pongianta, J., (2008) ได้ศึกษาสมบัติการเป็น พรีไบโอติกที่พบใน แป้งข้าวที่มีอะไมโลสสูงพบว่าแป้งข้าวที่มีอะไมโลสสูง สามารถเตรียม resistant starch (RS) ชนิดที่ 3 โดยผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ฟลูกลูเนส สามารถย่อยอะไมโลสจะได้โมเลกุลสายสั้นกลุ่มแอลฟา-1,6-กลูแคน (α -1,6-glucan) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารพรีไบโอติก และได้ศึกษาการหมัก RS ชนิดที่ 3 พบว่าผลิตบิวทิเรตได้เป็นหลัก คือ 20-30% ของ SCFAs

แลคโตแบคซิลไลด์ (*Lactobacilli*) มีความโดดเด่นที่คนส่วนใหญ่ นิยมนำมาหมักกับอาหาร และถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นพรีไบโอติกแบคทีเรีย ซึ่งมีประโยชน์ต่อโฮสต์ (Hammes, 2006) และมีความสัมพันธ์กับอาหารของคนและสัตว์ โดยเฉพาะอาหารที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ ซึ่งได้ผ่านการศึกษามานานเป็นศตวรรษแล้วและเป็นที่เข้าใจกันเป็นอย่างดีถึงลักษณะทางสรีรวิทยาและพันธุ ศาสตร์ของเมแทบอลิซึมของมอโนแซคคาไรด์ในแบคทีเรียชนิดนี้ (Axelsson, 2004; Makarova, 2006; Gänzle M. G., 2012)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ให้ความสนใจ ในการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดในข้าวกล้องงอก 6 สายพันธุ์ ในหลอดทดลอง ที่มีผลต่อการเจริญ และ/หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เฉพาะเจาะจงที่ เรียกว่า พรีไบโอติก ได้แก่คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อย กลุ่มเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่น โอลิโก แซคคาไรด์ที่ไม่ถูกย่อย (non-digestible oligosaccharide) (มอลโต-โอลิโกแซคคาไรด์ ไอโซ-มอล โตโอลิโกแซคคาไรด์) (Mussatto, 2007; Saman, 2008; Qiang, 2009; Moongngarm, 2011; Patel, 2013) มอลโตเตกซ์ตริน (Wichienchot, 2006) แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Pongianta, 2008) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า OD, การลดลงของค่า pH, ดัชนีการเป็นพรีไบโอติก (prebiotic Index, PI), การผลิต SCFAs และ การใช้น้ำตาลหลังการเจริญของเชื้อพรีไบโอติก 2 สายพันธุ์ คือ *Lactobacillus acidophilus* LA-5 และ *Bifidobacterium lactis* BL-04 ทั้งนี้ ใช้เชื้อ *E. coli* เป็นตัวแทนของเชื้อกลุ่ม Enterococci ในระบบทางเดินอาหาร ดังรายละเอียดดังนี้



4.3.1 การทดสอบการส่งเสริมการเจริญของเชื้อโพรไบโอติกแบคทีเรีย

พรีไบโอติกเป็นอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ซึ่งทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารส่วนบน พรีไบโอติกจะถูกหมักด้วยแบคทีเรียที่ประโยชน์ในลำไส้ เช่น โพรไบโอติก (Gibson and Roberfroid, 1995) ปกติแล้วแบคทีเรียในลำไส้จะผลิตกรดไขมันสายสั้น รวมถึง อะซิเตต โพรพิโอเนต และบิวทิเรต ซึ่งกรดเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเมแทบอลิซึมคาร์โบไฮเดรต (Macfarlane, 1998; Olano-Martin, 2000; Rycroft, 2001; Wichienchot, 2006) คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อย (non-digestible carbohydrate) เช่น เส้นใย (fibre) โอลิโกแซคคาไรด์ และแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งมีความหลากหลายทางสรีรวิทยา (Bird, 2006; Mussatto, 2007; Nabarlatz, 2007) ผลการส่งเสริมคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ย่อยด้วยโพรไบโอติก จะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีและสรีรวิทยาที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพผู้บริโภครวมถึงการเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อซึ่งได้รับการตรวจสอบแล้วเป็นอย่างดี (Zhang, 2005; Hussain, 2007; Qiang, 2009)

พรีไบโอติกกลุ่มเส้นใย สามารถจัดอันดับในการผลิตกรดไขมันสายสั้น (SCFAs) ได้แก่ TDE (total dietary fibre) > SDF (soluble dietary fibre) > IDF (insoluble) แสดงให้เห็นว่าใยอาหารเป็นสิ่งที่ดีที่สุดที่ใช้ผลิตกรดไขมันสายสั้น และ *Lactobacillus* และ *Bifidobacteria* spp. ย่อย TDF ได้ทั้งหมด 60-80% และ 75-85% ตามลำดับ ปริมาณการผลิตกรดไขมันสายสั้นแต่ละชนิดจาก TDE มีการจัดอันดับได้ดังนี้ อะซิเตต > โพรพิโอเนต > บิวทิเรต ตามลำดับ (Farooq, 2013) กรดเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์จากแบคทีเรียในลำไส้ที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมคาร์โบไฮเดรตจะย่อยแป้งที่ไม่ถูกดูดซึม หรือ โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (fibre) ซึ่งกรดเหล่านี้จัดเป็นแอนไอออน ในรูเมนของลำไส้ ซึ่งมีผลต่อการปรับปรุงโครงสร้างและหน้าที่ อะซิเตตช่วยในการไหลของเลือดในลำไส้และเพิ่มการเคลื่อนไหวในลำไส้ บิวทิเรตให้พลังงานกับโคโลไนซ์ ป้องกันการเกิดโรคในลำไส้บางชนิด 95-99% ของกรดไขมันสายสั้นที่สร้างขึ้น จะดูดซึมที่ลำไส้ใหญ่และช่วยป้องกันโรคท้องเสีย แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้สารแอนตี้แบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคท้องเสียจะส่งผลให้กรดไขมันสายสั้นลดลงและการผลิตกรดไขมันสายสั้นจะช้าลง (Scheppach, 2014)

4.3.1.1 ผลของการเติมสารสกัดลงไปในการอาหาร MRS ที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 หลังการหมัก 24 hrs

ในงานวิจัยนี้ พบว่า ผลของสารสกัดต่อการเจริญของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 โดยเติมสารสกัดที่มีความเข้มข้น 2% ลงในอาหาร MRS เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนเปรียบเทียบกับน้ำตาลกลูโคสเป็นตัวอย่างควบคุมโดยการทดสอบความสามารถของสารสกัดในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อโพรไบโอติกแบคทีเรีย และการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12, 18 และ 24 h เพื่อนำมาวัดการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติก



ตาราง 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OD กับ เวลา (h) ของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ที่เจริญในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดข้าว 2%

OD of <i>L. acidophilus</i> LA-5					
ระยะเวลาการบ่ม (h)					
Rice	0	6	12	18	24
ข้าวดอกมะลิ 105	0.03±0.00 ^{ns}	0.26±0.00 ^b	0.66±0.01 ^a	0.97±0.00 ^a	0.92±0.00 ^a
หอมมะลิดำ	0.03±0.01 ^{ns}	0.28±0.00 ^b	0.58±0.01 ^a	0.83±0.03 ^a	0.79±0.03 ^b
หอมมะลิแดง	0.02±0.01 ^{ns}	0.30±0.05 ^a	0.43±0.01 ^b	0.69±0.03 ^b	0.62±0.02 ^c
กล่ำเปลือกขาว	0.02±0.00 ^{ns}	0.02±0.00 ^c	0.29±0.05 ^c	0.88±0.01 ^a	0.20±0.02 ^d
กล่ำเปลือกดำ	0.03±0.00 ^{ns}	0.09±0.01 ^c	0.12±0.01 ^c	0.50±0.00 ^c	0.63±0.01 ^c
นางนวล	0.02±0.00 ^{ns}	0.21±0.00 ^b	0.45±0.01 ^b	0.86±0.01 ^a	0.78±0.00 ^b
กลูโคส	0.01±0.00 ^{ns}	0.30±0.01 ^a	0.58±0.01 ^a	0.85±0.03 ^a	0.15±0.00 ^d

Each value represents the mean of OD values of three times.

^{a,b,c,d} Different superscripts mean significant differences between sampling times for *L. acidophilus* LA-5, at the 37 °C (P<0.05). and ^{ns} no significantly difference (p> 0.05)

ผลการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *L. acidophilus* LA-5 ในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัด 2% ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 6, 12, 18 และ 24 h พบว่าเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ในสารสกัดมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ดังตาราง 4.1 และ 4.2 พบว่าการเจริญของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 มีค่า OD สูงสุดช่วงเวลาที่ 18 อยู่ระหว่าง 0.50-0.97 ซึ่งข้าวหอมมะลิ 105 มีค่า OD สูงสุด เท่ากับ 0.97 รองลงมา คือ กล่ำเปลือกขาว เท่ากับ 0.88 กลูโคส เท่ากับ 0.85 นางนวล เท่ากับ 0.86 หอมมะลิดำ เท่ากับ 0.83 หอมมะลิแดง เท่ากับ 0.69 และ ต่ำสุด กล่ำเปลือกดำ เท่ากับ 0.50 ตามลำดับ ดังนั้น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (0.97)และกล่ำเปลือกขาว (0.88) เป็นสารสกัดข้าวที่สามารถทำให้เชื้อ *L. acidophilus* LA-5 เจริญได้ดีกว่าสูตรควบคุมคือ กลูโคส (0.85) อย่างไรก็ตาม การเจริญของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 มีค่าใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารสกัดชนิดต่าง ๆ ที่เติมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อมีไม่มากพอที่จะส่งผลให้เห็นความแตกต่างในการเจริญของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ได้



ตาราง 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ เวลา (h) ของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ที่เจริญในอาหาร MRS ที่สารสกัดข้าว 2%

pH of <i>L. acidophilus</i> LA-5					
ระยะเวลาการบ่ม (h)					
Rice	0	6	12	18	24
ข้าวดอกมะลิ 105	6.47±0.01 ^{ns}	6.37±0.02 ^a	5.55±0.07 ^c	4.94±0.02 ^c	4.82±0.01 ^b
หอมมะลิดำ	6.39±0.01 ^{ns}	5.88±0.01 ^b	5.32±0.13 ^c	4.94±0.01 ^c	4.94±0.01 ^b
หอมมะลิแดง	6.63±0.01 ^{ns}	6.21±0.04 ^a	6.04±0.04 ^b	5.57±0.01 ^b	5.22±0.01 ^a
กล่ำเปลือขาว	6.39±0.02 ^{ns}	6.34±0.03 ^a	6.11±0.02 ^b	5.90±0.11 ^a	4.96±0.05 ^b
กล่ำเปลือดำ	6.44±0.02 ^{ns}	6.28±0.03 ^a	6.12±0.01 ^b	6.07±0.01 ^a	5.30±0.01 ^a
นางนวล	6.39±0.00 ^{ns}	6.35±0.01 ^a	6.25±0.05 ^a	6.07±0.03 ^a	4.88±0.01 ^b
กลูโคส	6.49±0.01 ^{ns}	5.62±0.09 ^b	5.26±0.05 ^c	4.81±0.04 ^c	4.54±0.09 ^c

Each value represents the mean of pH values of three times.

^{a,b,c,d} Different superscripts mean significant differences between sampling times for *L. acidophilus* LA-5, at the 37 °C (P< 0.05). and ^{ns} no significantly difference (P> 0.05)

นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ในอาหารที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวจะมีการเจริญในช่วง Log phase ที่ยาวกว่าเชื้อโพรไบโอติกในอาหาร MRS ที่เติมกลูโคสเป็นสูตรควบคุม และในระยะ Log phase ที่สั้นกว่า พบว่าเชื้อที่เจริญในอาหารที่มีการเติมสารสกัดจากข้าว ข้าวดอกมะลิ 105 และ กล่ำเปลือขาว เชื้อ *L. acidophilus* LA-5 เจริญในอาหาร MRS ที่เติมกลูโคสเป็นสูตรควบคุมได้ดีกว่า แต่สารสกัดจากสารสกัดจากข้าวนางนวล ข้าวหอมมะลิดำ หอมมะลิแดง และกล่ำเปลือดำ ตามลำดับ เชื้อ *L. acidophilus* LA-5 เจริญในอาหาร MRS ต่ำกว่าเติมกลูโคสเป็นสูตรควบคุม เมื่อเวลาผ่านไปค่า pH ของเชื้อแบคทีเรีย *L. acidophilus* LA-5 ในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัด ข้าว 2% ดังตาราง 4.13 มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างชัดเจน แต่สูงกว่าสูตรควบคุม แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการผลิตกรด ในระหว่างการเจริญที่เพิ่มขึ้นของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ซึ่งถือว่าเป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญของเชื้อกลุ่มโพรไบโอติก เมื่อมีการเจริญของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 เกิดขึ้นจะมีการผลิตกรดแลคติกขึ้นเป็นผลให้ค่า pH ลดลงจากการตรวจวัดค่า pH ในการทดสอบ พบว่าสารสกัดจากข้าวข้าวดอกมะลิ 105 มีค่า pH ต่ำสุดในช่วง 24 ของการทดสอบ เท่ากับ 4.82 รองลงมาคือข้าวนางนวล เท่ากับ 4.88 หอมมะลิดำ เท่ากับ 4.94 กล่ำเปลือขาว เท่ากับ 4.96 หอมมะลิแดง เท่ากับ 5.22 และ กล่ำเปลือดำ เท่ากับ 5.30 มีค่าสูงสุด ตามลำดับ จากผลของค่า pH ที่ตรวจพบระหว่างการทดสอบ แสดงว่าเชื้อโพรไบโอติกสามารถเจริญได้ในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวทุกชนิดได้ แต่น้อยกว่าการใช้อาหาร MRS สูตรควบคุม (กลูโคส) ที่มี pH เท่ากับ 4.53



4.3.1.2 ผลของการเติมสารสกัดลงในอาหาร MRS ที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อ *B. lactis* BL-04

ในงานวิจัยนี้ พบว่า ผลของสารสกัดต่อการเจริญของเชื้อ *B. lactis* BL-04 โดยเติมสารสกัดที่มีความเข้มข้น 2% ลงในอาหาร MRS เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนเปรียบเทียบกับน้ำตาลกลูโคสเป็นตัวอย่างควบคุมโดยการทดสอบความสามารถของสารสกัดในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 3, 6, 9, 12 และ 24 h เพื่อนำมาวัดการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติก

ตาราง 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OD กับ เวลา (h) ของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ที่เจริญในอาหาร MRS ที่เติมสารสกัดข้าว 2%

Rice	OD of <i>B. lactis</i> BL-04					
	ระยะเวลาการบ่ม (h)					
	0	3	6	9	12	24
ข้าวดอกมะลิ 105	0.02±0.00 ^b	0.03±0.00 ^b	0.03±0.00 ^b	0.06±0.00 ^b	0.08±0.00 ^b	0.75±0.00 ^a
หอมมะลิดำ	0.01±0.00 ^b	0.02±0.00 ^b	0.03±0.00 ^b	0.03±0.00 ^b	0.07±0.00 ^b	0.45±0.00 ^b
หอมมะลิแดง	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.02±0.00 ^b	0.03±0.00 ^b	0.06±0.00 ^b	0.63±0.00 ^a
กล่ำเปลือขาว	0.06±0.00 ^a	0.07±0.00 ^a	0.06±0.00 ^a	0.67±0.01 ^a	0.89±0.02 ^a	0.64±0.00 ^a
กล่ำเปลือดำ	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.02±0.00 ^b	0.03±0.00 ^b	0.07±0.00 ^b	0.69±0.00 ^a
นางนวล	0.03±0.00 ^b	0.04±0.00 ^b	0.05±0.00 ^a	0.06±0.00 ^b	0.08±0.00 ^b	0.44±0.00 ^b
กลูโคส	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.02±0.00 ^b	0.02±0.00 ^b	0.64±0.00 ^a

Each value represents the mean of OD values of three times.

^{a,b,c,d} Different superscripts mean significant differences between sampling times for *B. lactis* BL-04 and at the 37 °C (P<0.05).

ผลการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *B. lactis* BL-04 ในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดข้าว 2% ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 3, 6, 12 และ 24 hr พบว่าเชื้อ *B. lactis* BL-04 ในสารสกัดมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ดังตาราง 4.14 พบว่าการเจริญของเชื้อ *B. lactis* BL-04 มีค่า OD สูงสุดชั่วโมงที่ 24 อยู่ระหว่าง 0.44-0.75 ซึ่งข้าวหอมมะลิ 105 มีค่า OD สูงสุด เท่ากับ 0.75 รองลงมา คือ กล่ำเปลือดำ เท่ากับ 0.69 กล่ำเปลือขาว เท่ากับ 0.64 กลูโคส เท่ากับ 0.64 หอมมะลิแดง เท่ากับ 0.63 ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 0.45 และข้าวนางนวล ต่ำสุด เท่ากับ 0.44 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากข้าวที่มีค่าการเจริญของเชื้อ *B. lactis* BL-04 ในอาหาร MRS สูงกว่าการเจริญของเชื้อในอาหารสูตรควบคุม (กลูโคส) ถึง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 กล่ำเปลือขาว และ กล่ำเปลือดำ ส่วนสารสกัดจากข้าวหอมมะลิแดง หอมมะลิดำและนางนวลมีค่าการเจริญของเชื้อต่ำกว่าการเจริญของเชื้อในอาหารสูตรควบคุมคือ กลูโคส เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่าเชื้อ *B. lactis* BL-04 ในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวแต่ละสายพันธุ์ 2% และใช้กลูโคสเป็นสูตรควบคุม มีแนวโน้มของค่า pH ที่ลดลงเช่นเดียวกัน ดังตาราง 4.14



และมีการเจริญของเชื้อ *B. lactis* BL-04 ที่เพิ่มขึ้น สำหรับการเจริญของเชื้อ *B. lactis* BL-04 ดังกล่าวจะมีการผลิตกรดแลคติกเกิดขึ้น ส่งผลทำให้ค่า pH ลดลง การทดลองข้างต้นให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับค่า pH ของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 จากผลของค่า pH ที่ตรวจพบระหว่างการทดลอง แสดงว่าเชื้อโพรไบโอติกสามารถเจริญได้ในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์ สำหรับสารสกัดที่มีค่า pH ต่ำสุด คือข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 5.39 รองลงมา คือข้าวกล้าเปลือกขาว เท่ากับ 5.45 ข้าวหอมมะลิแดง เท่ากับ 5.47 ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 5.48 ข้าวกล้าเปลือกดำ เท่ากับ 5.48 ข้าวนางนวล เท่ากับ 5.62 และกลูโคส เท่ากับ 4.83 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์มีค่า pH สูงกว่า อาจเนื่องมาจากการศึกษาการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *B. lactis* BL-04 ในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัด 2% และอาหารที่เติมสารสกัด ดังภาพประกอบ 4.5 และ 4.6 พบว่าเชื้อ *B. lactis* BL-04 ในอาหารที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวจะมีการเจริญในช่วง Log phase ใกล้เคียงกับ เชื้อ ในอาหาร MRS สูตรควบคุม (กลูโคส) อย่างไรก็ตามการเจริญของเชื้อที่เลี้ยงในสารสกัดจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 หอมมะลิแดง กล้าเปลือกขาวและกล้าเปลือกดำ เข้าสู่การเจริญในช่วง Log phase สูงกว่าสูตรควบคุม แต่สำหรับข้าวหอมมะลิดำและนางนวลมีการเจริญในช่วง Log phase ต่ำกว่าสูตรควบคุม การเข้าสู่การเจริญในระยะ Log phase ยาวนานขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเชื้อต้องใช้เวลาในการย่อยสารพรีไบโอติกให้เป็นน้ำตาลก่อน จึงจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของเชื้อต่อไป

ตาราง 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ เวลา (h) ของเชื้อแบคทีเรีย *B. lactis* BL-04 ที่เจริญในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดข้าว 2%

pH of <i>B. lactis</i> BL-04						
ระยะเวลาการบ่ม (h)						
Rice	0	3	6	9	12	24
ขาวดอกมะลิ 105	6.36±0.01 ^{ns}	6.36±0.01 ^{ns}	6.35±0.01 ^{ns}	6.33±0.01 ^{ns}	6.33±0.01 ^{ns}	5.39±0.01 ^c
หอมมะลิดำ	6.30±0.00 ^{ns}	6.30±0.00 ^{ns}	6.29±0.00 ^{ns}	6.28±0.01 ^{ns}	6.28±0.01 ^{ns}	5.48±0.01 ^b
หอมมะลิแดง	6.36±0.01 ^{ns}	6.35±0.00 ^{ns}	6.35±0.00 ^{ns}	6.35±0.01 ^{ns}	6.34±0.00 ^{ns}	5.47±0.00 ^b
กล้าเปลือกขาว	6.36±0.01 ^{ns}	6.36±0.01 ^{ns}	6.34±0.01 ^{ns}	6.34±0.01 ^{ns}	6.33±0.01 ^{ns}	5.45±0.01 ^b
กล้าเปลือกดำ	6.36±0.01 ^{ns}	6.36±0.01 ^{ns}	6.35±0.00 ^{ns}	6.33±0.00 ^{ns}	6.33±0.00 ^{ns}	5.48±0.01 ^b
นางนวล	6.36±0.01 ^{ns}	6.36±0.01 ^{ns}	6.35±0.00 ^{ns}	6.35±0.01 ^{ns}	6.35±0.01 ^{ns}	5.62±0.01 ^b
กลูโคส	6.23±0.01 ^a	6.23±0.01 ^a	6.20±0.01 ^a	6.20±0.01 ^a	6.19±0.01 ^a	4.83±0.01 ^d

Each value represents the mean of pH values of three times.

^{a,b,c,d} Different superscripts mean significant differences between sampling times for *B. lactis* BL-04 and at the 37 °C (P<0.05). and ^{ns} no significantly difference (P> 0.05)

4.3.2 ผลการทดสอบความสามารถของการเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic Activity Index)

การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารพรีไบโอติกของสารสกัดที่สามารถกระตุ้นการเจริญของเชื้อกลุ่มโพรไบโอติก และด้านการเจริญของเชื้อก่อโรคในลำไส้ ในช่วงเวลาที่ 0 และ 24



ด้วยวิธี Prebiotic Activity assay โดยคำนวณจากสูตร Prebiotic Activity score ดัดแปลงตามวิธีของ Huebner (2008)

ตาราง 4.16 ผลการคำนวณความสามารถของการเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic Activity Index) ของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 และ *B. Lactis* BL-04

ความสามารถของการเป็นพรีไบโอติก (Prebiotic Activity Index: PI)						
สายพันธุ์ข้าว	ขาวดอกมะลิ	มะลิแดง	มะลิดำ	กล้าขาว	กล้าดำ	นางนวล
PI <i>L. acidophilus</i> LA-5	1.02±0.13 ^a	0.86±0.07 ^b	0.66±0.05 ^c	0.83±0.04 ^b	0.88±0.09 ^b	0.95±0.04 ^b
PI <i>B. Lactis</i> BL-04	0.42±0.00 ^a	0.36±0.01 ^b	0.22±0.01 ^c	0.35±0.00 ^b	0.36±0.01 ^b	0.28±0.00 ^c

Each value represents the mean of PI values of two times.

^{a,b,c} Different superscripts mean significant differences between sampling times for each strain (P<0.05)

ผลจากตาราง 4.12 ได้จากการคำนวณตามวิธีของ Huebner (2008) ดังสมการ

$$\text{Prebiotic Activity Index} = \frac{A}{B} - \frac{C}{D}$$

เมื่อ A = probiotic log OD on the prebiotic at 24h - probiotic log cfu/mL on prebiotic at 0h

B = probiotic log OD on glucose at 24h - probiotic log cfu/mL on glucose at 0h

C = enteric log OD on prebiotic at 24h - enteric log cfu/mL on prebiotic at 0h

D = enteric log OD on glucose at 24h - enteric log cfu/mL on glucose at 0h

ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นสารพรีไบโอติกของสารสกัดจากข้าวชนิดต่างๆ มีความสามารถในการเป็นพรีไบโอติกที่แตกต่างกัน (ตาราง 4.12) ซึ่งสารพรีไบโอติกในสารสกัดดังกล่าวสามารถส่งเสริมการเจริญของเชื้อโพรไบโอติก จากการเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นสารพรีไบโอติก ของสารสกัดจากข้าวต่อการเจริญเชื้อโพรไบโอติกพบว่า การเติมสารสกัดจากข้าว 2% ในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตรดัดแปลงนั้น ส่งผลต่อการเจริญของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 อย่างเห็นได้ชัดเจน ถือว่าสารสกัดที่ได้นั้นมีมีความสามารถต่อการเป็นพรีไบโอติกที่ดี ทั้งต่อเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 แต่สำหรับ *B. Lactis* BL-04 ถือว่าสารสกัดที่ได้นั้นมีมีความสามารถต่อการเป็นพรีไบโอติกต่ำกว่า การใช้ประโยชน์จากพรีไบโอติกของแบคทีเรียกลุ่มโพรไบโอติกนั้น จะใช้ประโยชน์จากน้ำตาล ที่พบว่าไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินตอนบนของมนุษย์และสุดท้ายจะกลายมาเป็นอาหารให้กับเชื้อกลุ่มโพรไบโอติกอย่างเฉพาะเจาะจง (Gibson and Roberfroid, 1995) ซึ่งผลจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า



ในสารสกัดจากข้าว มีองค์ประกอบของน้ำตาลในกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ ถึง 2 ชนิด ได้แก่ maltoheptaose และ raffinose ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก เมื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถของพรีไบโอติกต่อการเจริญของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 และ *B. Lactis* BL-04 (ตาราง 4.12) พบว่าสารสกัดจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าความสามารถต่อการเป็นพรีไบโอติกต่อเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ได้สูงสุด เท่ากับ 1.02 รองลงมา คือ นางนวล เท่ากับ 0.95 กล้าเปลือกดำ เท่ากับ 0.88 หอมมะลิแดง เท่ากับ 0.86 กล้าเปลือกขาว เท่ากับ 0.83 และต่ำสุด คือ หอมมะลิดำ เท่ากับ 0.66 สำหรับผลของการเป็นพรีไบโอติกต่อเชื้อ *B. Lactis* BL-04 พบว่าสารสกัดจากข้าวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 0.42 รองลงมา คือ กล้าเปลือกดำ เท่ากับ 0.36 หอมมะลิแดง เท่ากับ 0.36 กล้าเปลือกขาว เท่ากับ 0.35 นางนวล เท่ากับ 0.28 และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 0.22

อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากพรีไบโอติกของแบคทีเรียแลคติกนั้น จะสัมพันธ์กับเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความเจาะจงในการย่อย และระบบลำเลียงโดยเฉพาะกับพรีไบโอติกชนิดนั้น ๆ โดยค่าความสามารถในการเป็นพรีไบโอติกนั้นแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเผาผลาญ (metabolic capacity) ของจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์ จากการทดลองที่ผ่านมาที่แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีสารสำคัญที่ส่งผลต่อการเป็น พรีไบโอติกได้สูงกว่าชนิดอื่น ๆ (ตาราง 4.12) ซึ่งอาจมีสารสำคัญที่มีความเจาะจงกับการนำไปใช้ในการส่งเสริมการเจริญต่อเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 (PI = 1.02) ได้มากกว่า เชื้อ *B. Lactis* BL-04 (PI = 0.42) และเมื่อนำสารสกัดจากข้าวดังกล่าวไปใช้เป็นอาหารทดสอบกับเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 จะเกิดการหมัก หรือการใช้สารสำคัญจากสารสกัดดังกล่าวได้ดี ส่งผลให้เชื้อ *L. acidophilus* LA-5 เจริญได้ดีขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Moongngarm (2011) ได้ศึกษาการใช้ไฮโดรไลสแลคทูโลส (LMWC) องค์ประกอบพรีไบโอติก และกิจกรรมพรีไบโอติกของพืชอาหารไทยพบว่า สารสกัดจากข้าวกล้องงอกที่มี LMWC สูง เพิ่มความหนาแน่นของเซลล์แบคทีเรียกลุ่ม *Lactobacillus acidophilus* หลังเติมสารสกัด 1% (w/v) LMWC ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว (RD6) จะมีค่า PI เท่ากับ 0.17 และ 0.23 และเพิ่มจำนวนเซลล์ *L. acidophilus* เท่ากับ 8.95 ± 0.04 และ $8.93 \pm 0.08 \log \text{ cfumL}^{-1}$ ตามลำดับ และเมื่อนำสารสกัดจากข้าวดังกล่าวไปใช้เป็นอาหารทดสอบกับเชื้อก่อโรค ได้แก่ *E. coli* จะเกิดการหมัก หรือการใช้สารสำคัญจากสารสกัดดังกล่าวได้ดี ส่งผลให้เชื้อ *E. coli* เจริญได้ดีขึ้น ดังตาราง 4.16 พบว่าสารสกัดจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าสูงสุด เท่ากับ $1.43 \times 10^9 \text{ cfumL}^{-1}$ รองลงมาคือ กล้าเปลือกดำ เท่ากับ $8.15 \times 10^8 \text{ cfumL}^{-1}$ หอมมะลิแดง เท่ากับ $1.39 \times 10^9 \text{ cfumL}^{-1}$ หอมมะลิดำ เท่ากับ $1.39 \times 10^8 \text{ cfumL}^{-1}$ นางนวล เท่ากับ $7.75 \times 10^6 \text{ cfumL}^{-1}$ และต่ำสุด คือ กล้าเปลือกขาว เท่ากับ $9.85 \times 10^3 \text{ cfumL}^{-1}$ ตามลำดับ ผลจากการทดสอบสารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์ กับเชื้อแบคทีเรียพรีไบโอติก 2 สายพันธุ์ (*L. acidophilus* LA-5 และ *B. Lactis* BL-04) และเชื้อก่อโรค (*E. coli*) พบว่าสารสกัดจากข้าวส่งเสริมการเจริญเชื้อทั้งสามสายพันธุ์ เนื่องจากสารสกัดจากข้าวกล้องงอกซึ่งประกอบด้วย malto-oligosaccharide (DP 1-10) เป็นหลัก (Moongngarm, 2011) อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากข้าวเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ศึกษาจะเกิดการหมักแบบเจาะจงต่ำในช่วงที่ 24 แต่จะเกิดการหมักแบบเจาะจงมากขึ้นหลังจากช่วงที่ 48 สารสกัดจากข้าวประกอบด้วย maltodextrin (มวล



โมเลกุลขนาดเล็ก) จะไม่เกิดเมแทบอลิซึมแบบเจาะจง (Wichienhot, 2006) แต่ส่งเสริมการเจริญของเชื้อ bifidobacteria, lactobacilli, clostridia และ bacteroides ตามลำดับ

ตาราง 4.17 การเจริญเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 และ *B. lactis* BL-04 ใน MRS เติม 2% สารสกัดหยาบจากข้าว และใช้กลูโคสเป็นตัวอย่างควบคุม และการเจริญของเชื้อ *E. coli* ใน NB เติม 2% สารสกัดหยาบจากข้าว และใช้กลูโคส เป็นตัวอย่างควบคุม

	<i>L. acidophilus</i> LA-5(logcfu/mL)			<i>B. lactis</i> BL-04 (log cfu/mL)			<i>E. coli</i> (log cfu/mL)		
	ระยะเวลาการบ่ม (h)			ระยะเวลาการบ่ม (h)			ระยะเวลาการบ่ม (h)		
source	0	24	Diff*	0	24	Diff*	0	24	Diff*
กลูโคส	3.81±0.05 ^b	7.68±0.01 ^f	3.87 ^e	3.92±0.05 ^a	6.58±0.06 ^d	2.66 ^d	4.42±0.03 ^c	5.60±0.02 ^e	1.18 ^c
ข้าวหอมมะลิ105	4.06±0.03 ^a	11.21±0.01 ^a	7.15 ^b	3.91±0.02 ^b	7.20±0.04 ^b	3.29 ^b	7.24±0.01 ^{ab}	9.16±0.01 ^a	1.92 ^a
หอมมะลิดำ	3.81±0.05 ^b	11.14±0.01 ^b	7.33 ^a	3.94±0.02 ^a	7.84±0.03 ^a	3.90 ^a	7.27±0.01 ^a	8.14±0.00 ^c	0.88 ^d
หอมมะลิแดง	4.08±0.05 ^a	8.97±0.02 ^c	4.90 ^c	3.92±0.05 ^a	6.58±0.06 ^d	2.66 ^d	7.22±0.01 ^b	9.14±0.00 ^a	1.92 ^a
กล่ำเปลือกขาว	3.81±0.05 ^b	7.87±0.02 ^d	4.05 ^d	3.95±0.06 ^a	6.92±0.01 ^c	2.97 ^c	7.25±0.01 ^{ab}	4.99±0.02 ^d	-2.26 ^f
กล่ำเปลือกดำ	4.04±0.00 ^a	7.82±0.00 ^e	3.78 ^e	3.92±0.04 ^a	6.58±0.03 ^d	2.66 ^d	7.12±0.02 ^c	8.91±0.00 ^b	1.79 ^b
นางนวล	3.69±0.00 ^b	11.12±0.00 ^b	7.43 ^a	3.92±0.05 ^a	5.83±0.03 ^e	1.91 ^e	7.25±0.01 ^{ab}	6.89±0.02 ^d	-0.36 ^e

Diff* = $\log \text{cfu/mL}_{t24} - \log \text{cfu/mL}_{t0}$

Each value represents the mean of Log CFU/ml of two times.

a,b,c,d,e

Different superscripts mean significant differences between sampling times for each strain ($P < 0.05$)

4.3.3 ผลการศึกษาการผลิตกรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty acid; SCFAs)

การวิเคราะห์การผลิต SCFAs โดยการดัดแปลงจากวิธีการของ ปริยาภรณ์

อิสราณวัฒน์, (2551) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC โดยทำการเก็บตัวอย่างที่ชั่วโมงที่ 0, 6, 12, 18 และ 24 วิเคราะห์และเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ กรดอะซิติก กรดแลคติก กรดโพรพิโอนิก กรดเอน-วาเลอริก กรดไอโซ-วาเลอริก กรดบิวทิริก และกรดไอโซ-บิวทิริก การผลิตกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid; SCFAs) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการหมักของเชื้อโพรไบโอติกที่เจริญในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดจากข้าว 2% เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำตาลกลูโคส เชื้อ *L. acidophilus* LA-5 มีแนวโน้มการผลิต หรือการกระตุ้นกรดไขมันสายสั้นในกลุ่ม กรดอะซิติก กรดแลคติก กรดโพรพิโอนิก และ กรดบิวทิริก เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม 24 ชั่วโมง ยกเว้นสารสกัดจากข้าวหอมมะลิดำ ไม่พบว่าการผลิตกรดอะซิติกตลอดระยะเวลาการบ่ม 24 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากข้าวสามารถกระตุ้นการผลิตกรดไขมันสายสั้นได้หลากหลายชนิดกว่าสูตรควบคุม (กลูโคส) สำหรับการผลิตกรดไขมันสายสั้น (SCFAs) ของแบคทีเรียโพรไบโอติกที่เกิดขึ้น ถือเป็นกลไกหนึ่งที่เกิดขึ้นในการเจริญของแบคทีเรียโพรไบโอติก มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งลำไส้ (Jan, 2002) นอกจากนี้กรดไขมันสายสั้น ที่เกิดขึ้นยังมีส่วนช่วยการลดระดับพีเอช ในลำไส้ใหญ่ ช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร อีกทั้งกรดไขมันดังกล่าวโดยเฉพาะอย่างยิ่ง บิวทิเรท เป็นสารสำคัญที่ใช้ในกระบวนการแบ่งเซลล์ลำไส้ใหญ่ อย่างไรก็ตามสารสกัดจากข้าวแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของสารสำคัญ



มากนักน้อยแตกต่างกัน มีผลต่อการย่อยสลายที่แตกต่างกัน จึงทำให้อัตราส่วนของกรดไขมันสายสั้นที่เกิดขึ้นต่างกันอย่าง เมื่อพรีไบโอติกถูกย่อยสลายจะเกิดการเพิ่มจำนวนของเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มแลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) และ ไบฟิโดแบคทีเรีย (*Bifidobacteria*) แต่จะทำให้เชื้อก่อโรคลดจำนวนลง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ SCFAs ของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ในชั่วโมงการทดลองที่ 0, 6, 12 และ 24h แสดงดังตาราง 4.17 โดยเปรียบเทียบปริมาณ SCFAs ของเชื้อโพรไบโอติกที่เจริญในอาหาร MRS ซึ่งเติมสารสกัดจากข้าว 6 สายพันธุ์ และใช้กลูโคสเป็นสูตรควบคุม พบว่าสามารถผลิตกรดไขมันสายสั้นและกรดแลคติกเกิดขึ้นได้ตลอดระยะเวลาการหมัก 24 ชั่วโมง สารสกัดข้าวทุกสายพันธุ์ มีแนวโน้มการผลิตกรดแลคติกทุกสายพันธุ์ โดยข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้องเปลือกขาว ผลิตกรดแลคติกได้สูงกว่าสูตรควบคุม (78.60 ± 0.10 mM) เท่ากับ 153.60 ± 0.22 และ 111.23 ± 1.02 mM ตามลำดับ ส่วนสารสกัดจากข้าวที่ผลิตกรดแลคติกได้ต่ำกว่าสูตรควบคุมคือ ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 75.88 ± 0.00 mM ข้าวกล้องเปลือกดำ เท่ากับ 59.60 ± 2.02 mM ข้าวนางนวล เท่ากับ 58.59 ± 0.15 mM และผลิตแลคติกได้ต่ำสุด คือ สารสกัดจากข้าวหอมมะลิแดง เท่ากับ 57.77 ± 1.43 mM ตามลำดับ

สารสกัดข้าวทุกสายพันธุ์ มีแนวโน้มการผลิตกรดอะซิติกทุกสายพันธุ์ และสูงกว่าสูตรควบคุม (52.91 ± 0.00 mM) สารสกัดจากข้าวหอมมะลิดำ ผลิตได้สูงสุดเท่ากับ 321.86 ± 1.51 mM รองลงมาคือข้าว ขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 214.76 ± 0.00 mM หอมมะลิแดง เท่ากับ 161.50 ± 0.56 mM ข้าวนางนวล เท่ากับ 131.29 ± 0.89 mM กล้าเปลือกดำ เท่ากับ 113.05 ± 1.19 mM และต่ำสุดคือ กล้าเปลือกขาว เท่ากับ 81.90 ± 0.85 mM ตามลำดับ สารสกัดทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มในการผลิตกรดโพรพิโอนิก สูงกว่าสูตรควบคุมกลูโคส (7.47 ± 6.13 mM) ยกเว้น สารสกัดจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และกล้าเปลือกดำ เท่ากับ 6.85 ± 1.07 , 4.06 ± 0.37 mM และข้าวหอมมะลิแดง ตรวจไม่พบ และสารสกัดจากข้าว หอมมะลิดำ ผลิตกรดโพรพิโอนิกได้สูงสุดชั่วโมงที่ 24 เท่ากับ 33.92 ± 3.27 mM รองลงมา คือ ข้าวกล้องเปลือกขาว เท่ากับ 12.09 ± 1.76 mM และต่ำสุดคือ ข้าวนางนวล เท่ากับ 10.41 ± 1.23 mM ตามลำดับ และแนวโน้มการผลิตกรดบิวทิริกจากสารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์ต่ำมาก แต่อย่างไรก็ตามการผลิตกรดชนิดนี้เพิ่มมากที่สุดชั่วโมงที่ 24 สารสกัดทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มในการผลิตกรดแลคติก สูงกว่าสูตรควบคุมกลูโคส (4.32 ± 4.77 mM) ยกเว้น สารสกัดจากข้าว และหอมมะลิแดง 0.70 ± 0.01 mM โดยสารสกัดจากข้าวหอมมะลิดำ ผลิตกรดบิวทิริก สูงสุด เท่ากับ 12.66 ± 3.45 mM รองลงมา คือ สารสกัดจากกล้าเปลือกขาว เท่ากับ 6.58 ± 0.57 mM ข้าวนางนวล เท่ากับ 5.38 ± 0.09 mM ข้าวกล้องเปลือกดำ เท่ากับ 5.33 ± 0.01 mM และต่ำสุด คือข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 4.70 ± 0.13 mM ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า สารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์ หมักด้วยเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ผลิตอะซิเตดในระดับที่สูงกว่า โพรพิโอเนต และบิวทิเรต ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Moongngarm, (2010) พบว่าข้าวกล้องงอกมีระดับคาร์โบไฮเดรตกลุ่มมอลโมเลกุลขนาดเล็กสูง (Low Molecular Weight Carbohydrates: LMWC) ประกอบด้วย glucose, fructose, maltose, sucrose, maltotriose, isomaltotriose และ maltotetraose สูงกว่า ข้าวกล้องงอก ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับ Espinosa-Martos (2006) พบว่าข้าวกล้องงอกประกอบด้วย



ความเข้มข้นของ LMWC อยู่ในระดับสูง เช่น glucose, isomaltotriose และ maltotetraose ซึ่งเกิดจากสาเหตุการย่อยสลายพอลิแซ็กคาไรด์ในเมล็ดข้าวด้วยกิจกรรมของเอนไซม์ต่างชนิดกัน เช่น α -amylase และ β -amylase ได้ maltodextrin หรือ คาร์โบไฮเดรตกลุ่มมอลโมเลกุลเล็กชนิดอื่นๆ และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Saman (2008) พบว่า oligosaccharide ซึ่งตรวจสอบจากข้าวกล้องงอก ประกอบด้วย maltotriose, maltotetraose, maltopentaose, maltohexaose และ maltoheptaose นอกจากนี้ Saman (2008) ยังได้ศึกษาอิทธิพลของเอนไซม์ α -amylase หรือ α -D-(1 $\rightarrow$ 4)-glucan glucanohydrolase ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการไฮโดรไลต์แบบ endo-acting enzymes ซึ่งเกิดการตัดพันธะการเชื่อมต่อบน α -D-(1 $\rightarrow$ 4) O-glycosidic ภายในโมเลกุลของแป้งอย่างอิสระ จะได้ malto- oligosaccharide (DP 1-10) ซึ่งมีความยาวของโมเลกุลแตกต่างกัน (Fogarty, 1983) ได้แก่ DP 1 glucose DP 2 maltose DP 3 maltotriose DP 4 maltotetraose DP 5 maltopentaose DP 6 maltohexaose DP 7 maltoheptaose DP 8 maltooctaose DP 9 maltononaose DP 10 maltodecaose และ dextrans (DP 11-20) (Duedahl-Olesen, L. 2000) ส่วน β -amylase หรือ α -D-(1 $\rightarrow$ 4)-glucan maltohydrolase ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการไฮโดรไลต์แบบ exo-acting amylolytics enzymes จะตัดโมเลกุลส่วนท้ายที่เป็น non-reducing end ของแป้งได้ β -maltose (Fogarty and Kelly, 1979) ส่วน α -glucosidases หรือ α -D-(1 $\rightarrow$ 4)-glucoside glucohydrolase และ glucoamylase หรือ α -D-(1 $\rightarrow$ 4)-glucan glucohydrolase จะผลิต α - และ β -glucose ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับรายงานของ Moongngarm (2011) ได้ศึกษาพรีไบโอติกคาร์โบไฮเดรตกลุ่มมอลโมเลกุลขนาดเล็กในกลุ่มข้าว พบว่าสารสกัดจากข้าวกล้องงอกซึ่งประกอบด้วย malto-oligosaccharide (DP 1-10) เป็นหลัก สารสกัดจากข้าวเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ศึกษาจะเกิดการหมักแบบเจาะจงต่ำในช่วง 24 ชั่วโมง แต่จะเกิดการหมักแบบเจาะจงมากขึ้นหลังจากช่วง 48 ชั่วโมง สารสกัดจากข้าวประกอบด้วย maltodextrin (มอลโมเลกุลขนาดเล็ก) จะไม่เกิดเมแทบอลิซึมแบบเจาะจง (Wichienhot, 2006) และในขณะเดียวกัน maltodextrin แต่จะส่งเสริมการเจริญของเชื้อ bifidobacteria, lactobacilli, clostridia และ bacteroides แต่ในส่วน of oligodextran (มอลโมเลกุลขนาดใหญ่) จะเกิดเมแทบอลิซึมแบบเจาะจงกับจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามการในการทดสอบในหลอดทดลอง maltodextrin จะมีคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติก แต่จะถูกไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ในลำไส้ จึงเหลือไปถึงลำไส้ใหญ่จำนวนน้อย และจากการศึกษาของ Wichienhot (2006) พบว่า maltodextrin จะผลิตอะซิเตดในระดับที่สูงกว่าโปรโอเนตและบิวทิเรต ซึ่งให้ผลคล้ายกันกับ Rycroft (2001) จากการหมัก maltodextrin จะได้ SCFA



ตาราง 4.18 ปริมาณกรดไขมันสายสั้นของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ที่ผลิตได้ เมื่อเจริญในอาหาร MRS การเติมสารสกัดหยาบจากข้าว 6 สายพันธุ์ 2% และใช้กลูโคสในอาหาร MRS สูตรพื้นฐานเป็นตัวอย่างควบคุม

SCFAs		สายพันธุ์ข้าว					
(mM)	กลูโคส	ขาวดอกมะลิ	มะลิดำ	มะลิแดง	กล่ำขาว	กล่ำดำ	นางนวล
Lactic							
0h	127.31±0.80 ^c	170.87±4.23 ^a	139.58±0.34 ^b	14.10±0.61 ^f	70.53±0.08 ^d	14.99±1.00 ^f	42.31±1.00 ^e
6h	114.80±1.68 ^b	145.32±10.23 ^a	137.90±0.20 ^a	75.73±1.36 ^d	93.52±0.79 ^c	36.98±0.77 ^f	55.09±0.23 ^e
12h	60.57±0.74 ^c	157.31±2.54 ^b	174.83±1.51 ^a	15.43±1.76 ^c	90.89±0.98 ^c	82.33±0.19 ^c	70.43±1.79 ^c
24h	78.60±0.10 ^c	153.60±0.22 ^a	75.68±0.00 ^d	57.77±1.43 ^e	111.23±1.02 ^b	59.60±2.02 ^e	58.59±0.15 ^e
Acetic							
0h	nd	nd	nd	27.19±0.00 ^d	37.61±0.00 ^c	91.87±1.11 ^b	164.82±0.69 ^a
6h	nd	nd	nd	nd	nd	24.57±0.00 ^b	108.44±0.77 ^a
12h	nd	nd	nd	nd	38.08±0.00 ^b	nd	121.80±0.92 ^a
24h	52.91±0.00 ^g	214.76±0.00 ^b	321.86±1.51 ^a	161.50±0.56 ^c	81.90±0.85 ^f	113.05±1.19 ^e	131.29±0.89 ^d
Propionic							
0h	nd	24.58±2.28 ^a	10.74±0.00 ^{cd}	nd	19.12±0.28 ^b	12.08±1.24 ^c	7.78±1.72 ^d
6h	5.64±1.16 ^{ns}	2.39±1.93 ^{ns}	10.72±0.55 ^{ns}	12.02±7.00 ^{ns}	nd	nd	15.43±1.61 ^{ns}
12h	nd	12.84±0.13 ^b	20.31±0.22 ^a	5.69±5.48 ^{cd}	9.02±0.70 ^{bc}	nd	13.80±1.37 ^{ab}
24h	7.47±6.13 ^{bc}	6.85±1.07 ^{bc}	33.92±3.27 ^a	nd	12.09±1.76 ^b	4.06±0.37 ^{cd}	10.41±1.23 ^{bc}
Butylic							
0h	0.75±1.36 ^d	9.27±1.48 ^b	12.15±0.82 ^a	1.21±0.39 ^d	8.24±0.48 ^b	3.95±1.78 ^c	6.66±0.03 ^b
6h	2.15±2.48 ^{bc}	4.28±5.75 ^{bc}	12.37±1.92 ^a	1.51±1.06 ^c	3.53±0.10 ^{bc}	0.11±0.02 ^c	8.11±1.18 ^{ab}
12h	nd	8.88±0.57 ^b	17.96±3.51 ^a	1.23±1.33 ^c	5.07±0.02 ^c	nd	6.30±0.51 ^c
24h	4.32±4.77 ^b	4.70±0.13 ^b	12.66±3.45 ^a	0.70±1.19 ^b	6.58±0.57 ^{ab}	5.33±0.01 ^b	5.38±0.09 ^{ab}

Each value represents the mean of SCFAs of two times

^{a,b,c,d,e} Different superscripts mean significant differences between sampling times for *L. acidophilus* LA-5

(P<0.05), ^{ns} no significantly difference (p> 0.05) and nd Non-determined.



ผลการวิเคราะห์ปริมาณ SCFAs ของเชื้อ *B. lactis* BL-04 ในช่วงการทดลองที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 24 h แสดงดังตาราง 4.18 โดยเปรียบเทียบปริมาณ SCFAs ของเชื้อโพรไบโอติกที่เจริญในอาหาร MRS ซึ่งเติมสารสกัดจากข้าว 6 สายพันธุ์ และใช้กลูโคสเป็นสูตรควบคุม พบว่าสามารถผลิตกรดไขมันสายสั้นเกิดขึ้นได้ตลอดระยะเวลาการหมัก 12 ชั่วโมง โดยมีแนวโน้มการผลิตกรดแลคติกที่เพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดและสารสกัดทุกสายพันธุ์ผลิตกรดแลคติกสูงกว่าสูตรควบคุมกลูโคส (0.72 ± 0.04 mM) สารสกัดจากข้าวกล้องเปลือกดำ เปลือกขาวผลิตกรดแลคติก ได้สูงสุด เท่ากับ 128.36 ± 4.04 mM รองลงมา คือข้าวกล้องเปลือกดำ เท่ากับ 117.78 ± 2.79 mM หอมมะลิแดง เท่ากับ 61.04 ± 0.47 mM ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 54.55 ± 2.46 mM ข้าวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 53.22 ± 2.50 mM และสารสกัดจากข้าวนางนวล ผลิตกรดแลคติกได้ต่ำสุด เท่ากับ 43.33 ± 9.21 mM ตามลำดับ ส่วนการผลิตกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นได้สูงสุดชั่วโมงที่ 9 โดยมีแนวโน้มการผลิตกรดแลคติกที่เพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดและสารสกัดทุกสายพันธุ์ผลิตกรดอะซิติกสูงกว่าสูตรควบคุมกลูโคส (56.07 ± 2.62 mM) สารสกัดจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 125.13 ± 2.86 mM ผลิตกรดอะซิติกได้สูงสุด รองลงมาคือข้าวนางนวลเท่ากับ 112.71 ± 8.60 mM ข้าวกล้องเปลือกดำ เท่ากับ 102.24 ± 8.24 mM ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 108.54 ± 0.77 mM ข้าวหอมมะลิแดง เท่ากับ 85.89 ± 0.23 mM และข้าวกล้องเปลือกขาวเท่ากับ ผลิตกรดอะซิติกได้ต่ำสุด เท่ากับ 62.74 ± 0.98 mM ตามลำดับ สารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์ มีแนวโน้มผลิตกรดโพรพิโอนิกเพิ่มขึ้นได้สูงสุดชั่วโมงที่ 12 ยกเว้น สารสกัดจากกล้องเปลือกดำและข้าวนางนวล ผลิตกรดโพรพิโอนิก ได้สูงสุดชั่วโมงที่ 24 เท่ากับ 26.09 ± 7.54 และ 23.57 ± 1.87 mM ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มการผลิตกรดโพรพิโอนิกที่เพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดและสารสกัดทุกสายพันธุ์ผลิตกรดโพรพิโอนิก สูงกว่าสูตรควบคุมกลูโคส (0.28 ± 2.29 mM) สารสกัดจากข้าวหอมมะลิดำ สูงสุด เท่ากับ 25.47 ± 2.44 mM หอมมะลิแดง เท่ากับ 19.41 ± 2.74 mM ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 9.96 ± 1.62 mM และต่ำสุดคือ ข้าวกล้องเปลือกขาว เท่ากับ 6.58 ± 7.61 mM ตามลำดับ และสารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์ มีแนวโน้มผลิตกรดบิวทิริกเพิ่มขึ้นได้สูงสุดชั่วโมงที่ 12 ยกเว้น สารสกัดจากข้าวกล้องเปลือกดำ มีแนวโน้มการผลิตกรดบิวทิริก ได้สูงสุด ชั่วโมงที่ 24 เท่ากับ 2.07 ± 0.00 mM โดยมีแนวโน้มการผลิตกรดโพรพิโอนิกที่เพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดและสารสกัดทุกสายพันธุ์ผลิตกรดบิวทิริก สูงกว่าสูตรควบคุมกลูโคส (0.48 ± 0.12 mM) สารสกัดจากข้าวนางนวล สูงสุด เท่ากับ 7.65 ± 1.54 mM ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 5.11 ± 5.08 mM ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 4.75 ± 5.10 mM หอมมะลิแดง เท่ากับ 2.55 ± 2.48 mM และต่ำสุดคือ ข้าวกล้องเปลือกขาว เท่ากับ 0.86 ± 0.71 mM ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า สารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์ หมักด้วยเชื้อ *B. lactis* BL-04 ผลิตอะซิเตดในระดับที่สูงกว่า โพรพิโอเนต และบิวทิเรต แต่ระดับต่ำกว่า เชื้อ *L. acidophilus* LA-5 สอดคล้องกับWichienhot, (2006) ได้ทำการหมัก G12 gluco-oligosaccharide และ G12 maltodextrin ด้วยเชื้อ *Bifidobacterium* ชั่วโมงที่ 24 จะผลิตอะซิเตด ($55.39 \pm 8.69, 80.96 \pm 15.83$ mM ตามลำดับ) สูงกว่า โพรพิโอเนต ($24.25 \pm 5.88, 20.88 \pm 4.56$ mM ตามลำดับ) และบิวทิเรต ($10.03 \pm 1.25, 1.07 \pm 0.47$ mM ตามลำดับ) การผลิต SCFAs ในหมักในหลอดทดลองขึ้นอยู่กับความพร้อมของพื้นผิวสำหรับการย่อยอาหารโดยจุลินทรีย์

Brouns (2002) ได้รายงานว่าการหมักบิวทิเรตได้ในระดับสูง เมื่อผ่านการหมัก resistant starch (30 mM) ขณะที่ ราข้าวสาลี (15 mM) และ เพกติน (20 mM) ตามลำดับ นอกจากนี้



ยังได้มีผู้ศึกษาอีกหลายท่านพบว่า resistant starch ผลิตบิวทิเรตผลิตได้ในระดับสูง เช่นกัน (Cummins and Macfarlane, 1991: Silviv, 1999, Topping, 2003)



ตาราง 4.19 ปริมาณกรดไขมันสายสั้นของเชื้อ *B. lactis* BL-04 ที่ผลิตได้ เมื่อเจริญในอาหาร MRS เติม 2% สารสกัดหยาดจากข้าว 6 สายพันธุ์ และใช้กลูโคสเป็นตัวอย่างควบคุม

SCFAs		สายพันธุ์ข้าว					
(mM)	กลูโคส	ขาวมะลิ	มะลิดำ	มะลิแดง	กล้าขาว	กล้าดำ	นางนวล
Lactic							
0h	29.74±8.17 ^d	116.55±3.63 ^a	94.11±6.41 ^b	53.55±4.22 ^c	46.11±7.80 ^c	6.98±6.31 ^e	94.18±1.15 ^b
3h	50.78±5.55 ^b	33.93±2.68 ^c	110.71±9.09 ^a	12.25±1.80 ^d	121.57±4.53 ^a	9.24±4.51 ^d	12.85±2.74 ^d
6h	8.15±0.26 ^d	93.36±2.47 ^a	89.74±2.65 ^a	66.97±3.44 ^b	59.16±1.68 ^c	10.95±6.20 ^d	0.65±0.78 ^e
9h	28.42±1.65 ^c	55.68±0.82 ^b	11.15±1.50 ^d	3.63±5.18 ^e	64.29±3.31 ^a	30.43±0.78 ^c	62.01±1.89 ^a
12h	0.72±0.04 ^e	53.22±2.50 ^c	54.55±2.46 ^c	61.04±0.47 ^c	128.36±4.04 ^a	117.78±2.79 ^b	43.33±9.21 ^d
24h	50.19±3.81 ^{ab}	nd	36.03±1.65 ^b	nd	nd	0.11±2.81 ^c	6.60±2.11 ^c
Acetic							
0h	54.71±3.26 ^e	91.29±3.28 ^a	77.11±6.92 ^d	88.98±3.15 ^c	90.26±2.64 ^c	101.88±1.36 ^b	224.47±1.05 ^a
3h	48.65±1.12 ^g	50.86±0.62 ^f	93.47±0.53 ^c	81.84±0.31 ^e	85.86±1.16 ^d	102.20±0.47 ^b	127.48±0.87 ^a
6h	35.15±1.14 ^f	87.61±5.97 ^b	83.02±0.75 ^{bc}	63.50±2.76 ^e	70.98±4.43 ^{de}	118.73±1.35 ^a	76.91±2.16 ^{bc}
9h	56.07±2.62 ^e	125.13±2.86 ^a	108.54±0.77 ^b	85.89±0.23 ^c	62.74±0.98 ^d	102.24±8.24 ^b	112.71±8.60 ^b
12h	32.34±0.05 ^e	79.94±4.53 ^a	103.58±4.15 ^b	59.30±0.02 ^d	110.59±1.27 ^a	99.49±0.08 ^b	62.67±1.97 ^d
24h	116.99±1.06 ^a	53.73±2.24 ^f	85.03±1.37 ^c	86.12±4.99 ^c	77.88±2.62 ^d	61.86±2.60 ^e	107.78±2.12 ^b
Propioni							
0h	nd	44.33±1.30 ^a	47.80±8.33 ^a	54.31±8.62 ^a	0.74±13.33 ^b	0.18±1.58 ^b	5.77±1.94 ^b
3h	nd	9.28±1.10 ^{bc}	54.16±1.51 ^a	53.00±7.65 ^a	nd	10.73±4.46 ^{bc}	14.72±9.40 ^b
6h	nd	26.45±1.80 ^{ab}	49.41±0.97 ^a	41.71±2.55 ^a	nd	2.22±2.52 ^{bc}	nd
9h	9.18±1.08 ^c	16.22±9.25 ^{bc}	15.30±5.79 ^{bc}	42.89±3.66 ^a	nd	nd	9.42±1.83 ^c
12h	0.28±2.29 ^c	9.96±1.62 ^b	25.47±2.44 ^a	19.41±2.74 ^a	6.58±7.61 ^{bc}	nd	2.49±2.71 ^{bc}
24h	nd	nd	nd	16.80±7.21 ^a	0.44±0.31 ^b	26.09±7.54 ^a	23.57±1.87 ^a

ตาราง 4.19 (ต่อ)

SCFAs		สายพันธุ์ข้าว					
(mM)	กลูโคส	ข้าวมะลิ	มะลิดำ	มะลิแดง	กล้าขาว	กล้าดำ	นางนวล
Butyric							
0h	6.46±7.10 ^{ab}	9.35±0.41 ^a	9.45±5.96 ^a	12.40±0.21 ^a	0.09±0.19 ^b	0.03±0.20 ^b	0.44±0.47 ^b
3h	5.91±2.47 ^{ab}	10.35±6.22 ^a	9.47±1.97 ^{ab}	6.82±8.21 ^{ab}	nd	0.59±0.24 ^{ab}	1.56±0.14 ^{ab}
6h	1.04±1.46 ^c	4.18±1.13 ^b	14.13±0.54 ^a	1.15±0.36 ^c	nd	0.95±1.19 ^c	0.50±1.09 ^c
9h	5.36±6.93 ^{ns}	2.68±0.82 ^{ns}	5.84 ±6.37 ^{ns}	1.36±0.91 ^{ns}	nd	0.23±0.85 ^{ns}	6.88±7.59 ^{ns}
12h	0.48±0.12 ^{ns}	4.75±5.10 ^{ns}	5.11±5.08 ^{ns}	2.55±2.48 ^{ns}	0.86±0.71 ^{ns}	1.20±0.07 ^{ns}	7.65±1.54 ^{ns}
24h	3.33±2.69 ^a	0.85±0.13 ^{ab}	1.24±0.34 ^{ab}	0.74±0.02 ^{ab}	0.74±0.23 ^{ab}	2.07±0.00 ^{ab}	0.41±0.14 ^b

Each value represents the mean of SCFAs of two times

^{a,b,c,d,e} Different superscripts mean significant differences between sampling times for *B. lactis* BL-04 (P<0.05), ^{ns} no significantly difference (p> 0.05) and nd Non-determined.

4.3.4 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณน้ำตาลหลังการเจริญของเชื้อโพรไบโอติก

การทดสอบปริมาณของน้ำตาลในสารสกัดจากข้าวหลังการเจริญของเชื้อโพรไบโอติกแบคทีเรีย โดยทำการเก็บตัวอย่างเชื้อแบคทีเรีย *L. acidophilus* LA-5 ที่ชั่วโมงที่ 0, 6, 12, 18, 24 h ตามลำดับ และเชื้อแบคทีเรีย *B. Lactis* BL-04 ที่ 0, 3, 6, 9, 12, และ 24 h วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานน้ำตาล 9 ชนิด ดังนี้ maltoheptaose raffinose sucrose maltose glucose fructose xylose galactose และ arabinose พบว่าปริมาณน้ำตาลในสารสกัดหลังการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *L. acidophilus* LA-5 แสดงในตาราง 4.19 และ 4.20 โดยเปรียบเทียบกับสารสกัดจากข้าวหลังการเจริญของเชื้อโพรไบโอติกในอาหาร MRS ที่เติมสารสกัดจากข้าว 2% และใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นตัวควบคุม มีการใช้น้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) คือ มอลโตเฮปโตส น้ำตาล disaccharide คือ ซูโครส และน้ำตาล monosaccharide คือ กลูโคส ฟรุคโตส และอะราบินอส หลังการหมักด้วยเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ที่ชั่วโมงเริ่มต้น ถึง 24 ชั่วโมง พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิดำ มีแนวโน้มการลดลงของน้ำตาลมอลโตเฮปโตส: ซูโครส และกลูโคส เท่ากับ 4.84, 4.44: 1.56, 1.04 และ 7.45, 14.76 mg/L ตามลำดับ ส่วนน้ำตาลฟรุคโตสในข้าวขาวดอกมะลิเพิ่มขึ้น (3.39 mg/L) และข้าวหอมมะลิตาลลดลง (0.93 mg/mL) สำหรับข้าวหอมมะลิแดง มีมอลโตเฮปโตสเพิ่มขึ้น (9.82 mg/mL) และน้ำตาลอะราบินอส ลดลง (0.1 mg/mL) คล้ายกับสารสกัดจากข้าวเหนียวได้แก่ ข้าวกล้องเปลือกขาว กล่ำเปลือกดำ และนางนวล ส่วนน้ำตาลซูโครส จะเพิ่มขึ้นในข้าวกล้องเปลือกขาว กล่ำเปลือกดำและนางนวล มีแนวโน้มเช่นเดียวกับตัวควบคุม (น้ำตาลกลูโคส) ส่วนน้ำตาลกลูโคส ในข้าวกล้องเปลือกขาว กล่ำเปลือกดำเพิ่มขึ้น แต่ในข้าวนางนวลลดลง มีแนวโน้มเช่นเดียวกับตัวควบคุม (น้ำตาลกลูโคส) น้ำตาลอะราบินอสข้าวกล้องเปลือกดำและนางนวล ลดลงในชั่วโมงที่ 6 และ 12 แต่จะเพิ่มขึ้น ในชั่วโมงที่ 24 ส่วนข้าวหอมมะลิแดงเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 6 และ 12 แต่จะลดลงในชั่วโมงที่ 24 เนื่องจากแป้งข้าวกล้องงอกถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -D-(1 $\rightarrow$ 4)-glucan glucanohydrolase) เป็นเอนไซม์ endo-acting จะย่อยแป้งที่มีการเชื่อมต่อตำแหน่ง α -D-(1 $\rightarrow$ 4) O-glycosidic ได้ มอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งตรงกันข้ามกับเอนไซม์ exo-acting amylolytic เช่น β -amylase จะย่อยน้ำตาลส่วนสุดท้ายของน้ำตาลนอนรีดิซ ได้ เบต้า-กลูโคส นอกจากนี้ Duedahl-Olesen, L. (2000) พบว่า มอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ เช่น มอลโตเตตระโอส มอลโตเฮกซะโอส เป็นต้น ซึ่งได้จากการย่อยแป้ง ด้วยแบคทีเรีย สกุล *Bacillus* เช่น *Bacillus clausii* ผลิตเอนไซม์ malto-oligosaccharide-forming เช่น maltotetraose-forming amylase หรือ α -D-(1 $\rightarrow$ 4)-glucan maltotetraohydrolase จะได้น้ำตาล มอลโตเตตระโอส และ Soto, cermen, (2013) พบว่าแบคทีเรียสายพันธุ์ *Lactobacillus* จะผลิตเอนไซม์ oligo 1,6-glucosidase จะย่อยสลาย ไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ (IMOs) โดยเฉพาะไอโซมอลโตส และถูกเปลี่ยนเป็น D-glucose จึงทำให้เกิดน้ำตาลโมเลกุลเพิ่มขึ้น และ Hang and Woodams, (1995) *Aspergillus foetidus*. สามารถผลิต isomalto-oligosaccharide เช่น panose (α -(1 $\rightarrow$ 6)-linked ซึ่งเกิดปฏิกิริยา transglucosylation โดยใช้ maltose เป็นซับสเตรตได้ นอกจากนี้น้ำตาลโมเลกุลใหญ่ จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ดังกล่าว และเกิดการใช้น้ำตาลในช่วงการหมักเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อดังกล่าว



ส่วนน้ำตาลในสารสกัดหลังการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *B. Lactis* BL-04 แสดงในตาราง 4.21 4.22 และ 4.23 พบว่าเชื้อ *B. Lactis* BL-04 มีการใช้น้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ คือ มอลโตเฮปโตส และน้ำตาลซูโครส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ในการเจริญของเชื้อ *B. Lactis* BL-04 โดยพบว่า การเติมสารสกัดจากข้าวเจ้า ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิดำ มีแนวโน้มของน้ำตาลทั้งสองชนิดลดลงในช่วงที่ 12 มีแนวโน้มเช่นเดียวกับข้าวเหนียวทุกชนิด และตัวควบคุม (กลูโคส) มีน้ำตาลซูโครส ลดลงเช่นกัน แต่ข้าวหอมมะลิแดงเพิ่มขึ้น น้ำตาลฟรุคโตส ลดลงในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวหอมมะลิดำ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับข้าวกล้าเปลือกดำแต่น้ำตาลชนิดนี้เพิ่มขึ้นในข้าวกล้าเปลือกขาวกับตัวควบคุม แต่ไม่พบในข้าวหอมมะลิแดง และนางนวลแต่น้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้นในข้าวทุกชนิด และข้าวหอมมะลิแดงไม่มีน้ำตาลชนิดนี้ น้ำตาลอะราบินอส เพิ่มขึ้นในข้าวหอมมะลิดำ หอมมะลิแดง กล้าเปลือกดำ และนางนวล แต่ไม่พบในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้าเปลือกขาว เนื่องจากน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ถูกย่อยและเกิดการใช้น้ำตาลในช่วงการหมัก เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อดังกล่าวเช่นเดียวกันกับเชื้อ *L. acidophilus* LA-5



ตาราง 4.20 ชนิดและปริมาณน้ำตาลของข้าวเจ้าต่อเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 เมื่อเจริญในอาหาร MRS ที่มีการเติม 2% สารสกัดหยาบจากข้าวเจ้า และใช้กลูโคส ในอาหาร MRS เป็นตัวอย่างควบคุม

เวลาเพาะงอก (h)	ชนิดและปริมาณน้ำตาล (mg/mL)							
	มอลโตเฮปโตส	ราฟิโนส	มอลโตส	ซูโครส	กลูโคส	ฟรุคโตส	อะราบิโนส	ไซโลส
ข้าวดอกมะลิ 105								
0	25.48±0.01 ^b	nd	nd	4.81±0.01 ^a	21.76±0.02 ^a	1.63±0.00 ^{ns}	nd	nd
6	16.89±0.01 ^d	nd	nd	2.07±0.00 ^d	16.40±0.01 ^a	1.12±0.00 ^a	nd	nd
12	18.80±0.02 ^{de}	nd	nd	2.98±0.03 ^b	18.17±0.02 ^b	1.40±0.00 ^{ns}	nd	nd
24	20.64±0.01 ^d	nd	nd	3.27±0.02 ^b	14.28±0.02 ^a	5.02±0.00 ^a	nd	nd
หอมมะลิดำ								
0	19.08±0.01 ^a	nd	nd	2.11±0.01 ^b	18.78±0.00 ^b	1.57±0.00 ^{ns}	nd	nd
6	12.93±0.01 ^c	nd	nd	3.22±0.00 ^b	11.59±0.00 ^b	0.59±0.00 ^b	nd	nd
12	24.56±0.02 ^{cd}	nd	nd	4.72±0.02 ^a	23.47±0.00 ^a	1.84±0.00 ^{ns}	nd	nd
24	6.51±0.02 ^e	nd	nd	1.06±0.00 ^f	4.03±0.00 ^b	0.64±0.00 ^c	nd	nd
หอมมะลิแดง								
0	2.06±0.05 ^b	nd	nd	0.66±0.00 ^e	1.07±0.00 ^{ns}	nd	0.09±0.02 ^d	nd
6	3.35±0.01 ^e	nd	nd	1.00±0.01 ^g	1.21±0.00 ^e	nd	0.09±0.02 ^c	nd
12	3.83±0.01 ^e	nd	nd	1.51±0.01 ^e	0.80±0.00 ^{ns}	nd	0.26±0.00 ^b	nd
24	11.92±0.01 ^f	nd	nd	1.72±0.00 ^d	nd	nd	0.24±0.01 ^c	nd

Each value represents the mean of sugar of two times

^{a,b,c,d,e} Different superscripts mean significant differences between sampling times for *L. acidophilus* LA-5 ($P < 0.05$), ^{ns} no significantly difference ($p > 0.05$) and

nd Non-determined.



ตาราง 4.21 ชนิดและปริมาณน้ำตาลของข้าวเหนียวต่อเชื้อ *L.acidophilus* LA-5 เมื่อเจริญในอาหาร MRS เต็ม2% สารสกัดหยาบจากข้าวเหนียว และใช้กลูโคส ในอาหาร MRS เป็นตัวอย่างควบคุม

					ชนิดและปริมาณน้ำตาล (mg/mL)			
เวลาเพาะงอก (h)	มอลโตเฮปโตส	ราฟิโนส	ไซโลส	ซูโครส	มอลโตส	กลูโคส	ฟรุคโตส	อะราบิโนส
กล้าเปลือกขาว								
0	3.06±0.01 ^a	nd	nd	nd	nd	0.97±0.01 ^f	nd	0.24±0.01 ^b
6	10.61±0.02 ^c	nd	nd	1.77±0.00 ^e	nd	2.30±0.03 ^d	nd	nd
12	8.06±0.00 ^c	nd	nd	1.36±0.01 ^f	nd	1.75±0.03 ^d	nd	nd
24	11.82±0.03 ^b	nd	nd	1.60±0.01 ^e	nd	1.71±0.01 ^d	nd	nd
กล้าเปลือกดำ								
0	0.05±0.00 ^a	nd	nd	1.12±0.00 ^d	nd	0.56±0.01 ^g	nd	0.63±0.01 ^f
6	12.29±0.03 ^a	nd	nd	2.27±0.01 ^c	nd	1.50±0.01 ^e	nd	0.49±0.01 ^f
12	10.32±0.00 ^a	nd	nd	1.06±0.00 ^g	nd	1.71±0.00 ^e	nd	0.19±0.00 ^g
24	12.45±0.03 ^a	nd	nd	1.60±0.01 ^e	nd	2.28±0.01 ^c	nd	0.67±0.02 ^f
นางนวล								
0	2.07±0.0 ^a	nd	nd	1.26±0.01 ^c	nd	2.90±0.00 ^d	nd	0.15±0.02 ^c
6	6.90±0.01 ^b	nd	nd	5.43±0.00 ^a	nd	nd	nd	0.44±0.03 ^b
12	8.66±0.03 ^b	nd	nd	2.52±0.01 ^c	nd	nd	nd	0.38±0.01 ^a
24	8.47±0.03 ^c	nd	nd	4.05±0.00 ^a	nd	nd	nd	0.28±0.01 ^b
กลูโคส								
0	nd	nd	nd	nd	nd	4.01±0.05 ^c	nd	nd
6	nd	nd	nd	1.62±0.01 ^f	nd	3.60±0.10 ^c	0.38±0.95 ^c	nd
12	nd	nd	nd	1.76±0.02 ^d	nd	2.39±0.02 ^c	nd	nd
24	nd	nd	nd	1.92±0.00 ^c	nd	1.57±0.14 ^e	0.74±0.61 ^b	nd

Mean of sugar of two times, ^{a,b,c,d,e,f} Different superscripts mean significant differences between sampling times for *L. acidophilus* LA-5 (P<0.05), nd Non-determined.



ตาราง 4.22 ชนิดและปริมาณน้ำตาลของข้าวเจ้าต่อเชื้อ *B. lactis* BL-04 เมื่อเจริญในอาหาร MRS เติม 2% สารสกัดหยาบจากข้าวเจ้า และใช้กลูโคสเป็นตัวอย่างควบคุม

เวลาเพาะงอก (h)	ชนิดและปริมาณน้ำตาล (mg/L)							
	มอลโตเฮปโตส	ราฟิโนส	ไซโลส	ซูโครส	มอลโตส	กลูโคส	ฟรุคโตส	อะราบิโนส
ข้าวดอกมะลิ 105								
0	11.19±6.09 ^{ab}	nd	nd	5.32±2.31 ^a	nd	2.49±1.32 ^b	4.69±5.24 ^{ab}	nd
3	8.29±2.11 ^c	nd	nd	4.33±0.74 ^b	nd	2.89±0.82 ^b	4.64±4.94 ^{ab}	nd
6	11.22±0.61 ^{ab}	nd	nd	4.49±0.24 ^{bc}	nd	2.89±0.19 ^b	7.67±0.35 ^a	nd
9	9.65±0.96 ^a	nd	nd	5.77±0.41 ^{ab}	nd	3.78±1.32 ^b	4.86±5.03 ^{ab}	nd
12	8.07±0.25 ^d	nd	nd	3.53±0.86 ^b	nd	3.54±0.50 ^b	1.14±0.19 ^d	nd
หอมมะลิดำ								
0	14.32±1.35 ^a	nd	nd	4.71±0.64 ^a	nd	2.44±0.34 ^b	7.35±1.28 ^a	0.78±0.12 ^a
3	14.47±1.05 ^{ab}	nd	nd	5.49±0.52 ^{ab}	nd	2.70±0.06 ^b	8.04±0.81 ^a	0.97±0.41 ^a
6	11.19±0.80 ^{ab}	nd	nd	3.34±0.30 ^c	nd	2.84±0.04 ^b	6.39±1.21 ^a	0.89±0.01 ^a
9	13.28±1.23 ^b	nd	nd	4.59±0.04 ^{ab}	nd	3.19±0.31 ^b	5.98±2.39 ^{ab}	0.86±0.36 ^a
12	13.35±0.15 ^b	nd	nd	5.05±0.96 ^{ab}	nd	3.28±0.47 ^b	6.22±0.94 ^b	1.12±0.07 ^a
หอมมะลิแดง								
0	0.73±0.07 ^b	nd	nd	0.03±0.00 ^b	nd	0.04±0.00 ^c	0.10±0.00 ^b	nd
3	0.90±0.15 ^d	nd	nd	0.13±0.09 ^c	nd	0.05±0.01 ^c	0.13±0.03 ^b	nd
6	0.98±0.17 ^c	nd	nd	0.23±0.01 ^d	nd	0.07±0.01 ^c	0.11±0.01 ^b	nd
9	1.88±0.19 ^b	nd	nd	0.35±0.02 ^b	nd	0.11±0.03 ^b	nd	0.10±0.01 ^b
12	1.02±0.22 ^e	nd	nd	0.33±0.01 ^c	nd	nd	nd	0.06±0.01 ^b

Each value represents the mean of sugar of two times

^{a,b,c,d,e} Different superscripts mean significant differences between sampling times for *B. lactis* BL-04 ($P<0.05$) and nd

Non-determined.

ตาราง 4.23 ชนิดและปริมาณน้ำตาลของข้าวเหนียวต่อเชื้อ *B. lactis* BL-04 เมื่อเจริญในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดหยาบจากข้าวเหนียว 2% และใช้กลูโคส ในอาหาร MRS สูตรพื้นฐานเป็นตัวอย่างควบคุม

เวลาเพาะงอก (h)	ชนิดและปริมาณน้ำตาล (mg/L)							
	มอลโตเฮปโตส	ราฟิโนส	ไซโลส	ซูโครส	มอลโตส	กลูโคส	ฟรุคโตส	อะราบิโนส
กล้าเปลือกขาว								
0	12.88±1.42 ^{ab}	nd	nd	6.73±0.84 ^a	nd	2.95±0.51 ^b	8.34±1.68 ^a	nd
3	8.29±2.11 ^a	nd	nd	5.24±0.63 ^{ab}	nd	3.34±0.10 ^b	5.89±0.08 ^a	nd
6	13.23±3.11 ^{ab}	nd	nd	5.70±0.05 ^{ab}	nd	2.89±0.20 ^b	8.77±1.83 ^a	nd
9	12.38±6.11 ^a	nd	nd	10.39±6.72 ^a	nd	4.35±2.48 ^b	7.33±4.54 ^{ab}	nd
12	10.01±1.02 ^c	nd	nd	6.27±0.26 ^a	nd	3.02±0.31 ^b	8.45±0.08 ^a	nd
กล้าเปลือกดำ								
0	19.30±5.28 ^a	nd	nd	4.25±0.40 ^a	nd	3.09±0.51 ^b	6.99±2.77 ^a	nd
3	18.81±1.05 ^a	nd	nd	5.91±0.95 ^{ab}	nd	2.32±1.08 ^b	6.08±0.88 ^a	nd
6	16.23±0.80 ^a	nd	nd	5.98±0.15 ^{ab}	nd	3.24±0.02 ^b	7.34±0.02 ^a	nd
9	16.93±0.62 ^a	nd	nd	4.99±0.84 ^{ab}	nd	2.63±1.22 ^b	6.50±1.02 ^{ab}	nd
12	16.28±1.43 ^a	nd	nd	4.77±1.03 ^{ab}	nd	1.94±1.31 ^b	5.89±0.51 ^{bc}	nd
นางนวล								
0	10.28±3.62 ^{ab}	nd	nd	7.32±3.17 ^a	nd	3.84±1.64 ^b	6.56±2.87 ^{ab}	nd
3	10.24±0.35 ^{bc}	nd	nd	6.08±1.00 ^a	nd	3.27±0.32 ^b	7.96±1.21 ^a	nd
6	10.23±2.80 ^b	nd	nd	7.86±1.58 ^a	nd	3.84±1.46 ^b	6.49±2.35 ^a	nd
9	11.01±4.11 ^a	nd	nd	8.51±1.15 ^a	nd	4.75±0.24 ^{ab}	8.33±2.43 ^a	nd
12	8.22±0.25 ^{cd}	nd	nd	5.05±2.08 ^{ab}	nd	3.38±1.34 ^b	4.87±0.15 ^c	nd

Each value represents the mean of sugar of two times

^{a,b,c,d} Different superscripts mean significant differences between sampling times for *B. lactis* BL-04 (P<0.05) and nd

Non-determined.

4.4 ผลการผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซินไบโอติก

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนที่บริโภคอาหารที่เป็นหมู่ฟังก์ชันและอาหารเสริมกันมากขึ้น โดยเฉพาะอาหารที่ประกอบด้วยโพรไบโอติกแบคทีเรีย หรือ probiotic foods (Martensson, O., 2002) จะให้ความสนใจเป็นอันดับต้น ๆ เนื่องจากเชื่อว่ามีผลดีต่อสุขภาพ เช่น ปรับความสมดุลของ จุลินทรีย์ในลำไส้ กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ลดความเสี่ยงของ โรคกระเพาะ โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคท้องร่วงและโรคกระดูกพรุน (Heenan, 2004, Madureira, 2005, Samaržija, 2009) โบกิโดแบคทีเรีย (*Bifidobacterium* spp.) เป็น แบคทีเรีย ซึ่งนักวิจัยให้ความสนใจที่จะศึกษาเป็นกลุ่มแรก (Akalin, 2004; Bruno, 2002; Shin, 2000) แต่เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ หรือ ออกซิเจน (strictly anaerobic bacteria) ต้องการอากาศน้อยกว่า 0.05% (Homayouni, A., 2008) หากนำมาเป็นส่วนผสมในไอศกรีมจะส่งผลต่อการรอดชีวิตของแบคทีเรียกลุ่มนี้ เนื่องจากสิ่งแวดล้อมไม่เหมาะสม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือก แบคทีเรียกลุ่ม lactobacilli ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อย (3-5%) (Akin, 2007) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์นมหมัก FAO/WHO (2001) ถือว่าเป็นโพรไบโอติกที่มีความปลอดภัยสูง และมีผลต่อการส่งเสริมสุขภาพของโฮสต์ (Shah, 2001) และเป็นสายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติในการบำบัดรักษา (Pandiyani, 2012) ส่วนพรีไบโอติกซึ่งนิยมนำมาศึกษา เป็นกลุ่ม non-digestible fructants กระตุ้นการเจริญเติบโตแบบเจาะจง และ/หรือ เกิดแอคติวิตี กับแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่และมีผลที่ดีต่อโฮสต์ (Gibson and Roberfroid, 1995) เช่น อินนูลิน เนื่องจากสามารถกระตุ้นโพรไบโอติกแบคทีเรียได้ (Akin, 2007) ใช้เป็นแคปซูลเพื่อขนส่งโพรไบโอติก ผ่านระบบย่อยอาหารส่วนต้นไปยังลำไส้ใหญ่ (De Vos, 2010) และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่ง ได้รับความนิยมในประเทศแถบยุโรป สามารถทนต่อการย่อยจากกรดในกระเพาะอาหารและน้ำย่อย จากตับอ่อน เนื่องจากภายในโมเลกุลของอินนูลิน มีมอโนเมอร์ของฟรุคโตสเกาะด้วยพันธะ β (2 $\rightarrow$ 1) ซึ่งจะป้องกันการย่อยด้วยเอนไซม์ได้ (Donkor, 2007) จะถูกทำลายไปยังลำไส้ใหญ่ได้ ใน ส่วนของแป้งข้าวกล้องงอกและแป้งข้าวโพดประกอบด้วยอะไมโลส ซึ่งมีกลูโคสเป็นมอโนเมอร์เกาะด้วย พันธะ α และ β 1 $\rightarrow$ 2, 1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4 และ 1 $\rightarrow$ 6 โดยเฉพาะ α และ β 1 $\rightarrow$ 6 มีค่า DP เท่ากับ 12 และมีมวลโมเลกุล 2,000 g/mol ได้แก่ พอลิเดิร์กโตส ที่มีพลังงานต่ำ 1 kcal/g จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ที่ลำไส้เล็กได้ต่ำและถูกส่งไปหมักที่ลำไส้ใหญ่ (Oliveira, Ricardo P.S., 2009) ได้มีผู้รายงานว่าการย่อยและดูดซึมแป้งที่ลำไส้เล็กเป็นเรื่องปกติ แต่ยังมีเหลือส่วนที่ไม่ถูกย่อย ที่ เป็นพรีไบโอติก ซึ่งเรียกว่า แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch) (Donkor, 2007) ถูกนำไปส่งเสริมการเจริญเติบโตของโพรไบโอติก เช่นหมักแป้งข้าวโพดในหลอดทดลอง (Le Leu, 2005) นอกจากนี้ยังพบว่า ไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ซินไบโอติกส่วนใหญ่ นิยมนำโพรไบโอติกมาใช้ในผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ นมหมักที่แตกต่างกันหลายชนิด เช่นโยเกิร์ต ซีส และไอศกรีม เป็นต้น (Sadaghdar, 2012) โดย รับประทานเป็นของหวาน อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ดังกล่าวถูกนำมาพัฒนาเป็นอาหารเพื่อการ บำบัดรักษา ซึ่งเป็นผลจากโพรไบโอติกที่มีความเข้มข้น 10^6 - 10^7 cfu/g ของผลิตภัณฑ์ (Lourens-Hattingh, 2001) และไอศกรีมเป็นของผสมแช่แข็งหลายชนิดรวมตัวกัน เช่น นม สารให้ความหวาน



สารที่ทำให้เกิดความคงตัว อิมัลซิไฟเลอร์ และสารปรุงแต่งกลิ่นและรส (Marshall, 2003) และส่วนใหญ่จะหมายถึง นม โปรตีน ไขมัน แลคโตส (Cruz, 2009) และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น skim milk power (SMP) whey protein concentrate (WPC) และพอลิแซ็กคาไรด์ สิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพทางการตลาดที่ดีในการดึงดูดความสนใจของโพรไบโอติกไอศกรีม (Akin, 2007) โดยไอศกรีมซินไบโอติกใช้เป็นตัวขนส่งและปกป้องโพรไบโอติกไปสู่ลำไส้ใหญ่ได้ นอกจากนี้สารดังกล่าวยังช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและเพิ่มคุณค่าสารอาหารได้อีกด้วย (Pandiyani, 2012) และ Laroia and Martin (1991) Hekmat and McMahon (1992) และ Haynes and Playne (2002) ได้รายงานว่าเป็นที่น่าพอใจต่อการรอดชีวิตของโพรไบโอติกแบคทีเรียในขนม นมแช่แข็ง

4.4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมซินไบโอติก

4.4.1.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการละลายและเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟู ของไอศกรีมซินไบโอติก

ไอศกรีมเป็นของหวานนมแช่แข็งจะเป็นระบบคอมเพล็กซ์คอลลอยด์ ซึ่งประกอบด้วย เซลล์อากาศ ผลึกน้ำแข็งและส่วนของเม็ดไขมันที่การกระจายในเฟสของเหลวที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งภายในมีพอลิแซ็กคาไรด์ แลคโตส น้ำตาล และเกลือแร่ ที่ถูกละลายผสมกันอยู่ (Soukoulis, 2010) จะถูกเรียกว่าไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญหลักสำหรับการอยู่ตัวของไอศกรีม ซึ่งเป็นจุดประสงค์แรกที่จะต้องควบคุมการเกิดปรากฏการณ์การเกิดผลึกใหม่ หรือเกิดการผันผวนของอุณหภูมิ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการเก็บรักษา (Regand, 2003) ไฮโดรคอลลอยด์มีอิทธิพลต่อคุณภาพของเนื้อสัมผัส ปรากฏการณ์การเกิดผลึกใหม่ การเพิ่มความหนืด และการกักเก็บน้ำ ความคงตัว การทำให้ไขมันกระจายตัว การควบคุมกลิ่น (Cook, 2006) และการปลดปล่อยกลิ่นชั่วขณะ ปรับปรุงการรับรู้ของกลิ่นไอศกรีมและมีผลต่อคุณภาพของการละลายของหวานนมแช่แข็ง (Soukoulis, 2008)

จากการวิเคราะห์อัตราการละลายของไอศกรีมซินไบโอติก ผลดังตาราง 4.23 พบว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราการละลายไอศกรีมซินไบโอติก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสูตร 00 มีค่าสูงสุด คือ 1.63 ± 0.03 g/min รองลงมาคือ สูตร 20 สูตร 30 และสูตร 40 เท่ากับ 1.60 ± 0.01 , 1.58 ± 0.01 และ 1.56 ± 0.01 g/min ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟู (% Over run) พบว่าสูตร 40 มีค่าสูงสุด คือ 96.52 ± 0.68 % รองลงมาคือ สูตร 30 สูตร 20 และ สูตร 00 เท่ากับ 93.72 ± 0.14 , 92.62 ± 0.27 และ 89.85 ± 0.14 ตามลำดับ การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการละลายกับเปอร์เซ็นต์ของการขึ้นฟู คือ เมื่อเปอร์เซ็นต์ของอัตราการละลายลดลง เปอร์เซ็นต์ของการขึ้นฟูจะสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Pelan, (1997) นอกจากนี้ Goff, (2003) พบว่าสารที่มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเลอร์และสารให้ความคงตัว ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ไข่แดงดิบ จะช่วยให้เม็ดไขมันเกาะกับอากาศและเกิดการขึ้นฟูได้ดี



ตาราง 4.24 ผลการวิเคราะห์อัตราการละลายและเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟูของไอศกรีมซินไบติก

ปัจจัยที่ศึกษา		
สูตร	อัตราการหลอมเหลว g/min	เปอร์เซ็นต์การขึ้นฟู (% Over run)
40	1.56±0.01 ^c	96.52±0.68 ^a
30	1.58±0.01 ^b	93.72±0.14 ^b
20	1.60±0.01 ^b	92.62±0.27 ^c
00	1.63±0.03 ^a	89.85±0.14 ^d

^{a-d} Mean with the same column with different letters are significantly different ($P<0.05$) among the different studied ice cream formulars for the same factor.

หมายเหตุ

สูตร 40 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 40: 00) สูตร 30 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 30:10)

สูตร 20 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 20:20) สูตร 00 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 00:40)

4.4.1.2 ผลการวิเคราะห์ความหนืดของไอศกรีมซินไบติก โดยใช้เครื่อง viscometer จากการวิเคราะห์ ค่าความหนืดของไอศกรีมซินไบติก ดังตาราง 4.24 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากการแช่แข็งเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง นั่นคือความหนืดไม่มีผลต่ออายุของการเก็บรักษาที่ -20°C ของไอศกรีมทุกสูตร

ตาราง 4.25 ผลการวิเคราะห์ความหนืดของไอศกรีมซินไบติกต่อระยะเวลาการเก็บรักษา -20°C นาน 1-30 วัน ความเร็ว (60 rpm)

ความหนืด (mPa.s)				
เวลาในการเก็บรักษา (วัน)				
สูตร	1	7	15	30
40	1667± 0.58 ^c	1667± 0.58 ^c	1667± 0.58 ^c	1667±0.58 ^c
30	1733±0.58 ^b	1733±0.58 ^b	1733±0.58 ^b	1733±0.58 ^b
20	1767±0.58 ^b	1767±0.58 ^b	1767±0.58 ^b	1767±0.58 ^b
00	1867±0.58 ^a	1867±0.58 ^a	1867±0.58 ^a	1867±0.58 ^a

^{a-e} Mean with the same column with different letters are significantly different ($P<0.05$) among the different periods of storage.

หมายเหตุ: ค่าที่วัดได้ x cofactor (100)

สูตร 40 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 40: 00) สูตร 30 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 30:10)

สูตร 20 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 20:20) สูตร 00 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 00:40)



4.4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไอศกรีมชินไปโอติก

4.4.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของไอศกรีมชินไปโอติก โดยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของไอศกรีมชินไปโอติก ผลดังตาราง 4.25 พบว่าค่าเฉลี่ยของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของไอศกรีมชินไปโอติก แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาวันที่ 30 ที่ -20°C คือ ระหว่าง $26.00\text{--}35.00^{\circ}\text{Brix}$ โดยสูตรที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ สูตร 00 เท่ากับ 2°Brix และสูตรที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด คือ สูตร 40 เท่ากับ 0°Brix ซึ่งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ตามลำดับ เนื่องจากขั้นตอนการแช่แข็งจะหยุดกิจกรรมของทุกเซลล์ ส่งผลให้บางส่วน of เซลล์ตายไป แต่อย่างไรก็ตาม อายุของการเก็บรักษาที่ -20°C นานขึ้น คือ 15 วันของการเก็บจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเล็กน้อย เท่ากับ 1°Brix

ตาราง 4.26 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของไอศกรีมชินไปโอติกต่อระยะเวลาการเก็บรักษา -20°C นาน 30 วัน

สูตร	$^{\circ}\text{Brix}$			
	เวลาในการเก็บรักษา (วัน)			
	1	7	15	30
40	$26.33 \pm 0.57^{\text{C}}$	$26.33 \pm 0.57^{\text{C}}$	$26.33 \pm 0.57^{\text{C}}$	$26.33 \pm 0.57^{\text{C}}$
30	$33.33 \pm 0.57^{\text{Ab}}$	$33.33 \pm 0.57^{\text{Ab}}$	$32.33 \pm 0.57^{\text{Bb}}$	$32.33 \pm 0.57^{\text{Bb}}$
20	$34.33 \pm 0.57^{\text{Ab}}$	$34.33 \pm 0.57^{\text{Ab}}$	$33.33 \pm 0.57^{\text{Bb}}$	$33.33 \pm 0.57^{\text{Bb}}$
00	$37.33 \pm 0.57^{\text{Aa}}$	$37.33 \pm 0.57^{\text{Aa}}$	$35.33 \pm 0.57^{\text{Ba}}$	$35.33 \pm 0.57^{\text{Ba}}$

^{a-c} Mean with the same column with different letters are significantly different ($P < 0.05$), ^{A-C} Mean with the same row with different letters are significantly difference ($P < 0.05$) among the different periods of storage.

หมายเหตุ:

สูตร 40 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 40: 00) สูตร 30 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 30:10)

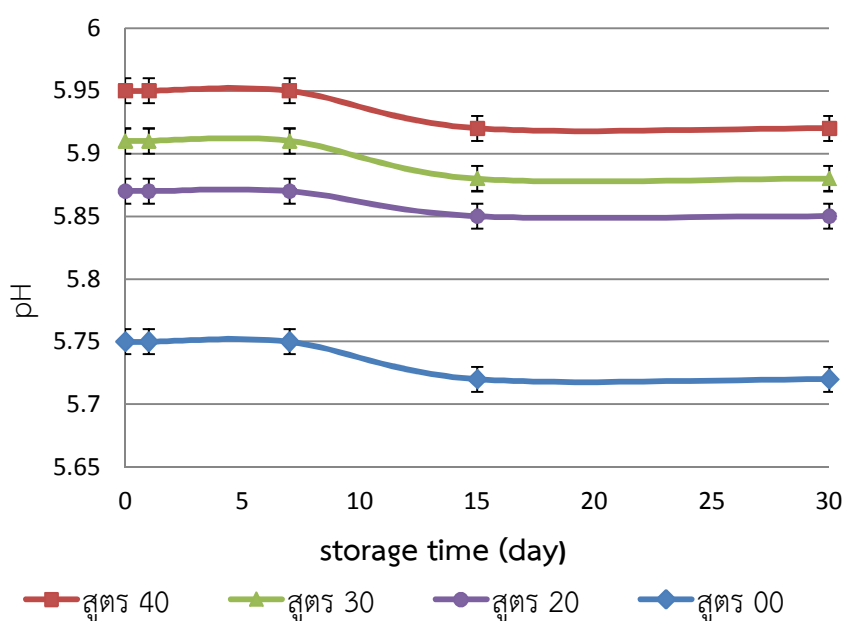
สูตร 20 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 20:20) สูตร 00 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 00:40)

4.4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด ของไอศกรีมชินไปโอติก โดยใช้เครื่อง pH-meter

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของไอศกรีมชินไปโอติก พบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไอศกรีมชินไปโอติก มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาที่ -20°C ในวันที่ 30 คือ ระหว่าง $0.01\text{--}0.03$ โดยสูตรที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ สูตร 30 และ 20 เท่ากับ 0.03 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ไอศกรีมชินไปโอติกมีค่าน้อยมาก



เนื่องจากขั้นตอนการแช่แข็งจะหยุดกิจกรรมของทุกเซลล์ ส่งผลให้บางส่วน of เซลล์ตาย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Akalin (2004) พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า pH เล็กน้อยไม่มีผลต่อการรอดชีวิตของไบโอฟิล์มแบคทีเรียในโยเกิร์ต เก็บไว้ในตู้เย็น และ Donkor (2007) ได้ศึกษาถึงค่า pH สุดท้าย (pH 4.45, 4.50-4.60) ต่อการรอดชีวิตของ *L. paracasei* และ *L. rhamnosus*. ในโยเกิร์ตโพรไบโอติกได้ชี้ให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่า pH เล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา ไม่มีผลต่อการรอดชีวิตของโพรไบโอติกทั้งสอง เนื่องจากโพรไบโอติกแบคทีเรีย เจริญเติบโตได้ช้า ในผลิตภัณฑ์นมหมัก (Sadaghdar, 2012) ดังนั้นในทางปฏิบัติต้องนำเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 มาเตรียมเป็นนมก่อน นำไปเติมในไอศกรีมมิกส์ ซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้สามารถสร้างกรดแลคติกในขั้นตอนการนมหมักได้ จึงส่งผลทำให้มีค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 5.65 หลังผสมเชื้อโพรไบโอติก (*L. acidophilus* La-5) ในไอศกรีมมิกส์วันที่ 1 ของการเก็บรักษาที่ -20°C มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดย สูตร 00 มีค่า pH ต่ำสุดคือ เท่ากับ 5.75 สูตร 20 เท่ากับ 5.87 สูตร 30 เท่ากับ 5.91 สูตร 40 เท่ากับ 5.95 ตามลำดับ ตามมาตรฐานของ AFSC (The Australian Food Standard Code) ต้องการให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ต้องมีค่า pH ต่ำสุดเท่ากับ 4.50 จึงจะป้องกันจุลินทรีย์ก่อโรคที่ล้าไส้ใหญ่ได้ Donkor, O.N., 2006)



ภาพประกอบ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด กับระยะเวลาการเก็บรักษา ของไอศกรีมซินไบโอติก เก็บที่ -20°C นาน 30 วัน

หมายเหตุ:

สูตร 40 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 40: 00) สูตร 30 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 30:10)

สูตร 20 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 20:20) สูตร 00 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 00:40)



4.4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านจุลินทรีย์ไอสกริมซินไบโอติก

4.4.3.1 ผลการวิเคราะห์การรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5

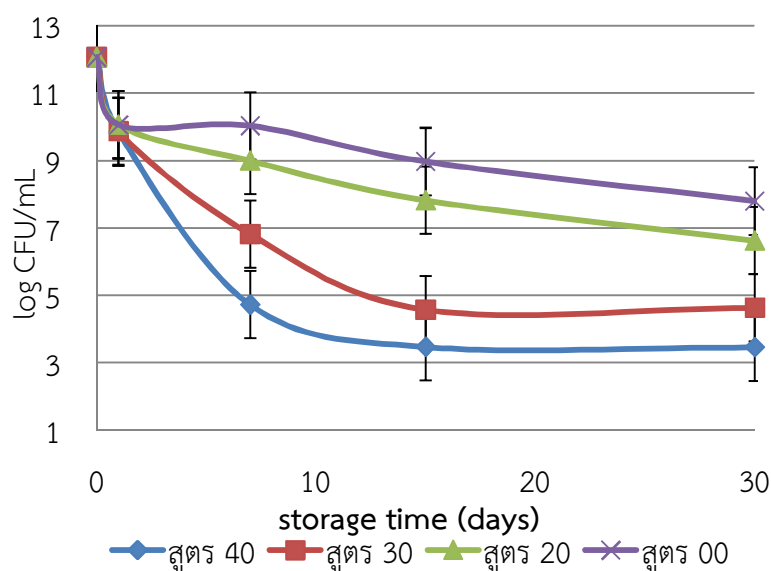
การรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ซึ่งทำหน้าที่เป็นโพรไบโอติก...

ผสมด้วยผงข้าวกล้องงอกของชาวดอกมะลิ 105 กับแป้งข้าวโพด ซึ่งทำหน้าที่เป็นโพรไบโอติก ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีทั้งโพรไบโอติกกับ พรีไบโอติก จะถูกเรียกว่า ซินไบโอติก (synbiotic) หรือ อาหารที่มีหมู่ฟังก์ชัน (functional foods) (Homayouni, 2007a) ในที่นี้ คือไอสกริมซินไบโอติก โดยผสมโพรไบโอติกในรูปของนมหมัก การรอดชีวิตของโพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์แช่แข็งดังกล่าว จะบ่งบอกถึงคุณภาพในการบำบัดรักษา ซึ่งต้องมีระดับความเข้มข้นของโพรไบโอติกที่ได้รับการแนะนำไว้ตั้งแต่ 10^{-6} (Kurmann, 1991) ถึงมากกว่า 10^{-7} หรือ 10^{-8} cfu/mL (Lourens-Hattingh, 2001) ปัจจัยที่มีผลต่อการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์ของหวานนมแช่แข็งอัดลม (aerated frozen dairy desserts) ส่งผลให้พารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่น ค่ารีดอกซ์สูง ความเป็นพิษของออกซิเจน การแตกของเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรียระหว่างขั้นตอนการแช่แข็ง และความอ่อนแอของแบคทีเรียที่อยู่ในสภาวะกรด (Cruz, 2009) ผู้วิจัยได้ศึกษาการรอดชีวิตของเชื้อดังกล่าวโดยมีเชื้อเริ่มต้น 10^{-10} cfu/mL เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20°C นาน 30 วัน เก็บตัวอย่างนำมาตรวจสอบวันที่ 1, 7, 15 และ 30 วันของการเก็บรักษา ดังภาพประกอบ 4.10 พบว่าแบคทีเรีย *L. acidophilus* LA-5 มีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อสิ้นสุดในสัปดาห์สุดท้าย พบว่าสูตร 20 (ผงข้าวชาวดอกมะลิ 105: corn; 20:20) มีการรอดชีวิต เท่ากับ $6.63 \log \text{ cfu/g}$ ของผลิตภัณฑ์ สูตร 00 (ผงข้าวชาวดอกมะลิ 105: corn; 00:40) มีการรอดชีวิต เท่ากับ $7.80 \log \text{ cfu/g}$ ของผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ ซึ่งทั้งสูตร 20 และ 00 เท่านั้น มีการรอดชีวิตสูงกว่า $6 \log \text{ cfu/g}$ ส่วนสูตรอื่น ๆ เช่น สูตร 40 (ผงข้าวชาวดอกมะลิ 105: corn; 40:00) มีการรอดชีวิต เท่ากับ $3.16 \log \text{ cfu/g}$ สูตร 30 (ผงข้าวชาวดอกมะลิ 105: corn; 30:10) มีการรอดชีวิต เท่ากับ $4.30 \log \text{ cfu/g}$ ซึ่งมีอัตราการรอดชีวิตของเชื้อโพรไบโอติกต่ำกว่ามาตรฐาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Haroldo, (2007) พบว่าการเตรียมไอสกริมโพรไบโอติกที่เติมเชื้อ 4% *L. acidophilus* เก็บไว้ที่ -25°C นาน 60 วัน มีอัตราการรอดชีวิต 87% Pandiyan, (2012) เตรียมไอสกริม โดยเก็บรักษาที่ $-18 - (-23)^{\circ}\text{C}$ นาน 0-15 วัน พบว่าทุก Treatments มีแนวโน้มของการรอดชีวิตลดลง โดยเปรียบเทียบสูตรที่มีส่วนผสมของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) 30 g กับสูตรไม่เติม FOS พบว่า ไอสกริมที่เติมโพรไบโอติก *L. acidophilus* มีการรอดชีวิตในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาเท่ากับ $8.25 \pm 0.03 \text{ cfu/mL}$ สูงกว่าการเติม *L. acidophilus* ร่วมกับ *S. boulardii* เท่ากับ $7.55 \pm 0.09 \text{ cfu/mL}$ ขณะที่เติม FOS เพิ่มขึ้นพบว่าการเติม FOS 30 g *L. acidophilus* มีการรอดชีวิตในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา เท่ากับ $8.25 \pm 0.03 \text{ cfu/mL}$ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) เมื่อเติม FOS เพิ่ม 50 g เมื่อเติมเชื้อ *L. acidophilus* ร่วมกับ *S. boulardii* เท่ากับ $8.33 \pm 0.07 \text{ cfu/mL}$ ส่วน Akalin and Erisir (2008) พบว่าการเติมโอลิโกแซคคาไรด์ ช่วยเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของ *L. acidophilus* LA-5 กับ *B. animalis* BB-12 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) Hagen and Narvhus (1999) พบว่า การเก็บไอสกริมผสมโพรไบโอติก (*L. acidophilus*) โดยการแช่แข็งที่ $-18 - (-23)^{\circ}\text{C}$ จำนวนโพรไบโอติกแบคทีเรียลดลง จาก 0.8 เป็น $0.7 \log \text{ cfu/g}$ แต่ Hekmat and McMahon (1992) การเก็บไอสกริมผสม



L. acidophilus เก็บรักษาโดยการแช่แข็งมากกว่า 12 สัปดาห์ พบว่าเชื้อโปรไบโอติกลดลง 2.23 log cfu/g การลดลงของจำนวนแบคทีเรีย และสอดคล้องกับงานวิจัย Ozcan, Tulay (2010) ได้ทำการศึกษาการรอดชีวิตของ *Lactobacillus acidophilus* LA-5 และ *Bifidobacterium bifidum* BB-12 ในพุดดิ้งข้าว โดยใช้แป้งข้าว และใช้เชื้อเริ่มต้นทั้งสองชนิด $7 \log \text{cfu g}^{-1}$ เก็บ 4 ± 1 °C นาน 21 วัน

เนื่องจากขั้นตอนการแช่แข็งจะหยุดกิจกรรมของทุกเซลล์ ส่งผลให้บางส่วนของเซลล์ตายไป อย่างไรก็ตาม กลไกการผสม กระบวนการแช่แข็ง และการรวมตัวของออกซิเจนส่งผลต่อการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (Salem, 2005) อย่างไรก็ตาม จำนวนเชื้อ *L. acidophilus* ในไอศกรีมซินไบโอติกหรือไอศกรีมผสมโปรไบโอติก เมื่อผ่านกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา มีการรอดชีวิตของเชื้อเหลือถึงระดับรักษาโรคได้ (10^6cfu/g) ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกต่อผู้บริโภคไอศกรีมซินไบโอติกหรือไอศกรีมผสมโปรไบโอติก จะช่วยเพิ่มจุลินทรีย์ในลำไส้และช่วยให้ผู้บริโภคมีสุขภาพดี



ภาพประกอบ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 กับระยะเวลาการเก็บรักษาไอศกรีมซินไบโอติก เก็บที่ -20 °C นาน 30 วัน

หมายเหตุ:

สูตร 40 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 40: 00) สูตร 30 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 30:10)

สูตร 20 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 20:20) สูตร 00 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 00:40)

แบคทีเรีย *L. acidophilus* LA-5 มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษา เกิดจากการที่เซลล์ของแบคทีเรียถูกผลึกของน้ำแข็งทิ่มเซลล์ เมื่อมีการเก็บรักษาที่นานขึ้น รวมทั้งน้ำของไอศกรีมที่กลายเป็นน้ำแข็งก็ไม่สามารถเกิด metabolism ในเซลล์แบคทีเรียได้ (Dave and



Shah, 1997) แต่เนื่องจาก *L. acidophilus* มีผนังเซลล์เป็นแกรมบวก ซึ่งเป็นลักษณะของจุลินทรีย์ที่สามารถทนต่อสภาวะการแช่แข็ง ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซินไบโอติก โดยแช่ที่อุณหภูมิ -20°C จึงทำให้การลดปริมาณของเชื้อ *L. acidophilus* เกิดขึ้นได้ช้ามาก (Adams and Moss, 2000)

4.4.4 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซินไบโอติก

การเติมโพรไบโอติกแบคทีเรียลงในผลิตภัณฑ์ สิ่งที่ต้องพิจารณา คือ โพรไบโอติกนั้นจะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อรสชาติหรือ กลิ่นของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งสภาวะความเป็นกรดในการเก็บรักษา ซึ่งจะนำไปสู่การรอดชีวิตของโพรไบโอติกด้วยเช่นกัน (Heller, 2001) นอกเหนือจากคุณสมบัติด้านสุขภาพแล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึง ควรตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานหลายประการ สำหรับการพัฒนาลาดผลิตภัณฑ์โพรไบโอติก รวมทั้งการรอดชีวิตและเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์และความเสถียรของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย (Donkor, 2006) ดังนั้นการประเมินความชอบของผู้ทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ ถือเป็นส่วนหนึ่งที่จะบอกได้ว่า ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นที่ยอมรับในระดับใดนั่นเอง

4.4.4.1 ผลการประเมินความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ซินไบโอติก

จากการผลิตไอศกรีมซินไบโอติก โดยเติมปริมาณผงแป้งข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0, 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนัก และประเมินค่าคะแนนความชอบทางด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 7-point hedonic scale (ตาราง 2.29) พบว่า คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ด้านกลิ่น ความมัน ความเหนียวหนืด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ค่าคะแนนความชอบด้านสี ความเรียบ ความเหนียว การละลายในปาก และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าคะแนนความชอบด้านความเรียบเนียนในระดับความชอบปานกลาง (5.80) ของสูตร 30 ที่มีการเติมปริมาณผงแป้งข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 ร้อยละ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร 00 (5.00) ที่มีการเติมปริมาณผงแป้งข้าวโพดร้อยละ 4 ส่วนค่าคะแนนความชอบการละลายในปากระดับปานกลาง (5.44) สูตร 40 ที่มีการเติมปริมาณผงแป้งข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 ร้อยละ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร 00 (5.00) ที่มีการเติมปริมาณผงแป้งข้าวโพดร้อยละ 4, 2(4.76), 1(5.08) และ 0(5.44) ตามลำดับ และค่าคะแนนความชอบโดยรวมระดับปานกลาง (5.84) สูตร 40 สูตร 30 (5.60) และสูตร 20 (5.72) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร 00 (4.64) ที่มีการเติมปริมาณผงแป้งข้าวโพดร้อยละ 4 นอกจากนี้ยังพบว่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซินไบโอติกผู้บริโภคมีความชอบโดยรวมสูงสุดสำหรับทุกสูตรที่มีส่วนประกอบของผงแป้งข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 มากกว่าสูตรที่มีส่วนประกอบของผงแป้งข้าวโพด ทั้งนี้เนื่องจากไอศกรีมซินไบโอติกที่มีส่วนผสมผงแป้งข้าวโพดมีลักษณะเรียบเนียนแต่เหนียว จึงทำให้เนื้อไอศกรีมเหนียวแข็ง เนื้อสัมผัสไม่นุ่มแต่ไม่เหนียวหนืด ส่งผลต่อการละลายในปากจะละลายในปากได้ต่ำกว่าสูตรที่มีผงแป้งข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 เป็นส่วนประกอบ สอดคล้องกับงานวิจัย Ozcan, Tulay (2010) ได้ทำการศึกษาการรอดชีวิตของ *Lactobacillus acidophilus* LA-5 และ *Bifidobacterium bifidum* BB-12 ในพุดดิ้งข้าว โดยใช้แป้งข้าว และใช้เชื้อเริ่มต้นทั้งสองชนิด $7 \log \text{cfu g}^{-1}$ เก็บ $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ นาน 21 วัน การทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าแบคทีเรียทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) คะแนนด้านสี รสชาติ และกลิ่น



ชอบมากที่สุด ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ซึ่ง Ozcan สรุปว่าพุดdingข้าวเป็นแหล่งขนส่งแบคทีเรียโพรไบโอติกที่ดีและมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่นำไปสู่มุมมองที่ดีสำหรับผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ในอนาคต

ตาราง 4.27 ผลการประเมินความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมขึ้นโปโอดิค

สูตร	สี	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส					
		กลิ่น ^{ns}	ความมัน ^{ns}	ความเรียบเนียน	ความเหนียวหนืด ^{ns}	ละลายในปาก	ความชอบโดยรวม
สูตร 40	4.80±1.19 ^{ab}	4.96±1.57	5.12±1.04	5.20±1.17 ^{ab}	5.36±1.36	5.44±1.29 ^a	5.84±0.75 ^a
สูตร 30	4.60±1.26 ^{ab}	4.88±1.13	4.88±0.97	5.80±0.91 ^a	5.44±0.96	5.08±1.29 ^{ab}	5.60±1.04 ^a
สูตร 20	4.12±1.05 ^b	4.56±1.66	4.72±1.56	4.92±1.55 ^b	4.72±1.40	4.76±1.30 ^{ab}	5.72±1.24 ^a
สูตร 00	4.20±1.19 ^b	4.80±1.32	4.92±1.25	5.00±1.38 ^b	4.88±1.23	5.00±1.19 ^{ab}	4.64±1.22 ^b

^{a-b} Mean with the same column with different letters are significantly different ($P < 0.05$) among the different studied factors, and ^{ns} no significant difference ($p > 0.05$)

หมายเหตุ:

สูตร 40 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 40: 00) สูตร 30 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 30:10)

สูตร 20 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 20:20) สูตร 00 (ผงข้าวขาวดอกมะลิ 105: corn; 00:40)



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 การศึกษาสภาวะการงอกและคุณสมบัติต่าง ๆ

5.1.1 การศึกษาสภาวะการงอกคุณสมบัติทางกายภาพของข้าว

การศึกษาสภาวะการงอกและการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือก 6 สายพันธุ์ ในสภาวะห้องมืด อุณหภูมิ 30 ± 5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 95-97% แชน้ำประปา 10 h (0 h) และปัจจัยของระยะเวลาการงอกนาน 0-36 h พบว่าชนิดของข้าวและระยะเวลาการเพาะงอกที่แตกต่างกัน ส่งผลต่ออัตราการงอกของข้าวเปลือกทุกสายพันธุ์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง 80.00 ± 1.00 - $91.00 \pm 4.00\%$ ซึ่งข้าวนางนวลและขาวดอกมะลิ 105 มีอัตราการงอกสูงสุด ($91.00 \pm 1.73\%$) และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิแดง ($80.00 \pm 1.00\%$) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่ออัตราการงอกที่ระยะเวลาการงอกของข้าวทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้นคุณภาพด้านการขัดสีของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง 58.89 ± 1.70 - $71.44 \pm 0.50\%$ ซึ่งข้าวหอมมะลิแดง มีเปอร์เซ็นต์การขัดสีสูงสุด ($71.44 \pm 0.50\%$) และต่ำสุด คือ ข้าวนางนวล ($58.89 \pm 1.70\%$) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อคุณภาพด้านการขัดสีข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ลดลง

5.1.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของข้าว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ของข้าว 6 สายพันธุ์หลังการทำให้แห้งด้วยวิธีการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 °C นาน 48 h ได้แก่ ปริมาณความชื้น (moisture content) โปรตีนหยาบ (crude protein) ไขมันหยาบ (crude fat) เถ้า (ash) และเส้นใยหยาบ (crude fiber) พบว่า ชนิดของข้าวและระยะเวลาการเพาะงอกที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อความชื้นของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง 4.68 ± 0.23 - $5.40 \pm 0.54\%$ ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ มีความชื้นสูงสุด ($5.40 \pm 0.54\%$) และต่ำสุด คือ ข้าวกล้าเปลือกขาว (4.68 ± 0.23) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อความชื้นของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้นโปรตีนหยาบของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง 9.68 ± 0.02 - 13.54 ± 0.00 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ซึ่งข้าวกล้าเปลือกดำมีโปรตีนหยาบสูงสุด (13.54 ± 0.00 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) และต่ำสุด คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (9.68 ± 0.02 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) ระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อโปรตีนหยาบของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้น ไขมันหยาบข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง 4.13 ± 0.09 - 5.79 ± 0.02 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ซึ่งข้าวนางนวล มีไขมันหยาบสูงสุด (5.79 ± 0.02 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) และต่ำสุด คือ ขาวดอกมะลิ 105 (4.13 ± 0.00 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อไขมันหยาบของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้นเส้นใยของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง 2.79 ± 0.05 - 5.74 ± 0.07 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ซึ่งข้าวหอมมะลิแดง มีเส้นใยสูงสุด (5.74 ± 0.07 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิดำ (2.79 ± 0.05 g



ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อเส้นใยของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้น ถ้าของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง 1.10 ± 0.08 - 1.66 ± 0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ซึ่งข้าวกล้าเปลือกขาวมีเถ้าสูงสุด (1.66 ± 0.01 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิแดง (1.10 ± 0.08 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อปริมาณเถ้าของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ค่อนข้างคงที่ และเปอร์เซ็นต์ผลที่ได้ของสารสกัดที่ละลายน้ำได้ของข้าวเปลือก 6 สายพันธุ์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง 9.87 ± 0.06 - 15.62 ± 0.07 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ซึ่งข้าวกล้าเปลือกขาว ได้สารสกัดที่ละลายน้ำได้สูงสุด (15.62 ± 0.07 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิแดง 9.87 ± 0.06 (g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลที่ได้ของสารสกัดที่ละลายน้ำได้ของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์

5.1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกของข้าว

การวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติก ได้แก่ แบ่งทั้งหมดแบ่งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์และแบ่งที่ถูกย่อยซึ่งได้จากการคำนวณของข้าว 6 สายพันธุ์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แบ่งทั้งหมด ระหว่าง 5.52 ± 0.27 - 6.20 ± 1.19 mg/mL ของสารสกัดข้าวหอมมะลิแดง มีปริมาณสูงสุด (6.20 ± 1.19 mg/mL ของสารสกัด) และต่ำสุด คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (5.52 ± 0.27 mg/mL ของสารสกัด) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น ทำให้แบ่งทั้งหมด ของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้น แบ่งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ ระหว่าง 3.05 ± 0.07 - 1.70 ± 0.01 mg/mL ของสารสกัดซึ่งข้าวหอมมะลิแดง มีปริมาณสูงสุด (3.05 ± 0.07 mg/mL ของสารสกัด) และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิดำ (1.70 ± 0.01 mg/mL ของสารสกัด) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น ทำให้แบ่งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ลดลงและแบ่งที่ถูกย่อยซึ่งได้จากการคำนวณ ระหว่าง 4.49 ± 0.44 - 5.28 ± 0.01 mg/mL ของสารสกัด ซึ่งข้าวนางนวล มีปริมาณสูงสุด เท่ากับ 5.28 ± 0.24 mg/mL ของสารสกัดและต่ำสุด คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (4.49 ± 0.44 mg/mL ของสารสกัด) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น ทำให้แบ่งที่ถูกย่อย ซึ่งได้จากการคำนวณ ของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ และสารสกัดหยาบพรีไบโอติกของข้าว 6 สายพันธุ์ถูกเตรียมตามวิธีของ Trakulpiboolchai, (2006) โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วน 1:10 (w/v) ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ด้วยอ่างน้ำร้อน ในสภาวะที่ 40°C นาน 30 min 50°C นาน 30 min 60°C นาน 60 min และ 80°C นาน 15 min พบว่าน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าวเปลือก 6 สายพันธุ์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง 1.23 ± 0.01 - 2.52 ± 0.02 g ต่อ 100 g ของสารสกัดซึ่งข้าวกล้าเปลือกขาว มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงสุด (2.52 ± 0.02 g ต่อ 100 g ของสารสกัด) และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิแดง (1.23 ± 0.01 g ต่อ 100 g ของสารสกัด) น้ำตาลรีดิวซ์ระหว่าง 0.83 ± 0.01 - 1.78 ± 0.09 g ต่อ 100 g ของสารสกัดซึ่งข้าวกล้าเปลือกขาว มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สูงสุด (1.78 ± 0.09 g ต่อ 100 g ของสารสกัด) และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิแดง (0.83 ± 0.01 g ต่อ 100 g ของสารสกัด) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาการเพาะงอก 24 h มีปริมาณสารสกัดหยาบพรีไบโอติกที่ได้จากการ



คำนวณของข้าวเปลือก 6 สายพันธุ์สูงสุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง 0.10 ± 0.05 - 0.96 ± 0.11 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g ซึ่งข้าวกล้าเปลือกขาว มีปริมาณสารสกัดหยาบฟรีโบโอติกที่ได้จากการคำนวณสูงสุด (0.96 ± 0.11 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) และต่ำสุดคือ ข้าวหอมมะลิแดง (0.17 ± 0.07 g ต่อน้ำหนักแห้ง 100 g) และระยะเวลาการงอกที่เพิ่มขึ้น ทำให้สารสกัดหยาบฟรีโบโอติกที่ได้จากการคำนวณของข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ลดลง

การวิเคราะห์ชนิดและคำนวณปริมาณน้ำตาลของสารสกัดที่ได้ ด้วยเครื่อง HPLC โดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน น้ำตาล maltoheptaose, raffinose, sucrose, maltose, glucose, fructose, xylose, galactose และ arabinose จากการทดลอง พบเฉพาะน้ำตาล maltoheptaose, raffinose maltose และ glucose ข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์ มีชนิดและปริมาณน้ำตาล แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) น้ำตาล maltoheptaose ที่ระยะเวลาการงอก 36 hrs เพิ่มขึ้นสูงสุด ระหว่าง 19.39 ± 8.55 - 174.60 ± 4.13 mg/mL ของสารสกัดซึ่งข้าวขาวมะลิ 105 มีปริมาณสูงสุด (174.60 ± 4.13 mg/mL ของสารสกัด) และต่ำสุดคือ ข้าวหอมมะลิแดง (19.39 ± 8.55 mg/mL ของสารสกัด) น้ำตาล raffinose ระหว่าง 5.18 ± 0.00 - 17.84 ± 0.07 mg/mL ของสารสกัดซึ่งข้าวหอมมะลิแดง มีปริมาณสูงสุด (17.84 ± 0.07 mg/mL ของสารสกัด) และต่ำสุด คือข้าวกล้าเปลือกดำ (5.18 ± 0.00 mg/mL ของสารสกัด) น้ำตาล maltose ระหว่าง 8.57 ± 0.15 - 28.28 ± 0.52 mg/mL ของสารสกัดซึ่งข้าวกล้าเปลือกขาวมีปริมาณสูงสุด (28.28 ± 0.52 mg/mL ของสารสกัด) และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิแดง (8.57 ± 0.15 mg/mL ของสารสกัด) และน้ำตาล glucose ระหว่าง 0.24 ± 0.00 - 1.19 ± 0.00 mg/mL ของสารสกัดซึ่งข้าวกล้าเปลือกดำ มีปริมาณสูงสุด (1.19 ± 0.00 mg/mL ของสารสกัด) และต่ำสุด คือข้าวหอมมะลิแดง (0.24 ± 0.00 mg/mL ของสารสกัด)

5.2 การทดสอบประสิทธิภาพคุณสมบัติการเป็นสารฟรีโบโอติกของข้าว

5.2.1 การทดสอบการส่งเสริมการเจริญของเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก

พบว่าการเจริญของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ในอาหาร MRS เมื่อเติม 2% สารสกัดข้าวมีค่า OD อยู่ระหว่าง 0.50-0.96 ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่า OD สูงสุด (0.96) และข้าวที่มีการเจริญของเชื้อต่ำกว่าการเจริญของเชื้อในอาหารคือ ข้าวกล้าเปลือกดำ มีค่า OD ต่ำสุด (0.50) ต่ำกว่าสูตรควบคุมคือ กลูโคส (0.88) ยกเว้น ข้าวดอกมะลิ 105 เมื่อเวลาผ่านไปค่า pH ของเชื้อแบคทีเรีย *L. acidophilus* LA-5 ในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดข้าว 2% แสดงว่าการผลิตกรดสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า pH มีแนวโน้มที่ลดลง แต่สูงกว่าสูตรควบคุม และในช่วงเวลาที่ 24 ของการทดสอบสารสกัดจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่า pH ต่ำสุด (4.72) และกล้าเปลือกขาว มีค่าสูงสุด (5.96) แสดงว่าเชื้อโพรไบโอติกสามารถเจริญได้ในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวทุกชนิด แต่น้อยกว่าสูตรควบคุม (4.53)

การเจริญของเชื้อ *B. lactis* BL-04 ในอาหาร MRS เติม 2% สารสกัดข้าวมีค่า OD ระหว่าง 0.44-0.75 การเจริญสูงกว่าการเจริญของเชื้อในอาหารสูตรควบคุม คือกลูโคส (0.64) ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ 105 มีค่า OD สูงสุด (0.75) และข้าวที่มีการเจริญของเชื้อต่ำกว่าการเจริญของเชื้อในอาหารคือ ข้าวนางนวล มีค่า OD ต่ำสุด (0.44) เมื่อเวลาผ่านไปค่า pH ของเชื้อ



แบคทีเรีย *B. lactis* BL-04 ในอาหาร MRS ที่มีการเติม 2% สารสกัดข้าว แสดงว่ามีการผลิตกรดขึ้น ส่งผลให้ค่า pH มีแนวโน้มที่ลดลง แต่สูงกว่าสูตรควบคุม และในช่วงเวลาที่ 24 ของการทดสอบ สารสกัดจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่า pH ต่ำสุด (5.39) และนางนวล มีค่าสูงสุด (5.62) จากค่า pH ที่ตรวจพบ แสดงว่าเชื้อโพรไบโอติกสามารถเจริญได้ในอาหาร MRS ที่มีการเติมสารสกัดจากข้าวทุกชนิด แต่น้อยกว่าการใช้อาหาร MRS สูตรควบคุม (4.83)

ผลการทดลองความสามารถการเป็นสารพรีไบโอติก (PI) ของสารสกัดจากข้าวแต่ละชนิดต่อการเจริญของเชื้อกลุ่มโพรไบโอติก เมื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถของพรีไบโอติกต่อการเจริญของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 และ *B. lactis* BL-04 พบว่าพบสารสกัดจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าความสามารถต่อการเป็นพรีไบโอติกต่อเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ได้สูงสุด เท่ากับ 1.02 รองลงมา คือ นางนวล เท่ากับ 0.95 กล้าเปลือกดำ เท่ากับ 0.88 หอมมะลิแดง เท่ากับ 0.86 กล้าเปลือกขาว เท่ากับ 0.83 และต่ำสุด คือ หอมมะลิดำ เท่ากับ 0.66 สำหรับผลของการเป็นพรีไบโอติกต่อเชื้อ *B. Lactis* BL-04 พบว่าสารสกัดจากข้าวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 0.42 รองลงมา คือ กล้าเปลือกดำ เท่ากับ 0.36 หอมมะลิแดง เท่ากับ 0.36 กล้าเปลือกขาว เท่ากับ 0.35 นางนวล เท่ากับ 0.28 และต่ำสุด คือ ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 0.22

จากการทดลองแสดงว่าข้าวมีคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติกที่ดี และเป็นประโยชน์ต่อเชื้อโพรไบโอติกสูงกว่าเชื้อก่อโรค จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีสารสำคัญที่ส่งผลต่อการเป็นพรีไบโอติกได้สูงกว่าข้าวชนิดอื่น ๆ ซึ่งอาจมีสารสำคัญที่มีความจำเป็นกับการนำไปใช้ในการส่งเสริมการเจริญต่อเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 (PI = 1.02) ได้มากกว่าเชื้อ *B. Lactis* BL-04 (PI = 0.42) ตามลำดับ

5.2.2 การผลิตกรดไขมันสายสั้น (SCFAs)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณ SCFAs ของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5 ในช่วงเวลาทดลองที่ 0, 6, 12 และ 24 h ในอาหาร MRS ซึ่งเติม 2% สารสกัดจากข้าว 6 สายพันธุ์ และใช้กลูโคสเป็นสูตรควบคุม พบว่าการผลิตกรดแลคติกทุกสายพันธุ์ โดยข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้าเปลือกขาว ผลิตกรดแลคติกได้สูงกว่าสูตรควบคุม (78.60 ± 0.10 mM) เท่ากับ 153.60 ± 0.22 และ 111.23 ± 1.02 mM ตามลำดับ ส่วนสารสกัดจากข้าวที่ผลิตกรดแลคติกได้ต่ำกว่าสูตรควบคุม คือ ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 75.88 ± 0.00 mM ข้าวกล้าเปลือกดำ เท่ากับ 59.60 ± 2.02 mM ข้าวนางนวล เท่ากับ 58.59 ± 0.15 mM และผลิตกรดแลคติกได้ต่ำสุด คือ สารสกัดจากข้าวหอมมะลิแดง เท่ากับ 57.77 ± 1.43 mM ตามลำดับ สารสกัดข้าวทุกสายพันธุ์ มีแนวโน้มการผลิตกรดอะซิติกทุกสายพันธุ์ และสูงกว่าสูตรควบคุม (52.91 ± 0.00 mM) สารสกัดจากข้าวหอมมะลิดำ ผลิตได้สูงสุดเท่ากับ 321.86 ± 1.51 mM รองลงมาคือข้าว ขาวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 214.76 ± 0.00 mM หอมมะลิแดง เท่ากับ 161.50 ± 0.56 mM ข้าวนางนวล เท่ากับ 131.29 ± 0.89 mM กล้าเปลือกดำ เท่ากับ 113.05 ± 1.19 mM และต่ำสุดคือ กล้าเปลือกขาว เท่ากับ 81.90 ± 0.85 mM ตามลำดับ สารสกัดทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มในการผลิตกรดโพรพิโอนิก สูงกว่าสูตรควบคุมกลูโคส (7.47 ± 6.13 mM) ยกเว้น สารสกัดจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 และกล้าเปลือกดำ เท่ากับ 6.85 ± 1.07 , 4.06 ± 0.37 mM และข้าวหอมมะลิแดง ตรวจไม่พบ และสารสกัดจากข้าว หอมมะลิดำ ผลิตกรดโพรพิโอนิกได้สูงสุดช่วงเวลาที่ 24 เท่ากับ 33.92 ± 3.27 mM รองลงมา คือ ข้าวกล้าเปลือกขาว เท่ากับ 12.09 ± 1.76 mM และต่ำสุดคือ ข้าวนางนวล เท่ากับ



10.41±1.23 mM ตามลำดับ และแนวโน้มการผลิตกรดบิวทิริกจากสารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์ต่ำมาก แต่อย่างไรก็ตามการผลิตกรดชนิดนี้เพิ่มมากที่สุดช่วงเวลาที่ 24 สารสกัดทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มในการผลิตกรดแลคติก สูงกว่าสูตรควบคุมกลูโคส (4.32±4.77 mM) ยกเว้น สารสกัดจากข้าว และหอมมะลิแดง 0.70±0.01 mM โดยสารสกัดจากข้าวหอมมะลิดำ ผลิตภัณฑ์บิวทิริก สูงสุด เท่ากับ 12.66±3.45 mM รองลงมา คือ สารสกัดจากกล้าเปลือกขาว เท่ากับ 6.58±0.57 mM ข้าวนางนวล เท่ากับ 5.38±0.09 mM ข้าวกล้าเปลือกดำ เท่ากับ 5.33±0.01 mM และต่ำสุด คือ ข้าวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 4.70±0.13 mM ตามลำดับ

เชื้อ *B. lactic* BL-04 ในช่วงเวลาการทดลองที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 24 hrs ในอาหาร MRS ซึ่งเติมสารสกัดจากข้าว 6 สายพันธุ์ และใช้กลูโคสเป็นสูตรควบคุม พบว่าการผลิตกรดอะซิติก ช่วงเวลาที่ 24 สารสกัดทุกสายพันธุ์ผลิตกรดอะซิติกต่ำกว่าสูตรควบคุม (กลูโคส) (116.99±1.06 mM) สารสกัดจากข้าวข้าวนางนวล ผลิตภัณฑ์อะซิติกได้สูงสุด เท่ากับ 107.78±2.12 mM ข้าวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 125.13±2.86 mM รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิแดง เท่ากับ 86.12±4.99 mM ข้าวหอมมะลิดำ เท่ากับ 85.03±1.37 mM ข้าวกล้าเปลือกขาว เท่ากับ 77.88±2.62 mM ข้าวกล้าเปลือกดำ เท่ากับ 61.86±2.60 mM ข้าวข้าวดอกมะลิ 105 ผลิตภัณฑ์อะซิติกได้ต่ำสุด เท่ากับ 53.73±2.24 mM ตามลำดับ การผลิตกรดโพรพิโอนิก ที่ช่วงเวลาที่ 24 สารสกัดจาก ข้าวกล้าเปลือกดำ ข้าวนางนวล หอมมะลิแดง กล้าเปลือกขาว และ ผลิตภัณฑ์โพรพิโอนิก ได้สูงกว่าสูตรควบคุม (nd) เท่ากับ 26.09±7.54, 23.57±1.87, 16.80±7.21 และ 0.44±0.31 mM ตามลำดับ ส่วนสารสกัดจากข้าวหอมมะลิดำและ ข้าวดอกมะลิ 105 ผลิตภัณฑ์โพรพิโอนิกต่ำมาก (nd) และการผลิตกรดบิวทิริก ที่ช่วง 24 สารสกัดจากข้าวทุกสายพันธุ์ผลิตกรดชนิดนี้ได้ต่ำกว่าสูตรควบคุม (3.33±2.69 mM) สารสกัดจากข้าวกล้าเปลือกดำ ผลิตภัณฑ์บิวทิริกสูงสุด เท่ากับ 2.07±0.00 mM รองลงมาคือหอมมะลิดำ เท่ากับ 1.24±0.34 mM ข้าวข้าวดอกมะลิ 105 เท่ากับ 0.85±0.13 mM หอมมะลิแดง และข้าวกล้าเปลือกขาว เท่ากับ 0.74±0.02 mM และข้าวนางนวล ต่ำสุด เท่ากับ 0.41±0.14 mM ตามลำดับ กรดแลคติก ช่วงเวลาที่ 24 สารสกัดทุกสายพันธุ์ผลิตกรดแลคติก ต่ำกว่าสูตรควบคุม (50.19±3.81 mM) สารสกัดจากข้าวหอมมะลิดำ ผลิตภัณฑ์แลคติกได้สูงสุด เท่ากับ 36.03±1.65 mM รองลงมาคือ ข้าวนางนวล เท่ากับ 6.60±2.11 mM ข้าวกล้าเปลือกดำ เท่ากับ 0.11±2.81 mM ส่วนข้าวข้าวดอกมะลิ 105 ข้าวกล้าเปลือกขาว และข้าวหอมมะลิแดง ผลิตภัณฑ์แลคติกได้ต่ำมาก

5.2.3 ชนิดและปริมาณน้ำตาลหลังการเจริญของเชื้อโพรไบโอติก

การวิเคราะห์ชนิดและคำนวณปริมาณน้ำตาลของสารสกัดที่ได้ ด้วยเครื่อง HPLC โดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน น้ำตาล maltoheptaose raffinose sucrose maltose glucose fructose xylose galactose และ arabinose แต่จากการทดลอง พบเฉพาะน้ำตาล maltoheptaose raffinose maltose และ glucose เชื้อ *L. acidophilus* LA-5 โดยพบว่าการเติมสารสกัดจากข้าวเจ้า ได้แก่ ข้าวข้าวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมมะลิดำ มีแนวโน้มลดลงในช่วงเวลาที่ 12 แต่จะเพิ่มขึ้น ในช่วงเวลาที่ 24 สำหรับข้าวหอมมะลิแดง มีมอลโตเฮปตะโตสเพิ่มขึ้น คล้ายกับสารสกัดจากข้าวเหนียวได้แก่ ข้าวกล้าเปลือกขาว กล้าเปลือกดำและนางนวล ส่วนน้ำตาลซูโครส จะเพิ่มขึ้นในข้าวกล้าเปลือกขาวกล้าเปลือกดำและนางนวล มีแนวโน้มเช่นเดียวกับตัวควบคุม (น้ำตาลกลูโคส) ส่วนน้ำตาลกลูโคส ในข้าวกล้าเปลือกขาว กล้าเปลือกดำเพิ่มขึ้น แต่ในข้าวนางนวลลดลง



มีแนวโน้มเช่นเดียวกับชุดควบคุม (น้ำตาลกลูโคส) น้ำตาลอะราบินอสข้าวกล้าเปลือกดำและนางนวล ลดลงในชั่วโมงที่ 6 และ 12 แต่จะเพิ่มขึ้น ในชั่วโมงที่ 24 ส่วนข้าวหอมมะลิแดงเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 6 และ 12 แต่จะลดลงในชั่วโมงที่ 24 และเชื้อ *B. lactic* BL-04 มีการใช้น้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์คือ มอลโตเฮปโตสและน้ำตาลซูโครส สารสกัดจากข้าวเจ้า ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และหอมมะลิดำมีแนวโน้มของน้ำตาลทั้งสองชนิดลดลงในชั่วโมงที่ 12 มีแนวโน้มเช่นเดียวกับข้าวเหนียวทุกชนิด และตัวควบคุม (กลูโคส) น้ำตาลซูโครส ลดลงเช่นกัน แต่ข้าวหอมมะลิแดงเพิ่มขึ้น น้ำตาลฟรุคโตส ลดลงในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวหอมมะลิดำ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับข้าวกล้าเปลือกดำแต่น้ำตาลชนิดนี้เพิ่มขึ้นในข้าวกล้าเปลือกขาวกับชุดควบคุม แต่ไม่พบในข้าวหอมมะลิแดงและนางนวล แต่น้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้นในข้าวทุกชนิด และข้าวหอมมะลิแดงไม่มีน้ำตาลชนิดนี้ น้ำตาลอะราบินอสเพิ่มขึ้นในข้าวหอมมะลิดำ หอมมะลิแดง กล้าเปลือกดำ และนางนวล แต่ไม่พบในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวกล้าเปลือกขาว เนื่องจากน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ถูกย่อยและเกิดการใช้น้ำตาลในช่วงการหมัก เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อดังกล่าวเช่นเดียวกันกับเชื้อ

L. acidophilus LA-5

5.3 ผลกระทบต่อสกริมซินไบโอติก

5.3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของสกริมซินไบโอติก

5.3.1.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการละลายและเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟู ของสกริมซินไบโอติก

จากการวิเคราะห์อัตราการละลายของสกริมซินไบโอติก ผลดังตาราง 4.23 พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการละลายสกริมซินไบโอติก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสูตร 00 มีค่าสูงสุด คือ 1.63 ± 0.03 g/min รองลงมาคือ สูตร 20 สูตร 30 และสูตร 40 เท่ากับ 1.60 ± 0.01 , 1.58 ± 0.01 และ 1.56 ± 0.01 g/min ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การขึ้นฟู (% Over run) พบว่าสูตร 40 มีค่าสูงสุด คือ 96.52 ± 0.68 % รองลงมาคือ สูตร 30 สูตร 20 และ สูตร 00 เท่ากับ 93.72 ± 0.14 , 92.62 ± 0.27 และ 89.85 ± 0.14 ตามลำดับ การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการละลายกับเปอร์เซ็นต์ของการขึ้นฟู คือ เมื่อเปอร์เซ็นต์ของอัตราการละลายลดลง เปอร์เซ็นต์ของการขึ้นฟูจะสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Pelan (1997) นอกจากนี้ Goff (2003) พบว่าสารที่มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์และสารให้ความคงตัว ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ไข่แดงดิบ จะช่วยให้เม็ดไขมันเกาะกับอากาศและเกิดการขึ้นฟูได้ดี

5.3.1.2 ผลการวิเคราะห์ความหนืดของสกริมซินไบโอติก โดยใช้เครื่อง viscometer

จากการวิเคราะห์ ค่าความหนืดของสกริมซินไบโอติกดังตาราง 4.24 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากการแช่แข็งเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนั้นคือความหนืดไม่มีผลต่ออายุของการเก็บรักษาที่ -20°C ของสกริมทุกสูตร

5.3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีสกริมซินไบโอติก

5.3.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสกริมซินไบโอติกโดยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสกริมซินไบโอติก ผลดังตาราง 4.25 พบว่าค่าเฉลี่ยของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสกริมซินไบโอติก แตกต่างอย่างมี



นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาวันที่ 30 ที่ -20°C คือ ระหว่าง $26.00 \pm 0.00 - 35.00 \pm 0.00^{\circ}\text{Brix}$ โดยสูตรที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ สูตร 00 เท่ากับ 2°Brix และสูตรที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด คือ สูตร 40 เท่ากับ 0°Brix ซึ่งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ตามลำดับ เนื่องจากขั้นตอนการแช่แข็งจะหยุดกิจกรรมของทุกเซลล์ ส่งผลให้บางส่วน of เซลล์ตายไป แต่อย่างไรก็ตามอายุของการเก็บรักษาที่ -20°C นานขึ้น คือ 15 วันของการเก็บจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเล็กน้อย เท่ากับ 1°Brix

5.3.2.2 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรดของไอศกรีมซินไบโอติกโดยใช้เครื่อง pH-meter

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของไอศกรีมซินไบโอติก พบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรดต่าง (pH) ของไอศกรีมซินไบโอติก มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาที่ -20°C ในวันที่ 30 คือ ระหว่าง 0.01-0.03 โดยสูตรที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ สูตร 30 และ 20 เท่ากับ 0.03 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ไอศกรีมซินไบโอติกมีค่าน้อยมาก เนื่องจากขั้นตอนการแช่แข็งจะหยุดกิจกรรมของทุกเซลล์ ส่งผลให้บางส่วน of เซลล์ตายไป อย่างไรก็ตาม กลไกการผสมกระบวนการแช่แข็ง และการรวมตัวของออกซิเจน จะส่งผลต่อการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย ซึ่งส่งผลกระทบต่อ pH ของไอศกรีมซินไบโอติก (Salem, 2005) ในขณะเดียวกัน *L. acidophilus* LA-5 เป็นจุลินทรีย์สามารถสร้างกรดแลคติกในขั้นตอนการเตรียมนมหมักได้ จึงส่งผลทำให้ มีค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 5.65 หลังผสมเชื้อโพรไบโอติก (*L. acidophilus* LA-5) ในไอศกรีมซินไบโอติก วันที่ 1 ของการเก็บรักษาที่ -20°C มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดย สูตร 00 มีค่า pH ต่ำสุด คือ เท่ากับ 5.75 สูตร 20 เท่ากับ 5.87 สูตร 30 เท่ากับ 5.91 สูตร 40 เท่ากับ 5.95 ตามลำดับ ซึ่งค่า pH ส่งผลต่ออัตราการรอดชีวิตของโพรไบโอติก ดังนั้น สูตร 00 มีอัตราการรอดชีวิตสูงสุด รองลงมา คือ สูตร 20, 30 และ 40 ตามลำดับ

5.3.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านจุลินทรีย์ไอศกรีมซินไบโอติก

ผลการวิเคราะห์การรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* LA-5

การศึกษ้อัตราการรอดชีวิตของเชื้อโพรไบโอติกของตัวอย่างไอศกรีมซินไบโอติก ซึ่งผงข้าวกล้องงอกของชาวดอกมะลิ 105 เปรียบเทียบกับแป้งข้าวโพด ใช้เป็นโพรไบโอติก ผสมโพรไบโอติกในรูปของนมหมักคือ *L. acidophilus* LA-5 ในวันที่ 30 ของการเก็บรักษาที่ -20°C ดังภาพประกอบ 4.10 พบว่าแบคทีเรีย *L. acidophilus* LA-5 มีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อสิ้นสุดในสัปดาห์สุดท้าย พบว่าสูตร 20 (ผงข้าวชาวดอกมะลิ 105: corn; 20:20) มีอัตราการรอดชีวิต เท่ากับ 6.63 cfu/g สูตร 00 (ผงข้าวชาวดอกมะลิ 105: corn; 00:40) มีอัตราการรอดชีวิต เท่ากับ 7.80 cfu/g ตามลำดับ ซึ่งทั้งสูตร 20 และ 00 เท่านั้น มีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่า 10^6 cfu/g ของเชื้อโพรไบโอติกที่ได้ตามมาตรฐานสำหรับอาหารประเภทนี้ ส่วนสูตรอื่น ๆ เช่น สูตร 40 (ผงข้าวชาวดอกมะลิ 105: corn; 40:00) มีอัตราการรอดชีวิต เท่ากับ 3.16 cfu/g สูตร 30 (ผงข้าวชาวดอกมะลิ 105: corn; 30:10) มีอัตราการรอดชีวิต เท่ากับ 4.30 cfu/g ซึ่งมีอัตราการรอดชีวิตของเชื้อโพรไบโอติกต่ำกว่ามาตรฐาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Haroldo, (2007) พบว่าการเตรียมไอศกรีมโพรไบโอติกที่เติมเชื้อ 4% *L. acidophilus* เก็บไว้ที่ -25°C นาน 60 วัน มีอัตราการรอดชีวิต 87% Pandiyan, (2012) เตรียมไอศกรีม โดยเก็บรักษาที่ -18°C - $(-23)^{\circ}\text{C}$ นาน 0-15 วัน พบว่าทุก Treatments มี



แนวโน้มของอัตราการรอดชีวิตลดลง โดยเปรียบเทียบสูตรที่มีส่วนผสมของฟรุตโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) 30g กับสูตรไม่เติม FOS พบว่า ไอศกรีมที่เติม โพรไบโอติก *L. acidophilus* มีอัตราการรอดชีวิตสูงสุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา เท่ากับ 8.25 ± 0.03 cfu/mL สูงกว่าการเติม *L. acidophilus* ร่วมกับ *S. boulardii* เท่ากับ 7.55 ± 0.09 cfu/mL ขณะที่เติม FOS เพิ่มขึ้น พบว่าการเติม FOS 30 g เชื้อ *L. acidophilus* มีอัตราการรอดชีวิตในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา เท่ากับ 8.25 ± 0.03 cfu/mL ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) เมื่อเติม FOS เพิ่ม 50 g เมื่อเติมเชื้อ *L. acidophilus* ร่วมกับ *S. boulardii* เท่ากับ 8.33 ± 0.07 cfu/mL Akalin and Erisir (2008) พบว่าการเติมโอลิโกแซคคาไรด์ ช่วยเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของ *L. acidophilus* La-5 กับ *B. animalis* Bb-12 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) Hagen and Narvhus (1999) พบว่า การเก็บไอศกรีมผสมโพรไบโอติก (*L. acidophilus*) โดยการแช่แข็งที่ -18 - (-23) °C จำนวนโพรไบโอติกแบคทีเรียลดลงจาก 0.8 เป็น 0.7 log cfu/g Hekmat and McMahon (1992) การเก็บไอศกรีมผสม *L. acidophilus* เก็บรักษาโดยการแช่แข็งมากกว่า 12 สัปดาห์ พบว่าเชื้อโพรไบโอติกลดลง 2.23 log cfu/g การลดลงของจำนวนแบคทีเรีย เนื่องจากขั้นตอนการแช่แข็งจะหยุดกิจกรรมของทุกเซลล์ ส่งผลให้บางส่วนของเซลล์ตายไป อย่างไรก็ตาม กลไกการผสม กระบวนการแช่แข็ง และการรวมตัวของออกซิเจนส่งผลต่อการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (Salem, 2005) อย่างไรก็ตาม จำนวนเชื้อ *L. acidophilus* ในไอศกรีมซินไบโอติกหรือไอศกรีมผสมโพรไบโอติก เมื่อผ่านกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา มีการรอดชีวิตของเชื้อเหลือถึงระดับรักษาโรคได้ (10^6 cfu/g) ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกต่อผู้บริโภคไอศกรีมซินไบโอติกหรือไอศกรีมผสมโพรไบโอติก จะช่วยเพิ่มจุลินทรีย์ในลำไส้และช่วยให้ผู้บริโภคมีสุขภาพดี แบคทีเรีย *L. acidophilus* LA-5 มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษา เกิดจากการที่เซลล์ของแบคทีเรียถูกผลึกของน้ำแข็งทิ่มเซลล์ เมื่อมีการเก็บรักษาที่นานขึ้น รวมทั้งน้ำของไอศกรีมที่กลายเป็นน้ำแข็งก็ไม่สามารถเกิด metabolism ในเซลล์แบคทีเรียได้ (Dave and Shah, 1997) แต่เนื่องจาก *L. acidophilus* มีผนังเซลล์เป็นแกรมบวก ซึ่งเป็นลักษณะของจุลินทรีย์ที่สามารถทนต่อสภาวะการแช่แข็ง ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซินไบโอติก โดยแช่ที่อุณหภูมิ -20 °C จึงทำให้การลดปริมาณของเชื้อ *L. acidophilus* เกิดขึ้นได้ช้ามาก (Adams and Moss, 2000)

5.3.4 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซินไบโอติก

ผลการประเมินความชอบของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซินไบโอติก

จากการผลิตไอศกรีมซินไบโอติกโดยเติมปริมาณผงแป้งข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0, 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนัก และประเมินค่าคะแนนความชอบทางด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 7-point hedonic scale (ตาราง 2.29) พบว่าคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ด้านกลิ่น ความมัน ความเหนียวหนืด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าคะแนนความชอบด้านสี ความเรียบ ความเหนียว การละลายในปาก และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าคะแนนความชอบด้านความเรียบเนียนในระดับความชอบปานกลาง (5.80) ของสูตร 30 ที่มีการเติมปริมาณผงแป้งข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 ร้อยละ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร 00 (5.00) ที่มีการเติมปริมาณผงแป้งโพดร้อยละ 4 ส่วนค่าคะแนนความชอบการละลายในปากระดับปานกลาง (5.44) สูตร 40 ที่มีการเติมปริมาณผงแป้งข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 ร้อยละ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร 00 (5.00) ที่มีการเติมปริมาณผง



ข้าวโพดร้อยละ 4, 2(4.76), 1(5.08) และ 0(5.44) ตามลำดับ และค่าคะแนนความชอบโดยรวมระดับปานกลาง (5.84) สูตร 40 สูตร 30 (5.60) และสูตร 20 (5.72) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร 00 (4.64) ที่มีการเติมปริมาณผงข้าวโพดร้อยละ 4 นอกจากนี้ยังพบว่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมชินไปโอติกผู้บริโภคมักมีความชอบโดยรวมสูงสุดสำหรับทุกสูตรที่มีส่วนประกอบของผงข้าวกล็องงอกขาวดอกมะลิ 105 มากกว่าสูตรที่มีส่วนประกอบของผงแป้งข้าวโพด ทั้งนี้เนื่องจากไอศกรีมชินไปโอติกที่มีส่วนผสมผงข้าวโพดมีลักษณะเรียบเนียน แต่เหนียว จึงทำให้เนื้อไอศกรีมเหนียวแข็ง เนื้อสัมผัสไม่นุ่มแต่ไม่เหนียวหนืด ส่งผลต่อการละลายในปากจะละลายในปากได้ต่ำกว่าสูตรที่มีผงแป้งข้าวกล็องงอกขาวดอกมะลิ 105 เป็นส่วนประกอบ



เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

- กุหลาบ สิทธิสวนจิกร. (2553). แปะทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์: แปะเพื่อสุขภาพ. *วารสารก้าวหน้า* ไลภวิทยาสาสตร์, 10(2), 70-79.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2546). เทคโนโลยีของแป้. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรสาสตร์.
- จารุรัตน์ สันเตวรนุช ศรีเจษฎารักษ์ และรัชฎา ตั้งวงศ์ไชย. (2550). ผลของกระบวนการแช่และการรอกของข้าวกล้อง (หอมมะลิ 105) ต่อปริมาณสารแถมมาอะมีโนเอซิดในข้าวกล้องรอก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 38(6), 103-106.
- ชนินันท์ วรรณะหทัย. (2542). การเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้ที่ได้จากพันธุ์ข้าวไทย และการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฐิรุฒิ เสนาคำ และพรพนา ก๊วยเจริญ. (2539). พันธุ์กรรมข้าว: บทบาทการอนุรักษ์และการพัฒนาโดยชุมชน. กรุงเทพฯ: พิมพ์ดี.
- เดชา ศิริภัทร. (2550). ข้าวกล้องรอก...มหัศจรรย์ของขวัญสุขภาพจากผืนดิน. สุพรรณบุรี: มูลนิธิข้าวขวัญ จังหวัดสุพรรณบุรี.
- ธารรัตน์ ศุภกิจ. (2542). แปะที่เรียเพื่อสุขภาพ. *วารสารวิทยาศาสตร์*, 53(6), 357-360.
- นิพัทธา ขาติสุวรรณ และวิพัสย์ อาริกุล. (2553). พารามิเตอร์สีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรสาสตร์ ครั้งที่ 48 : สาขาคูตสาหกรรมเกษตร ระหว่าง 3-5 ก.พ. 2553. 252-260.
- ผกากรอง ขวัญข้าว. (ม.ม.ป.). กรรมวิธีการเพาะรอกและประโยชน์ของข้าวรอกต่อสุขภาพ. ม.ป.ท.: โรงพยาบาลอภัยภูเบศร.
- พัชรื ตั้งตระกูล, วารุณีวารัฎฐานนธ์, วิชาสุโรจนะเมธากุล และลัดดาวัฒนศิริธรรม. (2549). การเพิ่มปริมาณกรดแอมิโนบิวเทริกในคัพพะข้าวเจ้าและข้าวเหนียวโดยการแช่น้ำ. สถาบันคั่นควาและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรสาสตร์.
- พัสกร เจียรตระกูล เมธิณี เห่วซึ่งเจริญ และศุภศักดิ์ ลิมปิตี. (2546). ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 34(4-6), 149-152.
- พันธ์ระวี หมวดศรี. (2551). การศึกษาคุณสมบัติการเป็นสารฟิโรโอติคจากพืชหัวในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ปาริชาติ หิรัญพงษ์และวรรณา ตั้งเจริญชัย. (2551). ผลของการรอกต่อปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวกล้องสามสายพันธุ์. ภาคคูตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ: เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2525). พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525. กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์



- วรรณ ตังเจริญ และคณะ. (2552). *ข้าวกล้องงอกไทยศาสตร์ใหม่แก้ปัญหาของชาวนาลำค่าจากผืนนาและแผ่นดิน*. กรุงเทพฯ: ศูนย์การพัฒนาความรู้.
- วรรณวิไล ฤทธิเดช. (2550). *ผลของการงอกที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณภาพการหุงต้ม และคุณภาพการรับประทานของข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวกล้องมันปู*. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- มลศิริ วิโรทัย. (2545). *เทคโนโลยีการอาหารสุขภาพ*. กรุงเทพฯ: พัฒนาคณาพิวิชาการ (พว.).
- สุดารัตน์ เจียมยังยืน. (2550). *ผลของการงอกต่อสมบัติและการเปลี่ยนแปลงทางคุณค่าอาหารบางประการของข้าวกล้องหอมมะลิไทย*. พิษณุโลก: ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สุญาณีพงษ์ ธนาภิกร. (ม.ป.พ.). *พรีไบโอติก (Prebiotics) จุลินทรีย์เพื่อสุขภาพ*. [ออนไลน์] ได้จาก: <http://orangezinetoday.blogspot.com/2012/05/prebiotics.html> [สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2555].
- สำนักวิจัยและพัฒนา. (2555). *ผลการพยากรณ์การผลิตข้าวนาปี 2555 (ปีการเพาะปลูก 2555/2556) เดือน ธันวาคม 2555. วารสารพยากรณ์ผลผลิตการเกษตร, 27, 4.*
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2532). *ข้าวสาลี*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). *ข้าว*. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อภิชาติ วรรณวิจิตร. (2549). จาก “ข้าวกล้อง” ไร้คนสนใจสู่ “ไรซ์เบอร์รี่” ธัญพืชด้านอนุมูลอิสระ. [ออนไลน์] ได้จาก: <http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?News> [สืบค้นเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2555].
- AOAC. (1990). *Official Method of Analysis*. 19th ed. Viginia: Association of Official Analytical Chemiss, Inc., p.1141.
- Akalin, A. S., Fenderya, S., and Akbulut, N. (2004). Viability and Activity of Bifidobacteria in Yoghurt Containing Fructooligosaccharide During Refrigerated Storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 39 : 613–621.
- Alexander, J.W. (1995). Specific nutrients and the immune response. *Nutrition* 11 : 229–232.
- Akin, M.B., Akin, M.S. and Kirmaci, Z. (2007). Effect of Inulin and Sugar Levels on the Viability of Yogurt and Probiotic Bacteria and the Physical and Sensory Characteristics in Probiotic Ice-Cream. *Food Chemistry*, 104, 93-99.
- Arora, Sonia, Jood, Sudesh and Khetarpaul, N. (2010). Effect of Germination and Probiotic Fermentation on Nutrient Composition of Barley Based Food Mixtures. *Food Chemistry*, 119, 779-784.



- Axelsson L. (2004). *Classification and Physiology, in Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects*. 3rd ed. New York, NY: Marcel Dekker, p. 1–66.
- Adams, M.R. and M.O. Moss. (2000). *Food Microbiology*. 2nd ed. Athenacum Press Ltd, Cambridge.
- Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P. (2004). *Bibliography Food Chemistry*. 3rd ed. New York: Springer Berlin, Heidelberg.
- Beynum and Roels. (1985). *Starch Conversion Technology*. s.l.: Marcel Dekker, Inc.
- Bhattacharya, K.R. (1985). *Parboiling of Rice*. Minnesota: The American Association of Cereal Chemists, Inc.
- Bielecka, M., E. Biedrzycka and A. Majkowska. (2002). Selection of Probiotics and Prebiotics for Synbiotics and Confirmation of their in Vivo Effectiveness. *Food Research International*, 35, 125-131.
- Bird, AR, Brown, IL and Topping, DL. (2006). Low and High Amylose Maize Starches Acetylated by a Commercial or a Laboratory Process Both Deliver Acetate to the Large Bowel in Rats. *Food Hydrocolloids*, 20, 1135-1150.
- Brennan, M.A., I. Mert, J. Monro, J. Woolnough and C.S. Brennan. (2008). Impact of Guar Gum and Wheat Bran on The Physical and Nutritional Quality of Extruded Breakfast Cereals. *Starch/Starke*, 60, 248–256.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate antioxidant Activity. *Journal Food Science Technology*, 28, 25-30.
- Bravo, L. (1998). Polyphenol : Chemistry, Dietary Sources, Metabolism and Nutritional Significance. *Nutrients Review*, 56, 317-333.
- Brouns, F., Kettlitz, B. and Arrigoni, E. (2002). Resistant Starch and “the Butyrate Revolution”. *Trends Food Science Technology*, 13, 251-261.
- Bruno, A., Lankaputhra, W. E. V. and Shah, N. P. (2002). Growth, Viability and Activity of Bifidobacterium Spp. In Skimmilk Containing Prebiotics. *Journal of Food Science*, 67, 2740–2744.
- Champagne E.T., Brenda, G.L. et al. (1998). Effects of Postharvest Processing on Texture Profile Analysis of Cooked Rice. *Cereal Chemistry*, 75, 181 - 186.



- Champagne, E.T., Wood, D.F., Juliano, B.O. and Bechtel, D.B., (2004). The Rice Grain and its Gross Composition. *Rice American Association of Cereal Chemistry*, 5, 77 - 107.
- Charoenthaikij, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Piyachomkwan, K., Tungtrakul, P. and Prinyawiwatkul, W., (2009). Germination Conditions Affect Physicochemical Properties of Germinated Brown Rice Flour. *Journal of Food Science*, 74, 658-665.
- Cheng, Hsing-Hsien and Lai, Ming-Hoang. (2000). Fermentation of Resistant Rice Starch Produces Propionate Reducing Serum and Hepatic Cholesterol in Rats. *Journal Nutrients*, 130(8), 1991-1995.
- Chen, Hasiao-Ling PhD, et al. (2001). Effects of Isomalto-Oligosaccharides on Bowel Functions and Indicators of Nutritional Status In Constipated Elderly Men. *Journal of the American College of Nutrition*, 20(1), 44-49.
- Cho, Hyun M, Park S, et al. (2007). Extracellular Secretion of a Maltogenic Amylase From *Lactobacillus Gasseri* Atcc33323 In *Lactococcus Lactis* Mg1363 and Its Application on the Production of Branched Maltooligosaccharides. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(9), 1521-1526.
- Chockchaisawasdeea, S. and Poosaranb, N. (2012). Production of Isomaltooligosaccharides From Banana Flour. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 93, 180-186.
- Choi, Y., Jeong, H.S. and Lee, J. (2007). Antioxidant Activity of Methanolic Extracts From Some Grains Consumed in Korea. *Food Chemistry*, 103, 130-138.
- Cody, T. L., Olabi, A., Pettingell, A. G., Tong, P. S. and Walkers, J. H. (2007). Evaluation of Rice Flour for Use in Vanilla Ice Cream. *Journal Dairy Science*, 90, 4575-4585.
- Cook, D. (2006). *Hydrocolloids-Sweetener Interaction in Food Products Optimizing Sweet Taste in Foods*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- Cruz, A.G., Antunes, A.E.C., Sousa, A.L.O.P., Faria, J.A.F. and Saad S.M.I. (2009). Ice-Cream as a Probiotic Food Carrier. *Food Research International*, 42, 1233-1239.
- Cummings, J. H. and Macfarlane, G. T. (1991). The Control and Consequences of Bacterial Fermentation in the Human Colon. *Journal Apply Bacterially*, 70(6), 443-459.



- Dave, R.I. and Shah, N.P. (1997). Viability of Yoghurt and Probiotic Bacteria in Yoghurts Made From Commercial Starter Cultures. *International Dairy Journal*, 7, 31-41.
- Dziezak, J. D. (1988). Microencapsulation and Encapsulated Ingredients. *Food Technology*, 4, 136-159.
- Davis, J. G., Ashton, T. R. and McCaskill, M. (1971). Enumeration and Viability of *Lactobacillus Bulgaricus* and *Streptococcus Thermophilus* in Yoghurt. *Dairy Industries*, 36, 569-573.
- De Vos, P., Faas, M.M., Spasojevic, M. and Sikkema, J. (2010). Encapsulation for Preservation of Functionality and Targeted Delivery of Bioactive Food Components. *International Dairy Journal*, 20, 292-302.
- Donkor, O.N., Henriksson, A., Vasiljevic, T. and Shah, N.P. (2006). Effect of Acidification on the Activity of Probiotics in Yoghurt During Cold Storage. *International Dairy Journal*, 16(10), 1181-1189.
- Donkor, O.N., Henriksson, A. and Shah, N.P. (2007). Galactosidase and Proteolytic Activities of Selected Probiotic and Dairy Cultures In Fermented Soymilk. *Food Chemistry*, 104, 10-20.
- El-Nagar, G., Clowes, G., Tudorica, C. M., Kuri, V. and Brennan, C. S. (2002). Rheological Quality and Stability of Yogurt - Ice Cream With Added Inulin. *International Journal of Dairy Technology*, 55(2), 89-93.
- Espinosa-Martos, I., Rico, E. and Ruperez, P. (2006). Note Low Molecular Weight Carbohydrates In Foods Usually Consumed in Spain. *Food Science Technology International*, 12(2), 171-175.
- FAO/WHO. (2001). *Report on Joint FAO/WHO Expert Consultation on Evaluation of Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food Including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria*. s.l.: s.n.
- Farooq, Umar, Mohsin, Muhammad, Xiaoming, Liu and Zhang, Hao. (2013). Enhancement of Short Chain Fatty Acid Production from Millet Fibres by Pure Cultures of Probiotic Fermentation. *Journal of Pharmaceutical Research*, 12(2), 189-194.
- Fávaro-Trindade, C.S. and Grosso, C.R.F. (2002). Microencapsulation of *L. Acidophilus* (LA-05) and *B. Lactis* (BB-12) and Evaluation of Their Survival at the Ph Values of the Stomach and in Bile. *Journal Microencapsulation*, 19, 485-494,



- Ferguson M.J. and Jones G.P. (2000). Production of Short-Chain Fatty Acids Following In Vitro Fermentation of Saccharides, Saccharide Esters, Fructo-Oligosaccharides, Starches, Modified Starches and Non-Starch Polysaccharides. *Journal Science Food Agriculture*, 80(1), 166–170.
- Fogarty, W.M. (1983). *Microbial Amylases*. London: Applied Science.
- Fogarty, W.M. and Kelly, C.T. (1979). Starch-Degrading Enzymes of Microbial Origin. In *Progress in Industrial Microbiology*, 15, 87-150.
- Fook, J.L., Fuller, R. and Gibson, R.G. (1999). Prebiotics, Probiotics and Human Gut Microbiology. *International Dairy Journal*, 9, 53-61.
- Frankel, E.N. and Meyer, A.S. (2000). The Problems of Using One- Dimensional Methods to Evaluate Multifunction Food and Biological Antioxidants. *Journal Science Food Agriculture*, 80(1), 1925-1941.
- Fuller, R. (1989). Probiotic in Man and Animal. *Journal of Applied Bacteriology*, 5(2), 512-518.
- Gänzle M. G. (2012). Enzymatic Synthesis of Galactooligosaccharides and other Lactose Derivatives (Hetero-Oligosaccharides) From Lactose. *Nternational Dairy Journal*, 22, 116–122.
- Gänzle, M. G. and Follador, Rainer. (2012). Metabolism of Oligosaccharides and Starch In Lactobacilli : A Review. *Frontiers in Microbiology*, 340(3), 1-15.
- Gibson, G. R. (2004). Prebiotic. *Journal Gastroenterology Supplely*, 18, 287-298.
- Gibson, G. R. and Roberfroid, M.B. (1995). Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota; Introducing the Concept of Prebiotics. *Journal of Nutrition*, 125, 1404-1412.
- Gibson, R. S and Ferguson, E. L. (1996). *Food Processing Methods For Improving The Zinc Content And Bioavailability of Home-Based and Commercially Available Complementary Foods*. Washington. DC.: s.l.
- Gill, S.H., Rutherford, J., Cross, L. and Gopal, P.K. (2001). Enhancement of Immunity In The Elderly by Dietary Supplementation With The Probiotic Bifidobacteriumlactis HN 019. *American Journal of Clinical Nutrition*, 74, 833-839.
- Goderaka, K., Nowak, J. and Czarnecki, Z. (2008). Comparison of the Growth of Lactocillus Acidophilus and Bifidobacterium Bifidum Species In Media Supplemented With Selected Saccharides Including Prebiotics. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 7(2), 5-20.
- Goff, H.D. (1997). Colloidal Aspects of Ice Cream - A Review. *International Dairy Journal*, 7, 363–373.



- Goffin D, Delzenne N, Blecker C, Hanon E. (2008). Enzymatic Polishing of Rice: A New Processing Technology. *Food Science and Technology*, 41, 2079-2084.
- Gomes, A. and Malcata, F. X. (1999). Bifidobacterium Spp and Lactobacillus Acidophilus Biological, Biochemical, Technological and Therapeutically Properties Relevant For Use as Probiotics. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 139-157.
- Goni, I., A.G. Alonso and F.S. Calixto. (1997). A Starch Hydrolysis Procedure To Estimate Glycemic Index. *Nutrition Research*, 17(3), 427-437.
- Grosso, C.R.F. and Favaro-Trindade, C.S. (2004). Stability of Free and Immobilized Lactococcus Lactis. *Biotechno Bioeng*, 42, 1157-1163.
- Guarner, F. and Schaafsma, G. J. (1998). Probiotics. *International Journal of Food Microbiology*, 39, 237-238.
- Hammes W. P., Hertel, C. (2006). The Genera Lactobacillus and Carnobacterium. *Prokaryotes*, 4, 320-403.
- Hang, Y.D. and Woodams, E.E. (1995). Enzymatic Production of Panose From Maltose by Glucosyltransferase From Aspergillus Foetidus. *Biotechnology Letters*, 17, 1335-1336.
- Haroldo, M., Costa, S.S.M., Flores, M. and Pizarro, O. (2007). Viability of Microorganism (Lactobacillus Acidophilus La-5 and Bifidobacterium Animalis Subsp. Lactis Bb-12) In Ice Cream. *Iranian Journal Public Health*, 33, 1-7.
- Haynes, I. N. and Playne, M. J. (2002). Survival of Probiotic Cultures In Low-Fat Icecream. *Australian Journal of Dairy Technology*, 57, 10-14.
- Heller, J. K. (2001). Probiotic Bacteria in Fermented Foods : Product Characteristics and Starter Organisms. *American Journal of Clinical Nutrition*, 73(Supply), 374S-379S.
- Heenan, C.N., Adamsa, M.C., Hoskena, R.W. and Fleet, G.H. (2004). Survival and Sensory Acceptability of Probiotic Microorganisms In A Non-Fermented Frozen Vegetarian Dessert. *LWT - Food Science and Technology*, 37, 461-466.
- Hekmat, S. and McMahon, D. J. (1992). Survival of Lactobacillus Acidophilus and Bifidobacterium Bifidum In Ice-Cream for use as Probiotic Food. *Journal of Dairy Science*, 75, 1415-1422.
- Higgins, JA. (2004). Resistant Starch : Metabolic Effects and Potential Health Benefits. *Journal AOAC International*, 87(3), 761-768, May-June.



- Homayouni, A., Azizi, A., Ehsani, M.R., Yarmand, M.S. and Razavi, S.H. (2008). Effect of Microencapsulation and Resistant Starch on the Probiotic Survival and Sensory Properties of Synbiotic Ice Cream. *Food Chemistry Journal*, 111, 50-55.
- Homayouni, A., Ehsani, M.R., Azizi, A., Yarmand, M.S. and Razavi, S.H. (2007). Effect of Lecithin and Calcium Chloride Solution on the Microencapsulation Process Yield of Calcium Alginate Beads. *Iranian Polymer Journal*, 16(9), 597-606.
- Huebner, J., Wehling, R.L. and Hutkins, R.W. (2007). Functional Activity of Commercial Prebiotics. *International Dairy Journal*, 17(7), 770-775.
- Hussain, A., Claussen, B., Ramachandran, A. and Williams, R. (2007). Prevention of Type 2 Diabetes: A Review. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 76, 317-326.
- Itsaranuwat P., Al-Hadad K. and Robinson R.K. (2003). The Potential Therapeutic Benefits of Consuming 'Health-Promoting' Fermented Dairy Products: A Brief Update. *International Journal of Dairy Technology*, 56(4), 203-210.
- Jaya, S. and Das, H. (2003). A Vacuum Drying Model for Mango Pulp. *Drying Technology*, 21(7), 1215-1234.
- Juliano, B.O. (1990). Rice Grain Quality : Problems and Challenges. *Cereal Foods World*, 35, 245-253.
- . (1993). Rice Consumption and Nutrition Problem in Rice-Consuming Countries; Rice in Human Nutrition. *Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, 25, 17-34.
- Juliano, C., Cossu, M., Alammnni, M.C. and Piu, L. (2005). Antioxidant Activity of γ -orzanol : Mechanism of Action and its Effect on Oxidative Stability of Pharmaceutical Oils. *International Journal Pharmaceutical*, 299, 146-154.
- Kailasapathy, K. and Rybka, S. (1997). L. Acidophilus and *Bifidobacterium* spp. Their Therapeutic Potential and Survival in Yoghurt. *Australian Journal of Dairy Technology*, 52, 28-35.
- Ketabi A., Dieleman L. and Gänzle M. G. (2011). Influence of Isomalto-Oligosaccharides on Intestinal Microbiota in Rats. *Journal Apply Microbiology*, 110, 1297-1306.



- Kerr, L. M. H. and Levvy, G. A. (1950). The Preparation and Properties of β -Glucuronidase 1. The Fractionation of Buffered Water Homogenates. *Biochemist Journal*, 48, 209-216.
- Kim, M.J. et al. (2007). Relationship Between Phenolic Compounds, Anthocyanins Content and Antioxidant Activity in Colored Barley Germ Plasma. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 55, 4802-4809.
- Kneifel W, Rajal F. and Kulbe, KD. (2000). In Vitro Growth Behaviour of Probiotic Bacteria in Culture Media with Carbohydrates of Prebiotic Importance. *Microbes. Ecology Health District*, 12, 27-34.
- Kolida, S., Tuohy, K. and Gibson, G. R. (2000). The Human Gut Flora in Nutrition and Approaches for its Dietary Modulation. *British Journal Nutrition*, 25, 223-231.
- Komastsuzaki, N. K. et al. (2007). Effect of Soaking and Gaseous Treatment on GABA Content in Germinated Brown Rice. *Journal of Food Engineering*, 78, 556-560.
- Kurmann, J. A. and Rasic, J. L. (1991). *The Health Potential of Products Containing Bifidobacteria*. London, UK.: Therapeutic Properties of Fermented Milks.
- Laroia, S. and Martin, J. H. (1991). Effect of pH on Survival of Bifidobacterium Bifidum and Lactobacillus Acidophilus in Frozen Fermented Desserts. *Cultured Dairy Products Journal*, 26, 3-21.
- Law Less, H. T. and Heymann, H. (1998). *Sensory Evaluation of Food : Principles and Practices*. New York: Chapman & Hall.
- Le Leu, R. K. et al. (2005). A Synbiotic Combination of Resistant Starch and Bifidobacterium Lactis Facilitates Apoptotic Depletion of Carcinogen-Damaged Cells in Rat Colon. *Journal of Nutrition*, 135, 996-1001.
- Lilly, D.W. and Stillwell, R.H. (1965). Probiotics : Growth Promoting Factors Produced by Microorganisms. *Science*, 147, 747-748.
- Lopez, H. W. et al. (2000). Fructooligosacchride Enhance Mineral Absorption and Counteract the Deleterious Effects of Phytic Acid on Mineral Homeostasis in Rats. *Journal Nutrition Biochemist*, 11, 500-508.
- Niba, Lorraine L. (2002). Resistant Starch : A Potential Functional Food Ingredient. *Nutrition and Food Science*, 32(2), 62 - 67.
- Lourens-Hattingh, A. and Viljeon, C. B. (2001). Yoghurt as Probiotic Carrier Food. *International Dairy Journal*, 11, 1-17.



- Macfarlane, G. T., Macfarlane, S. and Gibson, G.R. (1998). Validation of a Tree-Stage Compounds Continuous Culture System for Investigating the Effect of Retention Time on the Ecology and Metabolism of Bacteria in the Human Colon. *Microbial Ecology*, 35, 180-187.
- Madureira, A.R. et al. (2005). Survival of Probiotic Bacteria in a Whey Cheese Vector Submitted To Environmental Conditions Prevailing In The Gastrointestinal Tract. *International Dairy Journal*, 15, 921-927.
- Makarova, K. et al. (2006). Comparative Genomics of Lactic Acid Bacteria. *Processing Natlion Academy Science*, 103, 15611–15616.
- Marshall, W. E. and Wadsworth, J. I. (1994). *Rice Science and Technology*. New York: Marcel Dekker.
- Marshall, R.T. and Arbuckle, W.S. (1996). *Ice Cream*. 5th ed. New York: Chapman & Hall.
- Marshall, R.T., Goff, H.D. and Hartel, R.W. (2003). *Ice Cream*. New York: Springer.
- Martensson, O., Öste, R. and Holst, O. (2002). The Effect of Yoghurt Culture on The Survival of Probiotic Bacteria In Oat-Based, Non-Dairy Products. *Food Research International*, 35, 775-784.
- Miyazato, Shoko. Et al. (2010). Primitive Effects of Resistant Maltodextrin on Apparent Absorption of Calcium, Magnesium, Iron And Zinc In Rats. *European Journal of Nutrition*, 49, 165–171.
- Moongngarm, Anuchita. and Saetung, Nattawat. (2010). Comparison of Chemical Compositions and Bioactive Compounds of Germinated Rough Rice and Brown Rice. *Food Chemistry*, 122(3), 782–788.
- Morais, MB. et al. (1996). Effect of Resistant Starch and Digestible Starch on Intestinal Absorption of Calcium, Iron and Zinc In Infant Pigs. *Paediatr Res*, 39(5), 872–886.
- Mussatto, S. I. and Mancilha, I. M. (2007). Non-Digestible Oligosaccharides : A Review. *Carbohydrate Polymers*, 68, 587–597.
- Muse, M. R. and Hartel, R. W. (2004). Ice Cream Structural Elements That Affect Melting Rate And Hardness. *Journal of Dairy Science*, 87, 1-10.
- Nabarlantz, D., Ebringerova', A. and Montane', D. (2007). Autohydrolysis of Agricultural Byproducts for the Production of Xylo-Oligosaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 69, 20-28.
- Nacos, M. et al. (2006). Kenaf Xylan – A Source of Biologically Active Acidic Oligosaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 66, 126-134.



- Nakakuki, T. (1995). Properties and uses of Oligosaccharides. *Oyo\Toshitsu Kagaku*, 42, 275-283.
- Niness, K. R. (1999). Inulin and Oligofructose: What are they?. *Journal of Nutrition*, 129, 1402S-1406S.
- Nirmal, Ghost. (2008). *Thailand to Set Aside More Land for Farming; it Plans to Increase Rice Production and Stop Conversion of Agricultural Land*. Singapore: The Straits Times.
- Oatway, L., Vasanthan, T. and Helm, J. H. (2001). Phytic Acid. *Food Reviews International*, 17, 419-431.
- Ohtsubo, K., Suzuki, K., Yasui, Y. and Kasumi, T (2005). Bio-Function Components in The Processed Pre-Germinated Brown Rice by a Twin-Screw Extruder. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18,: 303-316.
- Olano-Martin, E., Mountzouris, K. C., Gibson, G. R. and Rastall, R. A. (2000). In Vitro Fermentability of Dextran, Oligodextran and Maltodextrin by Human Gut Bacteria. *British Journal of Nutrition*, 83, 247-255.
- Ozcan Tulay, Yilmaz-Ersan, Lutfiye, et al. (2010). Viability of Lactobacillus Acidophilus LA-5 and Bifidobacterium Bifidum BB-12 in Rice Pudding. *Mijekarstvo*, 60(2), 135-144.
- Pandiyani, C. (2012). Development of Synbiotic Ice Cream Incorporating Lactobacillus Acidophilus and Saccharomyces Boulardii. *International Food Research Journal*, 19(3), 1233-1239.
- Patel, Brijal. Patel, Miral and Krishnamurthy R. (2013). Isomaltooligosaccharide : a Prebiotic Compound Beneficial for Health. *Journal of Microbiology*, 2(2), 10-14.
- Parker, R.B. (1986). Probiotics : Production Efficiency And Animal Health. *Animal Nutrition*, 4, 55-60.
- Panesar P, Kumari S and Panesar R. (2011). Prebiotics: Current Status and Perspectives. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 1(1), 181-192.
- Pennacchia C., Vaughan EE. and Villani, F. (2006). Potential Probiotic Lactobacillus Strains From Fermented Sausages : Further Investigations on Their Probiotic Properties. *Meat Science*, 73, 90-101.
- Playne MJ, Crittenden RG. (1996). Production, Properties and Applications of Food-Grade Oligosaccharides. *Trends in Food Science and Technology*, 7, 353-361.



- Phakkhateema, S. and Kongkarn, K. (2000). Optimization of Prebiotics in Soybean Milk Using Mixture Experiments. *Songklanakarin Journal of Science Education and Technology*, 31(5), 481-490.
- Pongjanta J., Utaipattanaceep, A., Naivikul O. and Piyachomkwan K. (2008). In Vitro Starch Hydrolysis Rate, Physico-Chemical Properties and Sensory Evaluation of Butter Cake Prepared Using Resistant Starch Type III Substituted for Wheat Flour. *Mal Journal Nutrition*, 14(2), 199–208.
- Pongjanta, Jirapa, Utaipattanaceep, An, Naivikul, O. and Piyachomkwan, K. (2009). Debranching Enzyme Concentration Effected on Physicochemical Properties and α -Amylase Hydrolysis Rate of Resistant Starch Type III From Amylose Rice Starch. *Carbohydrate Polymers*, 78, 5–9.
- Qiang, Xu, YongLie, Chao, QianBing Wan. (2009). Health Benefit Application of Functional Oligosaccharides : Review. *Carbohydrate Polymers*, 77, 435-441.
- Raj, S. A. and Singaravadival, R. (1979). Influence of Soaking and Steaming on the Loss of Simple Constituents In Paddy. *Journal of Food Science and Technology*, 17, 141-143.
- Reddy, R.M.; Reddy, P.G. and Seenayya, G. (1999). Enhanced Production of Thermostable α -Amylase and Pullanase in the Presence of Surfactants by *Clostridium .Thermosul Furogenes* SV2. *Process Biochemistry*, 34(1), 87-92.
- Regand, A. and Goff, H. D. (2003). Structure and Ice Recrystallization in Frozen Stabilized Ice Cream Model Systems. *Food Hydrocolloids*, 17, 95-102.
- Rhodes, Jonathan M. and Campbell, Barry J. (2002). Inflammation and Colorectal Cancer : IBD-Associated and Sporadic Cancer Compared Molecular Medicine. *Journal of Food Science*, 8(1), 10-16.
- Rycroft, C. E., Jones, M. R., Gibson, G. R. and Rastall, R. A. (2001). A Comparative In Vitro Evaluation of The Fermentation Properties of Prebiotic Oligosaccharide. *Journal of Applied Microbiology*, 91, 878-887.
- Scheppach, W. (2014). Effects of Short Chain Fatty Acids on Gut Morphology and Function. *Journal of Gut 1994*, 35, S35-S38.
- Shyama, R., Rao, Prasad, and Muralikrishna, G. (2004). Non-Starch Polysaccharide–Phenolic Acid Complexes From Native And Germinated Cereals And Millet. *Food Chemistry*, 84, 527-531.
- Scheppach, S. 2014. Effects of Short Chain Fatty Acids on Gutmorphology and Function. *Journal of Gut 1994*, 1, S35-S38.



- Saman, Premasuda, Antonio, Jose, Zquez, V. and Pandiell, Severino S. (2008). Controlled Germination to Enhance the Functional Properties of Rice. *Process Biochemistry*, 43, 1377–1382.
- Sajilata, M.G., Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R. (2006). Resistant Starch : A Review Comprehensive. *Reviews in Food Science and Food Safety*, 5, 1-17.
- Sakurai, K., Kokub, S., Hakamata, K., Tomita, M. and Yoshida, S. (1996). Effect of Production Conditions on Ice Cream Melting Resistance and Aridness. *Milchwissen Schaft*, 51(8), 451-454.
- Samaržija, D. et al. (2009). Probiotic Bacteria in Prevention and Treatment of Diarrhea. *Mljekarstvo*, 59(1), 28-32.
- Saman, P., Achara Chaiongkarn, A., Moonmangmee, S. and Artjariyasripong, S. (2012). Prebiotic Isomalto-Oligosaccharide Production From Economic Crops of Thailand, *KKU Research Journal*, 17(5), 794-799.
- Saminathan, M., Sieo, C.C., Kalavathy, R., Abdullah, N. and Ho, Y.W. (2011). Effect of Prebiotic Oligosaccharides on Growth of Lactobacillus Strains Used as a Probiotic for Chickens. *African Journal of Microbiology Research*, 5(1), 57-64.
- Sanchez, JI. et al. (2009). Arabinoxylan-Oligosaccharides (AXOS) Affect the Protein/Carbohydrate Fermentation Balance and Microbial Population Dynamics of the Simulator of Human Intestinal Microbial Ecosystem. *Microbiology Biotechnology Journal*, 2(1), 101-113.
- Shah, N. P. (2001). Functional Foods, Probiotics and Prebiotics. *Food Technology*, 55, 46–53.
- Shahidi, F., P.K. Janitha and Wanasundara, P.D. (1992). Phenolic Antioxidants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32, 67-103.
- Scheppach, S. (2014). Effects of Short Chain Fatty Acids on Gut morphology and Function. *Journal of Gut 1994*, 1, S35-S38.
- Shelp BJ, Bown AW. and Mclean MD. (1999). Metabolism and Function of γ -Aminobutyric Acid. *Trends Plant Science*, 4, 446-452.
- Sies, H. (1991). Oxidative Stress : From Basic Research To Clinical Application. *American Journal Medicine*, 91, 31S-8S.
- Shin, H. S. et al. (2000). Growth and Viability of Commercial Bifidobacterium Spp. In Skimmilk Containing Oligosaccharides and Inulin. *Journal of Food Science*, 65, 885–887.
- Shoichi, I. (2004). Marketing of Value-Added Rice Products in Japan : Germinated Brown Rice And Rice Bread. *FAO Rice Conference*, 5, 1-10.



- Silvi, S., Rumney, C. J., Cresci, A. and Rowland, I.R. (1999). Resistant Starch Modifies Gut Microflora and Microbial Metabolism in Human Flora-Associated Rats Inoculated With Faeces From Italian and UK Donors. *Journal Apply Microbiology*, 86, 521-30.
- Sako, T., K. Mastumoto, and R. Tanaka. (1999). Recent Progress on Research and Applications of Non-Digestible Galacto-Oligosaccharides. *International Dairy Journal*, 9, 69–80.
- Soukoulis, C., Chandrinos, I. and Tzia, C. (2008). Study of the Functionality of Selected Hydrocolloids and Their Blends With K-Carrageenan on Storage Quality of Vanilla Ice Cream. *LWT – Food Science and Technology*, 41, 1816–1827.
- Soukoulis, C., Lyroni, Eleni and Tzia, Constantina. (2010). Sensory Profiling and Hedonic Judgement of Probiotic Ice Cream As A Function. *LWT-Food Science and Technology*, 43, 1351-1358.
- Soukoulis, C. and Tzia, C. (2008). Impact of the Acidification Process, Hydrocolloids and Protein Fortifiers on the Physical and Sensory Properties of Frozen Yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 61, 170-177.
- Somogyi, M. (1952). Note on Sugar Determination. *Journal Biology Chemical*, 195, 19.
- Sutharut, J. and Sudarat, J. (2012). Total Anthocyanin Content and Antioxidant Activity Of Germinated Colored Rice. *International Food Research Journal*, 19(1), 215-221.
- Synytsya, A. et al. (2009). Glucans From Fruit Bodies of Cultivated Mushrooms *Pleurotus Ostreatus* and *Pleurotus Eryngi* I : Structure and Potential Prebiotic Activity. *Carbohydrate Polymers*, 76, 548–556.
- Tamime, A. Y. and Robinson, R. K. (1999). *Yoghurt : Science and Technology*. 2nd ed. s.l.: CRC Press,
- Topping, D.L. Fukushima, M. and Bird, A.R. (2003). Resistant Starch as a Prebiotic and Synbiotic. *State of the art Processing Nutrition Social*, 62, 171-186.
- Van, D. H., Schaafsma, G., Muys, T. and Van, D. W. (1998). Nondigestible,. Oligosaccharides Do Not Interfere With Calcium And Nonheme-Iron Absorption In Young Healthy Men. *Journal Clinic Nutrition*, 67, 445-451.
- Vander Maarel M. J. E. C. et al. (2002). Properties and Applications of Starch-Converting Enzymes of The α -Amylase Family. *Journal Biotechnology*, 94, 137–155.



- Willis, R.B.H., Palipane, L.B. and Green field, H. (1982). Composition of Australian Foods B : Rice. *Food Technology Association of Australia*, 34, 66-68.
- Wichienchot, S., Prasertsan, P., Hongpattarakere, T., Gibson G.R. and Rastall, R.A. (2006). In Vitro Three-Stage Continuous Fermentation of Gluco-Oligosaccharides Produced by *Gluconobacter Oxydans* NCIMB 4943 by the Human Colonic Microflora. *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 7, 13-18.
- Winkler, J.K., Rennick, K.A., Eller, F.J. and Vaughn, S.F. (2007). Phytosterol and Tocopherol Components in Extracts of Corn Distiller's Dried Grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 6482-6486.
- Wood, B.J.B. and Holzapfel, W.H. (1997). The Lactic Bacteria. In *the Genera of Lactic Acid Bacteria*. s.l.: Wood and Holzapfel. p. 1-6.
- Xu, B. H., Wang, Y. B., Li, J. R., and Lin, Q. (2009). Effect of Prebiotic Xylooligosaccharides on Growth Performances and Digestive Enzyme Activities of Allogynogenetic Crucian Carp (*Carassius Auratus Gibelio*). *Fish Physiol Biochem*, 35(3), 351-357.
- Yaun, Xiaoping., Wang, Jing., and Yao, Huiyuan. (2009). Feruloyl Oligosaccharides Stimulate The Growth of *Bifidobacterium Bifidum*. *Journal Anaerobe*, 11, 225-229.
- Zhang, M.W. et al. (2006). Separation Purification and Identification of Antioxidant Compositions In Black Rice. *Journal Agricola Food Science*, 5, 431-440.
- Zhang, H. and Huang, C.H. (2005). Oxidative Transformation of Fluoroquinolone Antibacterial Agents and Structurally Related Amines with Manganese Oxide. *Environmental Science and Technology*, 39, 4474-4483.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
การเตรียมสารเคมี และการวิเคราะห์ทางเคมี



สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. 0.2% glucose MRS agar

สูตรอาหาร 0.2% glucose MRS 1,000 mL ประกอบด้วย

Peptone from Casein	10.0	กรัม
Meat extract	8.0	กรัม
Yeast extract	4.0	กรัม
D (+) Glucose	20.0	กรัม
Dipotassiumhydrogenphosphate	2.0	กรัม
Tween TM 80	1.0	กรัม
di-ammonim hydrogen citrate	2.0	กรัม
Sodium acetate	5.0	กรัม
Magnesium sulfate	0.2	กรัม
Manganese sulfate	0.04	กรัม
น้ำกลั่น	1.0	ลิตร
pH 6.2-6.6		

ถ้าเป็นอาหารแข็งเติมวุ้น 15 กรัม พีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ เท่ากับ 6.5 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

2. Nutrient agar

Beef extract	3.0	กรัม
Peptone	5.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
DW	1,000	มิลลิลิตร
pH 7		

3. Nutrient broth + glucose 2%

Beef extract	3.0	กรัม
Peptone	5.0	กรัม
Glucose	20.0	กรัม
DW	1,000	มิลลิลิตร

pH 7

ซึ่งส่วนผสมละลายในน้ำกลั่น 1,000 mL นำไปนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



4. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.85 %

NaCl 8.5 กรัม

DW 1.0 ลิตร

ผสมให้เข้ากันนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที



ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี



1. ปริมาณโปรตีน (AOAC, 1990)

ซึ่งตัวอย่างแบ่งข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 1.50 กรัม (น้ำหนักแห้งบนกระดาษกรอง Whatmanเบอร์ 42 พับกระดาษให้ตัวอย่างอยู่ข้างใน ใส่ลงในขวดเจดัล ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมนโปแตสเซียมซัลเฟต 10 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 กรัม เติมน้ำฟลูออรีนเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่เม็ดแก้วกันกระแทก (glass bead) 2-3 เม็ด แล้วนำไปย่อยโดยใช้เครื่องย่อยโปรตีนในตู้ควัน ช่วงแรกใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วจึงปรับอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อหมดฟองแล้วเป็น 380 องศาเซลเซียส ย่อยจนสารละลายใสไม่มีสีเหลืองอ่อนหรือไม่มีสี ตั้งทิ้งไว้จนเย็นจึงเติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร เติมน้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 70 มิลลิลิตรนำไปประกอบเข้าเครื่องกลั่น ให้ปลายของเครื่องควมแน่นอยู่ในสารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และอินดิเคเตอร์ 3 หยด กลั่นแอมโมเนียลงในขวดจนได้สารละลายในขวดประมาณ 200 มิลลิลิตร นำสิ่งที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (ที่ผ่านการเทียบมาตรฐานด้วยสารละลายไดโซเดียมเตตระโบเรตเคเคไฮเดรต) จนได้สารละลายสีชมพูและ ทำแปลงค์เช่นเดียวกับตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{ร้อยละโปรตีน} = \frac{(A - B) (M) (1.4007) (5.95)}{W}$$

A = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง

B = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับแปลงค์

M = ความเข้มข้น (โมลาร์) ของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม (น้ำหนักแห้ง)

2. ปริมาณไขมัน (AOAC, 1990)

ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ ประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในทิมเบิล (thimble) นำมาสกัดไขมันด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นเวลา ประมาณ 2 ชั่วโมง ด้วย Soxlet apparatus นำไประเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากไขมันที่สกัดได้ นำถ้วยรองรับ ซึ่งมีไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณไขมันที่สกัดได้คิดเป็นร้อยละ

$$\text{ร้อยละไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน}}{\text{น้ำหนักเป็นกรัม (น้ำหนักแห้ง)}} \times 100$$



3. ปริมาณเถ้า (AOAC, 1990)

ซึ่งตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวกล้องอกที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 2 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในถ้วยกระเบื้อง (crucible) นำไปเผาจนหมดควัน เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง หรือจนมีสีขาว-เทา ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณเถ้าเป็นร้อยละ

$$\text{ร้อยละเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม (น้ำหนักแห้ง)}} \times 100$$

4. ปริมาณเยื่อใย (AOAC, 1990)

4.1 นำตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวกล้องอกที่สกัดไขมันออกแล้วใส่ในถ้วยระเหยแล้วนำไประเหยเอาตัวทำละลายออกจนแห้ง

4.2 ถ่ายตัวอย่างข้าวกล้องและข้าวกล้องอกลงในครูชีเบลแก้ว (อบที่อุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียสและชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่แน่นอน) นำครูชีเบลแก้วประกอบเข้าในเครื่องสกัดเต็ม 1.25 เปอร์เซนต์ กรดซัลฟิวริกที่ต้มให้ร้อน หลอดละ 75 มิลลิลิตร และออกทานอล 3 -5 หยดเพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ ปรับระดับความร้อนของเครื่อง (ระดับ 7-8) นาน 30 นาที

4.3 ถ่ายกรดออกจากตัวอย่างแล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ๆ ละ 15 มิลลิลิตร แล้วถ่ายออก

4.4 เติม 1.25 เปอร์เซนต์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 75 มิลลิลิตร และ ออกทานอล 3 -5 หยด

4.5 ปรับระดับความร้อนของเครื่องสกัด (ระดับ 7 -8) แล้วต้มนาน 30 นาที

4.6 ถ่าย 1.25 เปอร์เซนต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ ออกแล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ๆ ละ 15 มิลลิลิตร ล้างด้วยน้ำเย็น 1 ครั้ง แล้วล้างออกด้วย อะซิโตน 3 ครั้ง ๆ ละ 15 มิลลิลิตร

4.7 นำครูชีเบลแก้ว อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง ปลอ่ยเย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก นำไปอบซ้ำจนน้ำหนักของตัวอย่างคงที่ ได้ปริมาณเยื่อใยที่มีเถ้ารวมอยู่ด้วย

4.8 หาน้ำหนักเถ้าโดยถ่ายสารตัวอย่างลงในกระเบื้อง (เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่คงที่แล้ว) นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปลอ่ยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักของเถ้าที่ได้

4.9 นำน้ำหนักเถ้าที่ได้ ไปลบออกจากน้ำหนักก่อนเผาจะได้ปริมาณเยื่อใย แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เยื่อใยทั้งหมด

การคำนวณเปอร์เซ็นต์เยื่อใยทั้งหมด

$$\text{เปอร์เซ็นต์เยื่อใยทั้งหมด} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมัน}} \times 100$$



ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ด้วยวิธี total sugar assay
และน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีของ Somogi-Nelson



1. การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ด้วยวิธี Total sugar assay

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ด้วยวิธี Total sugar assay ทำได้ดังนี้

1.1 ชั่งสารสกัดพรีไบโอติกข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกแต่ละชนิดมา อย่างละ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

1.2 นำสารตัวอย่างจากข้อ 1.1 มาทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมา 200 ไมโครลิตรใส่ลงในหลอดทดลอง เติม reagent คือ orcinol-sulphuric acid ลงไป 800 ไมโครลิตร

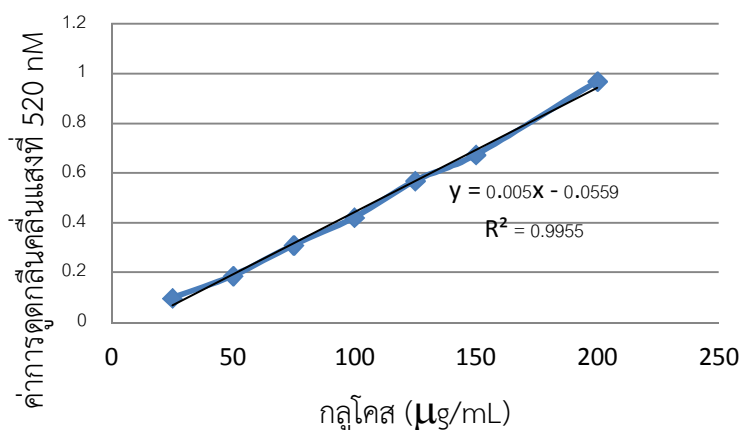
* การเตรียม orcinol-sulphuric acid (ขณะผสมให้เขย่า แล้วแช่ในอ่างน้ำแข็ง)

Orcinol monohydrate	0.2	g
Concentrate sulfuric acid	100	mL
(เตรียมเสร็จ ถ้าใช้ไม่หมด เก็บที่ -20°C)		

1.3 ผสมสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง

1.4 นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตรด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

กราฟมาตรฐาน Total sugar



2. การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีของ Somogi-Nelson

2.1 สารเคมี

2.1.1 Somogi

Somogi I : ละลาย Na_2SO_4 288 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มให้เดือดแล้ว 1,000mL แล้วเติม potassium sodium tartrate 24 กรัม Na_2CO_3 48 กรัม และ NaHCO_3 32 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นที่ต้มแล้วจนมีปริมาตรเป็น 1,600 mL



Somogi II : ละลาย Na_2SO_4 72 กรัมในน้ำกลั่นที่ต้มให้เดือดแล้ว 300 mL
เติม $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 8 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรเป็น 400 mL

*ผสม Somogi I และ Somogi II ในอัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตรก่อนใช้แต่ละ
ครั้ง

2.1.2 Nelson

ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 100 กรัมในน้ำกลั่นที่ต้มให้เดือดแล้ว 1,800mL เติม
cone. H_2SO_4 84 mL หลังจากนั้นเติมสารละลายของโซเดียมไฮโดรเจนอาซิเนต (12 กรัมในน้ำ
กลั่น 100 mL) เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในขวดแก้วสีน้ำตาล 24-48 hr ก่อนนำมาใช้

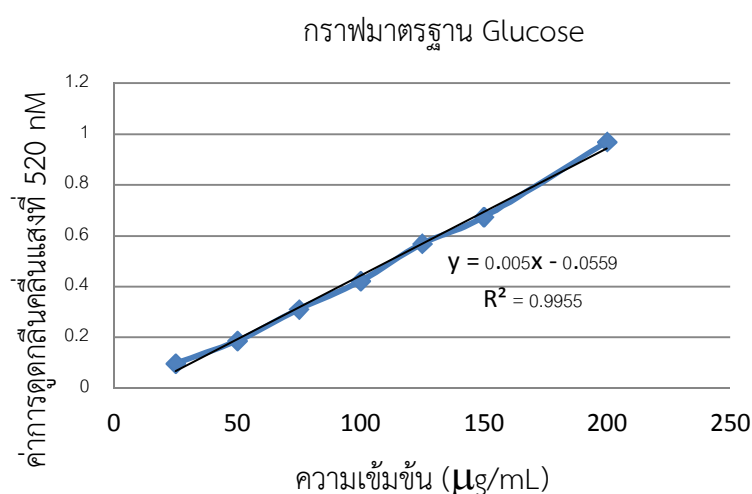
2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 ดูดสารละลายตัวอย่าง 0.5 mL (1 mg/mL) ลงในหลอดทดลองเติม Somogi
1 mL นำไปต้มให้เดือด 15 นาที

2.2.2 ทำให้เย็นโดยเติมในน้ำเย็น เติม Nelson 1 mL ผสมให้เข้ากันแล้วเติมน้ำกลั่น
2 mL เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร
โดยวัดเปรียบเทียบกับ Blank ซึ่งใช้น้ำกลั่นแทนสารตัวอย่าง

2.2.3 อ่านค่าความเข้มข้นของ glucose เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งได้จากการ
ทดลอง โดยวิธีเดียวกัน โดยใช้น้ำตาล glucose เข้มข้น 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175
และ 200 $\mu\text{g/mL}$ หรือ 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175 และ 0.200
mg/mL

2.2.4. สร้างกราฟมาตรฐานของกลูโคส แล้วนำตัวอย่าง 30 ชนิด ไปแทนค่าในสมการ
เส้นตรงที่ได้คำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารตัวอย่าง



ภาคผนวก ง
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส



แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส (7-point hedonic scale)

ตัวอย่าง ไอศกรีมชินไปโอดีค

ชุดที่

ชื่อผู้ทดสอบ อายุ.....ปี เพศ..... วันที่

คำแนะนำ

ให้ชิมตัวอย่างที่ท่านได้รับตามลำดับแล้วให้คะแนนการยอมรับแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุก ตามคำอธิบายคะแนนข้างล่างนี้ (กรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง)

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1 = ไม่ยอมรับมากที่สุด | 5 = ยอมรับเล็กน้อย |
| 2 = ไม่ยอมรับมาก | 6 = ยอมรับมาก |
| 3 = เฉยๆ | 7 = ยอมรับมากที่สุด |
| 4 = ไม่ยอมรับเล็กน้อย | |

รหัสตัวอย่าง คุณลักษณะ	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....
การยอมรับโดยรวม	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณ



ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นางเมตตา เถาว์ชาลี
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2510
จังหวัด และประเทศที่เกิด	จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2526 มัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนศิริวิทยากร จังหวัดนครราชสีมา พ.ศ. 2529 มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย จังหวัดนครราชสีมา พ.ศ. 2533 ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต (คบ.) สาขาเคมี วิทยาลัยครุนครราชสีมา พ.ศ. 2543 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2557 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม เลขที่ 80/20 ถนนนครสวรรค์ ตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

รางวัลเรียนดี ทุนวิจัย และทุนการศึกษา

ได้รับการสนับสนุนทุนการศึกษา จากมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ผลงานวิจัย

เมตตา เถาว์ชาลี. (2547). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันวานชักมดลูก*. มหาสารคาม :
สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

