ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ความปลอดภัยของอาหาร)

ปริญญา

ความปลอดภัยของอาหาร | สัตวบาล

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาคุณลักษณะและอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง

Study on the Characteristics and Shelf Life of Goat Milk Yoghurt Fortified with Flour

นามผู้วิจัย นายพิศักดิ์ พัดทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศศิธร นาคทอง, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์สุกัญญา วิชชุกิจ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาคุณลักษณะและอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง

Study on the Characteristics and Shelf Life of Goat Milk Yoghurt Fortified with Flour

โดย

นายพิศักดิ์ พัดทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ความปลอดภัยของอาหาร)
พ.ศ. 2552

พิศักดิ์ พัดทอง 2552: การศึกษาคุณลักษณะและอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ความปลอดภัยของอาหาร) สาขาความปลอดภัยของอาหาร ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศศิธร นาคทอง, Ph.D. 103 หน้า

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมของการนำแป้งมาเสริมในโยเกิร์ตนมแพะ โดยใช้แป้ง 6 ชนิด (แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งถั่วเหลือง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโอ๊ต) ทดแทนนมผงที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ 15 เปอร์เซ็นต์ 15 เปอร์เซ็นต์ 15 เปอร์เซ็นต์ 10 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นำส่วนผสมโยเกิร์ตทั้งหมดพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.4 โยเกิร์ตทุกสูตรเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 วัน นำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดแลคติก ค่าความหนืด ปริมาณจุลินทรีย์และการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ตรวจชิมที่ได้รับการฝึกฝน ในวันที่ 1, 7, 14, 21, 42 และ 60 วัน ผลการทดลองส่วนที่ 1 พบว่าค่าความเป็น กรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติก ของโยเกิร์ตทุกสูตรมีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) ตลอดการทดลอง ส่วนจำนวนแลคติกแบคทีเรีย คะแนนด้านรสชาติและลักษณะที่ปรากฏ ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) ในช่วง 21 วันแรกของการทดลอง ด้านเนื้อสัมผัสพบความแตกต่างในวันที่ 14 ในส่วนของแป้งข้าวเจ้าได้คะแนนเนื้อสัมผัสสูงที่สุด ($p<0.05$) โยเกิร์ตเสริมแป้งข้าวโพดมีค่าความหนืดสูงที่สุดแตกต่างจากสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โยเกิร์ตทุกสูตรพบโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็นต่อกรัม ไม่พบยีสต์และราตลอดอายุการเก็บรักษาทั้ง 60 วัน จากผลการศึกษาพบว่าแป้งทุกชนิด โดยเฉพาะแป้งข้าวโอ๊ตและแป้งมันสำปะหลังให้ผลการทดลองดีที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะ ในด้านความข้นหนืดและเนื้อสัมผัสที่เป็นเจล มากกว่าสูตรที่ใช้แต่นมผงเพียงอย่างเดียว

ผลการทดลองที่ 2 โยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ (รสส้ม รสบลูเบอร์รี่ รสสตรอเบอร์รี่) ที่เสริมด้วยแป้งเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ผสมน้ำตาล 4 เปอร์เซ็นต์) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 วัน วิเคราะห์คุณภาพเหมือนการทดลองที่ 1 จากผลการศึกษาพบว่าโยเกิร์ตนมแพะทุกสูตรมีการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาณกรดแลคติก และค่าความเป็นกรด - ด่าง ตลอดอายุการเก็บรักษาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความเป็นกรด - ด่าง มีแนวโน้มลดลง แปรผกผันกับปริมาณกรดแลคติกและจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก ตลอดการเก็บรักษา แต่ตรวจไม่พบยีสต์และราตลอด 21 วัน การประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ที่เสริมแป้ง ได้การยอมรับทุกด้านสูงกว่าชุดควบคุม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การผสมแยมรสผลไม้ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ในโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งแต่ละสูตร ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพ เคมี แต่สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งให้ดีขึ้น

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Pisak Padthong 2009: Study on the Characteristics and Shelf Life of Goat Milk Yoghurt Fortified with Flour. Master of Science (Food Safety), Major Field: Food Safety, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Sasitorn Nakthong, Ph.D. 103 pages.

The objective of this project was to develop and analyze suitable goat milk yoghurt (GMY) fortified with flours. Six different kinds of flour (corn flour, rice flour, glutinous rice flour, soy flour, cassava flour and oat flour) were used for replacement of skim milk powder (SMP), at 20%, 15%, 15%, 15%, 10% and 5%, respectively. The yogurt mixes were heated to 85^{o}C and held for 5 min, incubated at 42^{o}C until the pH reached 4.4. The mixes were then stored at 4^{o}C for 60 days. Measurements and evaluations of acid development, apparent viscosity, microbiological status, and sensory profiles by an expert panel were conducted at days 1, 7, 21, 42, and 60. The results in part 1 showed all yoghurt formulas were significantly different in pH and Titratable Acidity (T.A.) ($p<0.05$) over period. Total lactic acid bacteria count, appearance flavors score did not showed significantly difference during 21 days ($p > 0.05$). The rice flour formulas had the best result in texture score at d14 ($p<0.05$) and corn flour formulas were significantly differences in apparent viscosity ($p<0.05$). Moreover, all yogurt formulas were detected coliform less than 3 MPN/g while there were not found mold and yeast during storage period. GMY fortified with flour showed a positive results in physical properties i.e. reduced whey separation, firmness, and pseudoplastic properties. It could be concluded that oat flour and tapioca flour showed the best result for improvement texture of GMY.

Part 2; fruit-flavored GMY (orange, blueberry and strawberry flavor) fortified with 6 kinds of flour was compared with control yogurt (sugar 4 %). The yogurt were stored at 4^{o}C for 60 d. Measurements and evaluations of acid development, apparent viscosity, microbiological status, and sensory profiles by an expert panel were conducted at days 1, 7, 21, 42, and 60. The result showed all yoghurt formulas were significantly differences in pH and T.A. over period ($p<0.05$). The pH values were decreased. The T.A. (%) and total lactic acid bacteria were increased during storage time. Moreover, mold and yeast were not found in all formulas during storage period. Sensory evaluation results showed all formulas of fruit-flavored GMY were significantly different from control ($p<0.05$). The mixtures of fruit jam at 20% in GMY fortified with flour were not affected on physical and chemical properties but could be enhanced sensory quality of GMY

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร นาคทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษาและ อาจารย์ ดร. สุกัญญา วิชชุกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางแก้ปัญหาในการทำวิจัย ตลอดจนตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ โครงการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรมโครงการทุนสนับสนุนนักวิจัยใหม่ วท. ประจำปี 2549 ศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ศนวท.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้มอบทุนเพื่อใช้ทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านกายภาพของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตผลจากสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจ เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตผลปศุสัตว์ เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำโยเกิร์ตและวิเคราะห์ข้อมูลด้านเคมี ภาควิชาสัตวแพทย์สาธารณสุขศาสตร์ คณะสัตวแพทย์ กำแพงแสน เอื้อเฟื้อสถานที่การวิเคราะห์ข้อมูลด้านจุลินทรีย์ ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง ที่อำนวยความสะดวกในการบริการใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องทะลุผ่าน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อป่วนและคุณแม่บุญตา พัดทอง ที่ได้เล็งเห็นคุณค่าในการศึกษาของข้าพเจ้า ให้ความกรุณาส่งเสริมสนับสนุนทุนการศึกษาและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา บูรพาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ด้านต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันทำให้ข้าพเจ้าสามารถนำความรู้เหล่านั้นมาประยุกต์ใช้ในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขอขอบคุณมิตรสหายทุกท่านที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกและเป็นที่ปรึกษาที่ดีในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ทำให้งานวิจัยผ่านพ้นอุปสรรคต่างๆมาด้วยดี

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจทั้งนักวิจัย นักวิชาการ นิสิต นักศึกษา หรือเกษตรกร และหวังว่าความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปเผยแพร่เพื่อเป็นความรู้ที่สร้างประโยชน์แก่มวลชนส่วนใหญ่ในสังคมได้

พิศักดิ์ พัดทอง

มิถุนายน 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	25
ผลและวิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	77
สรุป	77
ข้อเสนอแนะ	79
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	80
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก ก ผลของแป้ง 6 ชนิดที่ใช้ทดแทนนมผงระดับต่างๆในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะ	88
ภาคผนวก ข คุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสธรรมชาติ	93
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพโยเกิร์ตนมแพะทางด้านกายภาพ	95
ภาคผนวก ง การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	101
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	103

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เปรียบเทียบองค์ประกอบระหว่างนมโค นมแพะและนมมนุษย์	5
2	ปริมาณกรดไขมันในนมเพะเทียบกับนมโค	7
3	องค์ประกอบโปรตีนของ นมโค นมแพะ นมแกะ และนมกระบือ	8
4	ระดับของการเสริมแป้งแต่ละชนิดเพื่อทดแทนการใช้นมผง (6.5 เปอร์เซ็นต์ของสูตร)	26
5	สูตรการผลิตโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 18 เปอร์เซ็นต์	26
6	คุณลักษณะทางจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตนมแพะเสริมด้วยแป้งทั้ง 7 ชนิด ที่ให้ผลการทดลองเป็นในแนวทางเดียวกัน	40
7	จำนวนจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตนมแพะเสริมด้วยแป้ง รสผลไม้ทุกสูตร เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่ให้ผลการทดลองสอดคล้องกัน	65

ตารางผนวกที่

ก1	ผลของแป้ง 6 ชนิดที่ใช้ทดแทนนมผงระดับต่างๆ ในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะ (1)	89
ก2	ผลของแป้ง 6 ชนิดที่ใช้ทดแทนนมผงระดับต่างๆ ในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะ (2)	90
ก3	อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน ของแป้งแต่ละชนิด	92

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการสังเคราะห์ อะซิตัลดีไฮด์	12
2	ความสัมพันธ์แบบพึ่งพากันของแบคทีเรียกรดแลคติก	12
3	ลำดับการผลิตโยเกิร์ตนมแพะรสธรรมชาติที่เสริมด้วยแป้ง	27
4	ลำดับการผลิตโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้	29
5	ปริมาณกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน	36
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน	36
7	จำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน	37
8	ค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน	42
9	โครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตชุดควบคุม (A_1, A_2)	44
10	โครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโพด (B_1, B_2)	45
11	โครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวเหนียว (C_1, C_2)	46
12	โครงสร้างทางโมเลกุลของ โยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวเจ้า (D_1, D_2)	47
13	โครงสร้างทางโมเลกุลของ โยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งมัน (E_1, E_2)	48
14	โครงสร้างทางโมเลกุลของ โยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโอ๊ต (F_1, F_2)	48
15	โครงสร้างทางโมเลกุลของ โยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวเจ้า (G_1, G_2)	49
16	คะแนนความชอบด้านรสชาติของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน	50
17	คะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน	51
18	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติก และการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสส้ม เก็บที่อุณหภูมิ4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	59
20	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติกและการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสบลูเบอร์รี่ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	60
21	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติก และการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก ของโยเกิร์ตนมแพะรสสตรเบอร์รี่ที่เสริมด้วยแป้ง เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	61
22	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้แต่ละสูตรเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	63
23	ปริมาณกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้แต่ละสูตร เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	63
24	การเติบโตของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้แต่ละสูตร เก็บที่อุณหภูมิ4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	64
25	การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสส้ม (ก) รสบลูเบอร์รี่ (ข) และรสสตรอเบอร์รี่ (ค) ทุกสูตร เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	67
26	ค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้ แต่ละสูตร เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน	68
27	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (ก) เนื้อสัมผัส (ข) และรสชาติ (ค) ของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสส้ม แต่ละสูตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (ก) เนื้อสัมผัส (ข) และรสชาติ (ค) ของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสบลูเบอร์รี่ แต่ละสูตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน	72
29	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (ก) เนื้อสัมผัส (ข) และรสชาติ (ค) ของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสสตรอเบอร์รี่ แต่ละสูตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน	73
30	คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งรสผลไม้ แต่ละสูตร ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน	74
31	คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งรสผลไม้ แต่ละสูตร ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน	74
32	คะแนนความชอบด้านรสชาติของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งรสผลไม้ แต่ละสูตร ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน	75

ภาพผนวกที่

ข1	ผลของการใช้แป้งชนิดต่างๆในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะ	94
ค2	เครื่อง Rheometer ที่ใช้หัววัดแบบ flat plate	97
ค3	การทำงานของเครื่อง Rheometer	98
ค4	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องทะลุผ่าน (TEM) JEOL รุ่น JEM – 1230	100
ง5	แบบสอบถามสำหรับประเมินทางประสาทสัมผัส	102

การศึกษาคุณลักษณะและอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง

Study on the Characteristics and Shelf Life of Goat Milk Yoghurt Fortified with Flour

คำนำ

ในอดีตนมแพะและผลิตภัณฑ์จากนมแพะยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย ส่งผลให้นมแพะไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควรประกอบกับการบริโภคนมแพะยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายโดยนิยมบริโภคเฉพาะในกลุ่มชนมุสลิม และเป็นการบริโภคในรูปแบบนมแพะพาสเจอร์ไรส์เท่านั้น แต่ในปัจจุบันนมแพะ และผลิตภัณฑ์จากนมแพะเริ่มได้รับความนิยม และยอมรับจากผู้บริโภคในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากกระแสความตื่นตัวในเรื่องของการดูแลรักษาสุขภาพ และคุณค่าทางโภชนาการในน้ำนมแพะนั้นมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับนมโคหรืออาจจะสูงกว่าในบางองค์ประกอบ เช่น โปรตีน และแคลเซียม ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพรวมทั้งผู้บริโภคจึงทำให้ปริมาณความต้องการบริโภคนมแพะและผลิตภัณฑ์จากนมแพะเพิ่มสูงขึ้น โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวที่กำลังได้รับความนิยมในการบริโภค การผลิตจำเป็นต้องใช้แลคติกแอซิดแบคทีเรีย (lactic acid bacteria)ในกระบวนการหมักน้ำนมให้กลายเป็นโยเกิร์ต โยเกิร์ตเป็นนมเปรี้ยวที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ที่มีลักษณะการทำงานร่วมกัน 2 สายพันธุ์ คือ *Streptococcus salivarius* subsp.*thermophilus* และ *Lactobacillus delbrueckii* subsp.*bulgaricus* เพื่อทำให้โปรตีนนมตกตะกอน เกิดเป็นเคิร์ด (curd) ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสกึ่งแข็งกึ่งเหลวสีขาวถึงขาวนวล มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว และมีรสชาติค่อนข้างเปรี้ยว การผลิตโยเกิร์ตนมแพะมักพบปัญหาเรื่องของเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างเหลว นุ่มและการแยกน้ำแยกเนื้อของผลิตภัณฑ์มากกว่าโยเกิร์ตที่ผลิตจากนมโค ส่งผลโดยตรงต่อการยอมรับของผู้บริโภค นมผงจึงเป็นส่วนผสมที่จำเป็นที่จะถูกนำมาใช้เพื่อช่วยปรับปรุงโครงสร้างของเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะให้ดีขึ้น แต่การผสมนมผงในปริมาณที่มากเกินไปจะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อสัมผัสที่เป็นเม็ดแป้งละเอียด (sandy) (Tamime and Robinson, 2007) อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้นอีกด้วย

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง มีบทบาทสำคัญในการนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารที่ให้พลังงานสูงแก่มนุษย์ แต่นอกเหนือจากการนำแป้งมาใช้เพื่อบริโภคเป็นอาหารแล้วนั้น แป้งยังมีคุณสมบัติที่โดดเด่นอีกประการคือสามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้ เนื่องมาจากแป้งมีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) ตามธรรมชาติ เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวของเนื้อสัมผัส และป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูป อีกทั้งในแป้งยังมีองค์ประกอบของใยอาหารซึ่งมีคุณสมบัติบำรุงระบบทางเดินอาหาร ช่วยควบคุมการทำงานของลำไส้ กล้ามเนื้อต่างๆของลำไส้ให้ทำงานอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอได้อย่างเหมาะสม ช่วยให้การขับถ่ายเป็นไปตามปกติ

จากเหตุผลและประโยชน์ของแป้งดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงมีแนวคิดที่จะนำแป้งชนิดต่างๆที่ผลิตได้ในประเทศไทยและมีราคาถูกมาใช้ประโยชน์ร่วมกับการผลิตโยเกิร์ตนมแพะเพื่อช่วยลดปริมาณการใช้นมผงในการผลิต ช่วยปรับปรุงโครงสร้างเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตให้ดีขึ้น และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับนมแพะสามารถแข่งขันในตลาดนมและผลิตภัณฑ์นมทั้งในและต่างประเทศได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะคุณภาพ ด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ การประเมินทางประสาทสัมผัส และความปลอดภัย ของโยเกิร์ตนมแพะรสธรรมชาติที่เสริมด้วยแป้ง 6 ชนิดได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโอ๊ต แป้งถั่วเหลือง และแป้งมันสำปะหลัง

2. เพื่อศึกษาคุณลักษณะคุณภาพ ด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และการประเมินทางประสาทสัมผัสของ โยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง ผสมแยมรสผลไม้ ได้แก่ รสส้ม รสสตรอเบอร์รี่ รสบลูเบอร์รี่

3. เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสธรรมชาติและที่ผสมแยมรสผลไม้

การตรวจเอกสาร

แพะนม

การเลี้ยงแพะในประเทศไทยในอดีตนิยมเลี้ยงกันเฉพาะกลุ่มชาวไทยมุสลิม ซึ่งเลี้ยงไว้สำหรับบริโภคเนื้อและประกอบพิธีทางศาสนาเท่านั้น แต่ในปัจจุบันกรมปศุสัตว์ได้มีการนำแพะพันธุ์ต่างประเทศเข้ามาเลี้ยงในประเทศไทยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทั้งด้านเนื้อและนมให้ดีขึ้น โดยแพะพันธุ์นมได้แก่พันธุ์ซาแนน (sanan) ซึ่งใช้เป็นพันธุ์หลักของแพะนม นอกจากนี้ยังมีพันธุ์แอลไพน์ (alpine) และพันธุ์ทอกแกนเบอร์ก (toggenberg) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรผู้เลี้ยงแพะนมกำลังให้ความสนใจ

ลักษณะของแพะที่มีสุขภาพดีควรประกอบด้วยข้อมูลดังนี้ กินอาหารดี มีการเคี้ยวเอื้อง มีชีวิตชีวา กระตือรือร้นและมีปฏิสัมพันธ์กับแพะตัวอื่นในฝูง ขนเรียบเป็นมัน เคลื่อนไหวหรือกระโดดเล่น โดยปราศจากการชะงักงันหรือติดขัดเนื่องจากบาดเจ็บที่ขาหรือกีบ ดูสมบูรณ์แต่ไม่อ้วนแววตาแจ่มใสและสะอาดไม่มีขี้ตา จมูกเย็นและแห้ง อุจจาระแน่น มีลักษณะคล้ายลูกบอลเล็กๆ ปัสสาวะมีสีน้ำตาลใสและสะอาดไม่มีตะกอนขุ่น อุณหภูมิร่างกายปกติเฉลี่ย 102.2 – 104 องศาฟาเรนไฮต์ (39-40 องศาเซลเซียส) ชีพจรเฉลี่ย 70-80 ครั้งต่อนาที (สุภาวัลย์, 2547)

น้ำนมแพะ

น้ำนมแพะเป็นอาหารที่มีคุณภาพเทียบเท่านมโค เนื่องจากมีองค์ประกอบพื้นฐานคล้ายนมโค แต่น้ำนมแพะมีคุณลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากนมโค คือโครงสร้างของไขมันนม ซึ่งกลิ่นและรสชาติต่างๆในน้ำนมมีความสัมพันธ์กับระบบของไขมัน (lipid system) สัดส่วนของกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acids) 4-10 คาร์บอน ในนมแพะมีมากกว่านมโคถึง 2 เท่า ขนาดของเม็ดไขมันเล็กมากจึงทำให้ง่ายต่อการย่อยและดูดซึม อีกทั้งกระบวนการแปรรูปนมแพะไม่ต้องผ่านขั้นตอนการทำนมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จึงไม่มีส่วนกระตุ้นร่างกายให้สร้าง แอนติ้บอดี้ อาการแพ้นมจึงไม่เกิดขึ้น นอกจากนี้นมแพะมีลักษณะโครงสร้างอาหารใกล้เคียงกับน้ำนมมารดา จึงเหมาะสำหรับเป็นอาหารแก่เด็กที่กำลังเจริญเติบโต นมแพะยังประกอบด้วยโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายครบทุกชนิด โดยมีส่วนประกอบของไขมันโมเลกุลขนาดเล็กที่ง่ายต่อการดูดซึม มีโปรตีนแอลฟ่าเอสวัน เคซีน (α_{s1} casein) ปริมาณน้อยกว่านมโค เมื่อทำปฏิกิริยาในกระเพาะ

อาหารจะเกิดเป็นก้อน curd ที่นิ่มกว่านมโค จึงทำให้นมแพะย่อยง่ายและรวดเร็วไม่ก่อให้เกิดภาวะภูมิแพ้เหมือนในนมโค (สมชัย, 2547) ทำให้มีผู้หันมาบริโภคนมแพะมากขึ้น นมแพะได้เข้ามามีบทบาทในด้านการแพทย์ (medical need) และพบว่าผู้ป่วยเด็กเล็กหรือผู้สูงอายุสามารถดื่มนมแพะโดยไม่แสดงอาการแพ้ ซึ่งบุคคลกลุ่มนี้มีความไวต่อการแพ้ของอาหาร (sensitive) วิตามินในนมแพะมีปริมาณวิตามิน เอ สูงกว่าในนมโค ซึ่งนมแพะจะเปลี่ยนแคโรทีนทั้งหมดให้เป็นวิตามินเอ จึงทำให้นมแพะมีสีค่อนข้างขาวกว่านมโค องค์ประกอบที่สำคัญในนมแพะเปรียบเทียบกับนมโคจะแสดงใน ตารางที่1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบองค์ประกอบระหว่างนมโค นมแพะและนมมนุษย์

องค์ประกอบ	นมแพะ	นมโค	นมมนุษย์
น้ำ (กรัม)	87.00	88.00	87.50
น้ำตาลเล็กโตส (กรัม)	4.45	4.66	6.89
ไขมัน (กรัม)	4.14	3.34	4.38
โปรตีน (กรัม)	3.56	3.29	1.03
แร่ธาตุ (มิลลิกรัม)			
แคลเซียม	134.00	119.00	32.00
ฟอสฟอรัส	111.00	93.00	14.00
โซเดียม	50.00	49.00	17.00
แมกนีเซียม	14.00	13.00	3.00
วิตามิน (มิลลิกรัม)			
วิตามินเอ	185.00	126.00	241.00
วิตามิน6	0.046	0.042	0.011
วิตามินบี12	0.065	0.357	0.045
วิตามินซี	1.29	0.94	5.00

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ensminger *et al*. (1995)

องค์ประกอบทางเคมีของนมแพะ

องค์ประกอบทางเคมีในน้ำนม เช่น มันเนย และ ธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนย ซึ่งได้แก่ โปรตีน แลคโตส แกลือแร่ วิตามิน และน้ำ องค์ประกอบเหล่านี้ไม่ได้อยู่เป็นเนื้อเดียวกัน น้ำนมของสัตว์แต่ละชนิดจะประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันออกไปในปริมาณที่ไม่เท่ากัน

ไขมัน

ไขมันจากนมแพะ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ กรดไขมันสายสั้น สายกลางและสายยาว ในด้านของโภชนาการพบว่ากรดไขมันสายสั้นและสายกลางจะถูกย่อยสลายได้เร็วและถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ทันที ขณะที่สายยาวนั้นจะถูกนำไปเก็บสะสมไว้ใช้ยามจำเป็น นมแพะมีกรดไขมันสายสั้นและสายกลางอยู่ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่นมโคมีเพียง17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นกรดไขมันสายยาว (ตารางที่ 2) สมชัย และณิชารัตน์ (2547) รายงานว่า คุณสมบัติที่เด่นอีกอย่างหนึ่งของกรดไขมันในนมแพะ คือเรื่องของขนาดเม็ดไขมันในนมนั้นจะอยู่ในลักษณะแขวนลอยอยู่ในน้ำนม เม็ดไขมันในน้ำนมแพะนั้นมีขนาดเฉลี่ย 2.76 ไมครอน ในขณะที่ของโคจะอยู่ที่ 3.51 ไมครอน เมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ผิวโดยรวมแล้ว ไขมันในนมแพะมีพื้นที่ผิวมากกว่านมโคอยู่ประมาณ 1.3 เท่า ความแตกต่างนี้จะมีผลตอนที่น้ำย่อยไลเปสจากลำไส้เข้าไปทำการย่อยสลายไขมัน พื้นที่ผิวที่มากกว่าจะทำให้น้ำย่อยเข้าทำปฏิกิริยาได้ทั่วถึงกว่า จึงถูกย่อยได้ดีกว่า

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณกรดไขมันในนมแพะเทียบกับนมโค

กรดไขมัน (มก.)	นมแพะ	นมโค
สายสั้น-สายกลาง		
บิวไทริก	140.00	129.00
คาโปรอิก	80.00	82.00
คาปริลิก	80.00	46.00
คาปริก	290.00	96.00
ไมริสติก	380.00	382.00
สายยาว		
พาลมิติก (ก.)	1.18	0.96
สเตียริค	370.00	361.00
อะราชิดิก	10.00	25.00
พาลมิโตเลอิก	40.00	114.00
โอเลอิก	710.00	940.00
ลิโนเลอิก	90.00	89.00
ลิโนแลนิก	20.00	61.00

ที่มา: ดัดแปลงจาก Food composition and nutrient table (1994)

โปรตีน

นมแพะมีความเข้มข้นของโปรตีนสูงกว่านมโค นอกจากนี้ยังพบว่ากรดอะมิโนที่มีความสำคัญมากเป็นอันดับต้นๆจะพบมีในนมแพะมากกว่านมโคทั้งสิ้น (USDA, 1994) มีรายงานเปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนในนมแพะเทียบกับนมโค พบว่าในนมแพะมีปริมาณกรดอะมิโนไลซีน เมไทโอนีน ไทโรซีน ทริปโตเฟน อะลานีน ที่สูงกว่านมโคทุกชนิด โปรตีนในน้ำนมจะประกอบไปด้วย เคซีน อัลบูมินและโกลบูลิน (มีโปรตีเอสและเป๊ปโตนเพียงเล็กน้อย) แต่กลุ่มโปรตีนที่พบมากที่สุดในน้ำนมคือโปรตีนกลุ่มเคซีน ซึ่งในน้ำนมสัตว์แต่ละชนิดจะมีปริมาณเคซีนไม่เท่ากัน โดยเฉพาะในนมแพะจะมีปริมาณ แอลฟ่าเอสวัน เคซีน น้อยกว่าในนมโค จึงช่วยลดอาการแพ้โปรตีนในน้ำนมได้ดีกว่าดังที่แสดงใน ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบโปรตีนของ นมโค นมแพะ นมแกะ และนมกระบือ

องค์ประกอบ (กรัม / ลิตร)	โค	แกะ	แพะ	กระบือ
โปรตีน	27.8	59.4	33.4	49.2
เคซีน	83	93	99	90
แอลฟ่า เอสวันเคซีน	37	33	10	31
แอลฟ่าเอสทูเคซีน	7	14	-	13
แคปป้าเคซีน	9	14	8	7
เวย์โปรตีน	6.46	10.76	6.14	5.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Borková and Snášelová (2005)

แร่ธาตุและวิตามินในน้ำนม

สมชัย และณิชารัตน์ (2547) รายงานว่า ปริมาณของแร่ธาตุ และวิตามินรวมในนมแพะมีสูงกว่านมโค นอกจากนั้นระบบย่อยอาหารของคนยังมีความสามารถในการดูดซึมแร่ธาตุเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ (bioavailability) จากนมแพะได้สูงกว่านมโค ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติโดยรวมขององค์ประกอบต่างๆ เช่น ขนาดเม็ดไขมัน คุณสมบัติของกรดอะมิโน เป็นต้น แร่ธาตุที่ถูกนำมาพิจารณาอย่างมากคือแคลเซี่ยม ซึ่งงานวิจัยหลายเรื่องสรุปตรงกันว่า ร่างกายสามารถดูดซึมแคลเซี่ยมจากนมแพะไปใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าจากนมโค อุไรพร (2547) รายงานว่าประโยชน์ในแง่ของวิตามินนั้นนมแพะจะเปลี่ยนแคโรทีนทั้งหมดให้อยู่ในรูปของวิตามินเอ จึงทำให้นมแพะมีสีค่อนข้างจะขาวกว่านมโค แต่ยังมีบางส่วนหลงเหลืออยู่ในรูปคาโรทีนอยด์ สำหรับวิตามินบีนั้นนมแพะจะมีวิตามินบี 2 และไนอะซินสูงกว่านมโค แต่มีวิตามินบี 6 และบี 12 ต่ำกว่านมโค แต่อย่างไรก็ตามทั้งนมแพะและนมโคมีวิตามินซีและวิตามินดีต่ำทั้งคู่

ผลิตภัณฑ์นมหมัก

ผลิตภัณฑ์นมหมัก (fermented milk) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนมและหรือผลิตภัณฑ์นม ซึ่งเกิดจากการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกรดแลคติกเป็นหลัก เช่น แล็กโตบาซิลลัส บัลการิคัส *(Lactobacillus bulgaricus)* สเตรปโตค็อกคัส เทอร์โมฟิลัส *(Streptococcus thermophilus)* ไบฟิโดแบคทีเรียม (Bifidobacterium) แล็กโตบาซิลลัส อะซิโดฟิลัส *(Lactobacillus acidophilus)* และ/หรือ จุลินทรีย์อื่นที่ใช้ในการผลิตนมเปรี้ยว ทั้งนี้จะมีจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มที่มีชีวิตคงเหลืออยู่หรือไม่ก็ได้ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546)

ผลิตภัณฑ์นมหมักหรือนมเปรี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่รู้จักกันทั่วไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปของโยเกิร์ต โดยผลิตภัณฑ์นมหมักทั้งหมดของประเทศไทยมีผลิตขึ้นประมาณ 20 ล้านตัน และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น fresh acid cheese ประมาณ 3 ล้านตัน ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะมีประโยชน์ต่อสุขภาพและการบำบัดโรคต่างๆ (นิตยการต์, 2544)

นิรนาม (2551) รายงานถึง แนวโน้มตลาดโยเกิร์ตแบบถ้วย ที่มีมูลค่า 2,000 ล้านบาท ในปี 2549 มีอัตราการเติบโต 25 เปอร์เซ็นต์ และในปี 2551 คาดว่าจะมีอัตราการเติบโต 15-20 เปอร์เซ็นต์ พฤติกรรมการทานโยเกิร์ตของคนไทย ยังเป็นลักษณะของการทานเล่นเป็นของว่างระหว่างมื้อ อีกทั้งยังติดที่ว่ารสชาติต้องดีและดึงดูดใจมากกว่าที่จะทานเพื่อสุขภาพ ตลาดของโยเกิร์ตในปัจจุบันมักจะเน้นในเรื่องของรสชาติ และตัวผลไม้ ตลอดจนเน้นที่โยเกิร์ตไขมันต่ำ (low fat) ไร้ไขมัน (zero fat) เป็นต้น ดังนั้นรูปแบบของตลาดได้เปลี่ยนมาในรูปแบบฟังก์ชันนัลฟู้ด (functional food) มากขึ้น เพื่อขยายฐานผู้บริโภคและสร้างตลาดให้เติบโต ราคาคัพโยเกิร์ตปกติ ขนาด 140-150 กรัมมี ราคา 11 บาท สำหรับตลาดในประเทศไทย การเปิดตัวกลุ่มฟังก์ชันนัลคัพโยเกิร์ต เช่น บิวตี้ ไบรท์ ผู้มีส่วนแบ่งโดยรวมสูงสุดคือ ตลาดดัชมิลล์ มีส่วนแบ่ง 65-70 เปอร์เซ็นต์ อันดับ 2 คือ บีทาเก้น อันดับ 3 ของตลาด คือ ซีพี เมจิ

โยเกิร์ต

โยเกิร์ต (Yoghurt) หมายถึง นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยแบคทีเรีย สเตรปโทค็อกคัส เทอร์โมฟิลัส และแล็กโทบาซิลลัส บัลแกริคัส หรือแล็กโทบาซิลลัส ซับสปีชีส์ อื่น โยเกิร์ตปรุงแต่ง (flavoured yoghurt or composite fermented milk) หมายถึงโยเกิร์ตที่ผ่านการปรุงแต่งกลิ่นรส สี หรือวัตถุอื่นที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น ผลไม้ แยม เป็นต้น ซึ่งอาจแยกชั้นใน ภาชนะบรรจุ (set yoghurt) หรือผสมรวมเข้าด้วยกัน (stirred yoghurt) และมีจุลินทรีย์ใช้ในการหมักบ่มที่มีชีวิตคงเหลืออยู่ โยเกิร์ตเป็นนมเปรี้ยวที่นิยมบริโภคกันในยุโรปตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียกลาง เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายทั่วไป และสามารถผลิตได้ง่าย การผลิตจำเป็นต้องใช้แล็คติกแอซิดแบคทีเรียในกระบวนการหมักน้ำนมให้กลายเป็นโยเกิร์ต (Tamime and Robinson, 2007) เปรมจิตต์ และสุทิน (2542) รายงานว่า โยเกิร์ตเป็นอาหารที่มีประโยชน์มากอย่างหนึ่ง เป็นแหล่งสำคัญที่ให้วิตามินบีต่าง ๆ และวิตามินประเภทละลายในไขมันหลายชนิด จึงถือได้ว่ามีความสำคัญเหนือนม เพราะว่าโยเกิร์ตสามารถสังเคราะห์แบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อลำไส้ได้ และสามารถฆ่าแบคทีเรียที่เป็นอันตรายต่อร่างกายได้หลายชนิด นอกจากนี้ยังสามารถช่วยย่อยน้ำตาลแลคโตสในนมด้วย ปัจจุบันนี้มีค่านิยมที่มีใครหลายๆ คนเข้าใจว่า นมเปรี้ยว หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า โยเกิร์ต ช่วยลดน้ำหนักได้ ซึ่งในความเป็นจริงจะช่วยได้มากหรือน้อยนั้นเป็นผลมาจากการบริโภคอาหารอื่นๆ ร่วมด้วย

การผลิตโยเกิร์ตจะได้จากการนำนมมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (pathogenic bacteria)ให้หมดไป Tamime and Robinson (2007) รายงานถึงการให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 - 40 นาที หรือ 90 - 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ว่าเป็นการให้ความร้อนที่เพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและเพียงพอที่จะทำให้เวย์โปรตีน (whey protein) เกิดการเสื่อมสภาพ (denature) และยังเป็นการเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยากันระหว่างแคปป้าเคซีน (κ-casein), เบต้า-แล็กโตกลอบูลิน (β- lactoglobulin) และ แอลฟ่า-แล็คต้าบูมิน (α - lactalbumin) นอกจากนี้ยังเป็นการกระตุ้นทำให้เกิดการสร้างกลิ่น (volatile compounds) ในน้ำนมอีกด้วย จากนั้นทำการเติมเชื้อโยเกิร์ตลงไปซึ่งส่วนใหญ่คือ จุลินทรีย์กลุ่ม thermophilic bacteria เช่น *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* เป็นต้น ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้จะเจริญเติบโตได้ดีที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 40-45 องศาเซลเซียส โปรตีนในนมจะค่อยๆเกาะตัวกันเป็นก้อนเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีการผลิตกรดแลคติกที่มาจากการใช้น้ำตาล แลคโตส ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด- ด่างในนมลดลง

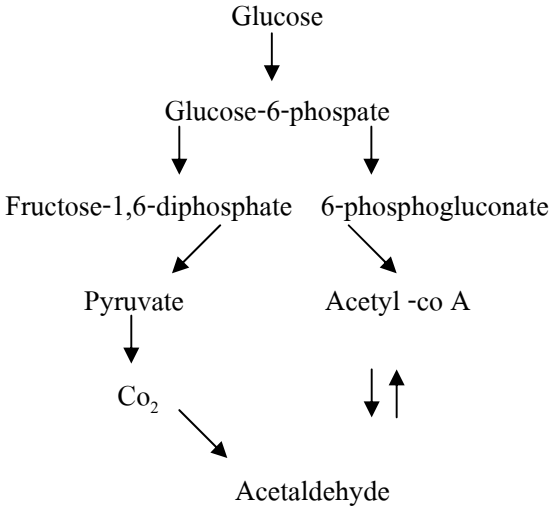
จุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์นมหมัก

แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

1. *S. thermophillus* และ *L. bulgaricus* ปกติจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะไม่พบในทางเดินอาหารปกติของคน ไม่ทนต่อความเป็นกรดของน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร และน้ำดี มีเพียง 15 เปอร์เซ็นต์ ที่สามารถมีชีวิตรอดผ่านไปถึงลำไส้ใหญ่ได้ มีผลต่อสุขภาพทางเดินอาหารของมนุษย์ จากผลของเอนไซม์หรือสารบางอย่างที่แบคทีเรียเหล่านี้สร้างขึ้น

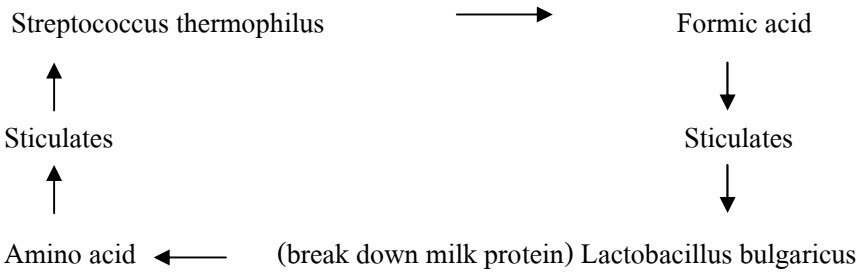
2. Bifidobacteria และ Lactobacilli พบในทางเดินอาหารปกติของคน ไม่ทนต่อความเป็นกรดของน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร และน้ำดี มีประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่มีชีวิตรอดไปจนถึงลำไส้ใหญ่ได้ มีความสามารถในการเกาะในทางเดินอาหาร ช่วยขัดขวางการเกาะตัวของเชื้อโรคในลำไส้ เช่น E.coli และ *salmonella*

นภา (2535) รายงานว่า เชื้อ *S. thermophillus* เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างไดอะซิติล (diacetyl) และสารประกอบที่คล้ายกันซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของนม และช่วยขจัดออกซิเจนออกจากนมซึ่งถ้าหากเหลืออยู่อาจทำให้เกิดไฮโดรเจนเปอออกไซด์ การเจริญของเชื้อกลุ่มนี้จะดำเนินต่อไปจนกระทั่งถึงความเป็นกรด-ด่างที่ 5.5 จะมีการสร้างสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อ *L. bulgaricus* ต่อไป ซึ่งเชื้อ *L. bulgaricus* มีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตอยู่ที่ 45 องศาเซลเซียสและยังให้ปริมาณกรดแลคติกที่มากพอที่จะสร้างอะซิติลดีไฮด์ (acetaldehyde) ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นรสเฉพาะของโยเกิร์ตได้ (ภาพที่ 1) ในกรณีของโยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสดีมาก จะมีปริมาณอะซิติลดีไฮด์อยู่ 23-41 ppm คิดเป็นสัดส่วนของสารประกอบที่ให้กลิ่น (volatile flavour compound) ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้แล้วเชื้อ *L. bulgaricus* จะปล่อยกรดอะมิโนบางตัวที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. thermophillus* ในการสร้างสารให้กลิ่นรสของโยเกิร์ตโดยเชื้อสายพันธุ์ผสม พบว่าเชื้อ *S. thermophillus* จะสร้างกรดฟอร์มิคออกมา ซึ่งเชื้อ *L. bulgaricus* จะนำกรดฟอร์มิคนี้ไปใช้ในการสร้างสารที่ให้กลิ่นรส รวมทั้งอะซิติลดีไฮด์ออกมาด้วย (ภาพที่ 2) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของของเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์อยู่ที่ประมาณ 40-42 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมินี้เชื้อโยเกิร์ตที่ผสมกันสามารถมีกิจกรรมร่วมกันได้สูงสุด



ภาพที่ 1 กระบวนการสังเคราะห์ อะซิตัลดีไฮด์

ที่มา: Tamime and Robinson (2007)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์แบบพึ่งพากันของแบคทีเรียกรดแลคติก

ที่มา: IPC Livestock (1989)

โยเกิร์ตนมแพะ

ปัจจุบันการบริโภคนมแพะและผลิตภัณฑ์จากนมแพะได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการในนมแพะนั้นใกล้เคียงกับนมโคหรืออาจจะสูงกว่าในบางองค์ประกอบเช่น โปรตีน และแคลเซียม นมแพะมีสัดส่วนของกรดไขมันสายสั้นและสายกลางมากกว่านมโคถึง 2 เท่า และมีขนาดของเม็ดไขมันที่เล็กมากจึงทำให้ง่ายต่อการย่อยและดูดซึม อีกทั้งนมแพะยังมีโปรตีนแอลฟ่าเอสวันเคซีนปริมาณน้อยกว่านมโค เมื่อทำปฏิกิริยาในกระเพาะอาหารจะเกิดเป็นก้อนเคิร์ดที่นิ่มกว่านมโค จึงทำให้นมแพะย่อยง่ายและรวดเร็วไม่ก่อให้เกิดภาวะ

ภูมิแพ้เหมือนในนมโค (Maria *et al*., 2008) ซึ่งคุณสมบัติด้านต่างๆขององค์ประกอบในนมแพะเหล่านี้ ได้มีผลต่อกระบวนการเกิดเจลและโครงสร้างของเจลที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากนมแพะโดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตโยเกิร์ต ซึ่งโยเกิร์ตนมแพะมีความแตกต่างจากโยเกิร์ตนมโคในคุณสมบัติที่สำคัญบางประการ เช่นความหนาแน่นของการเกาะตัวกันของเนื้อนมซึ่งจะมีลักษณะที่นุ่ม เหลวและมีความหนืดที่น้อยกว่า (Karademir *et al*., 2002) จึงทำให้ไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค ถึงแม้จะเพิ่มปริมาณการเติมนมผงในส่วนผสมเพื่อปรับโครงสร้างเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้นก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหานี้ได้และทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นอีกด้วย การหาวัตถุดิบอื่นที่มีคุณสมบัติที่ดีสามารถช่วยในการปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะให้ดีขึ้นเพื่อทดแทนการใช้นมผงและช่วยลดต้นทุนในการผลิตจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ

แป้ง

แป้งเป็นแหล่งของสารอาหารที่ให้พลังงานสูงแก่มนุษย์ แต่นอกเหนือจากการนำแป้งมาใช้เพื่อบริโภคเป็นอาหาร แป้งยังมีคุณสมบัติที่ดีอีกประการคือสามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความคงตัวตามธรรมชาติ เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวของเนื้อสัมผัส และป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูป (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546) อีกทั้งในแป้งยังมีองค์ประกอบของใยอาหารซึ่งมีคุณสมบัติบำรุงระบบทางเดินอาหาร ช่วยควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อต่างๆในลำไส้ให้ทำงานอย่างสมบูรณ์ และช่วยให้การขับถ่ายเป็นไปตามปกติ โสภิดาและคณะ (2542) ได้อธิบายไว้ว่า แป้งเป็นโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่สำคัญที่สุดในธรรมชาติ เกิดจากโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) หลายหน่วย มาต่อกัน สูตรทั่วไปคือ $(C_6\ H_{10}O_5)_n$ โดยปกติแป้งจะมีอยู่ในเมล็ด ราก และลำต้นของพืช ลักษณะของแป้งจะเป็นเม็ดเล็ก มีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ในประเทศไทยอุตสาหกรรมการผลิตแป้งจัดเป็นอุตสาหกรรมการแปรรูปทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ แป้งที่ผลิตมากที่สุดได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าว แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด

แป้งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แป้งฟลาว (flour) และ แป้งสตาร์ช (starch)

1. แป้งฟลาว หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบจากการเกษตรชนิดต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันสำปะหลัง มันฝรั่งและมันเทศ เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบมาโม่ บดหรือตี จนละเอียดมากดังนั้นส่วนประกอบของแป้งฟลาวจึงประกอบด้วยสารอาหารต่างๆที่มีอยู่ในวัตถุดิบเดิมทั้งหมด คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และ แร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น

2. แป้งสตาร์ช หมายถึงผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตแป้งฟลาว แต่มีกรรมวิธีการผลิตที่แยกเอาส่วนของสารอาหารคาร์โบไฮเดรต โดยมีสารอื่นปะปนมาน้อยที่สุด ดังนั้นแป้งสตาร์ช จึงประกอบด้วยสารอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ (อรพิน, 2533)

องค์ประกอบสำคัญภายในแป้ง

1. อะไมโลส (amylose) ประกอบไปด้วยหน่วยของกลูโคส ประมาณ 500-2,000 หน่วย มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะแอลฟ่า 1-4 ไกลโคซิดิก (α,1-4 glycosidic linkage) มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไปตั้งแต่ 2,000-500,000 หน่วย โดยทั่วไปอะไมโลสจะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็นไมเซลล์ และเมื่อรวมกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน มีอยู่ประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งทั้งหมด

2. อะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นแป้งที่มีโครงสร้างแตกแขนง โดยแต่ละแขนงจะประกอบไปด้วยหน่วยกลูโคสประมาณ 12 หน่วย แกนของอะไมโลเพคตินจะยึดกันด้วยพันธะแอลฟ่า 1-4 ไกลโคซิดิก แต่ละจุดที่มีการแตกแขนงจะยึดกันด้วยพันธะแอลฟ่า 1-6 ไกลโคซิดิก (α, 1-6 glycosidic linkage) โดยทั่วไปปกติ อะไมโลเพคตินจะเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยมากกว่า 1,000,000 หน่วย เมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีม่วงแดง มีอยู่ประมาณ 75-80 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งทั้งหมด

คุณสมบัติของแป้ง

แป้งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโครส ซึ่งมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาเคมี ทำให้แป้งมีคุณสมบัติต่างไปจากเดิมเป็นคุณสมบัติที่อุตสาหกรรมต้องการ เช่นการปรับคุณสมบัติของอาหารในการทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวของเนื้อสัมผัสและป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูป (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546) สุภารัตน์ (2530) รายงานว่าลักษณะเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช โดยทั่วไปเม็ดแป้งมีขนาดตั้งแต่ 2-100 ไมครอน มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน คือ กลม รูปไข่และหลายเหลี่ยม ภายในเม็ดแป้งมีโมเลกุลเป็นเส้นยาวของอะไมโลสมาเกาะเกี่ยวกับโมเลกุลของอะไมโลเพคติน โดยมีพันธะไฮโดรเจน เป็นตัวช่วยเกาะเกี่ยวให้เข้ามาจัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ บางส่วนเรียงตัวหนา บางส่วนก็บาง ซึ่งจะสลับกันในแนวรัศมีของเม็ดแป้ง จึงทำให้เกิดลักษณะที่

เรียกว่า วงแหวน (concentric ring) ขึ้นในเม็ดแป้ง โครงสร้างของอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์ ของน้ำตาลกลูโคสมาเกาะเกี่ยวกันเป็นเส้นยาว ส่วนอะไมโลเพคตินจะเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสเช่นกันแต่จะเกาะเกี่ยวกันในรูปที่เป็นกิ่งก้านสาขา สัดส่วนหรือปริมาณของ อะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง เช่นแป้งข้าวเจ้าจะมีอะไมโลสอยู่ปริมาณร้อยละ 17 ส่วนที่เหลือคือ อะไมโลเพคติน แป้งข้าวเหนียวจะมีปริมาณอะไมโลเพกตินอยู่สูงมากประมาณร้อยละ 99 แป้งมันสำปะหลังมี อะไมโลสอยู่ร้อยละ 17 ส่วนแป้งอื่นๆจะมีปริมาณอะไมโลสอยู่ร้อยละ 25 สัดส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินของเม็ดแป้งดังกล่าวจึงเป็นปัจจัยหนึ่งต่อสมบัติต่างๆ ของแป้งที่เอื้อต่อการนำไปใช้ประโยชน์เป็นอย่างมากดังเช่น อะไมโลส จะมีผลต่อการเกิดเจลได้ดี สามารถเกาะตัวกันเป็นแผ่นฟิล์มบางๆและเกิดเจลลาติไนซ์(gelatinization) ที่อุณหภูมิสูง แต่อะไมโลสจะไม่คงตัวเมื่อนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำ โดยเฉพาะในระดับแช่เยือกแข็ง เพราะจะมีส่วนที่เป็นน้ำแยกตัวออกมาเรียกว่าเกิดการแยกน้ำแยกเนื้อ (syneresis) ส่วนอะไมโลเพคตินนั้นให้ผลตรงกันข้ามหากจะต้องใช้แป้งในผลิตภัณฑ์อาหารที่จะต้องผ่านการแช่แข็งควรเลือกใช้แป้งที่มีอะไมโลเพกตินสูง (สายสนม, 2528)

ความหนืด

โดยปกติเมื่อแป้งผสมอยู่ในน้ำแป้งจะแตกตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ แต่จะไม่ละลายน้ำเนื่องจากอนุภาคของแป้งจะมีขนาดใหญ่เกินที่จะละลายน้ำได้ แป้งจะมีความหนาแน่นค่อนข้างสูงประมาณ 1.45-1.64 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) ดังนั้นแป้งจึงพร้อมที่จะตกตะกอนหลังจากแขวนลอยอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารแขวนลอยสูงขึ้นประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) น้ำจะเข้าไปในส่วนของ อะมอพัส (amorphous region) และพลังงานความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนในคริสตัลไล (crystalline region) ทำให้สามารถเข้าไปในเม็ดแป้งมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดบวมอย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นจะลดลง ความหนืดจะสูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นผิวของเม็ดแป้งจะเปิดมากขึ้น จนเม็ดแป้งเกิดการแตกฉับพลัน ทำให้อะไมโลส ออกจากเม็ดแป้งเกิดเป็นเจลขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเกิดเจลลาติไนซ์ (โสภิดาและคณะ, 2542) แต่เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการนี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำไปอีกลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลน้ำอิสระที่อยู่ภายในจะถูกบีบ

ออกมานอกเจล ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดการแยกน้ำแยกเนื้อ ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546)

แป้งที่ผลิตในประเทศไทย

1. แป้งถั่วเหลือง

แป้งถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโปรตีนสูงโดยเฉพาะกลุ่มอะมิโนชนิดต่างๆ เช่น ไลซีน (Godfay, 2002) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากถั่วเหลืองมีการอธิบายเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการที่มีผลต่อสุขภาพที่ดี เช่น ช่วยลดความเสี่ยงการเป็นมะเร็งหรือโรคหัวใจ ช่วยลดระดับของคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด (Riaz, 1999) นิรนาม (2547) รายงานว่า ถั่วเหลืองประกอบไปด้วยส่วนประกอบดังต่อไปนี้ โปรตีน 38 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 18 เปอร์เซ็นต์ (เป็นเลซิทิน (lecithin) 5 เปอร์เซ็นต์) ความชื้น 5 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายในน้ำ 15 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำเช่น ซูโครส (sucrose) สตาชิโอส (starchyose) ถั่วเหลืองเป็นโปรตีนจากพืชเพียงชนิดเดียวที่มีคุณสมบัติเหมือนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ มีกรดอะมิโน (amino acid) ที่สำคัญ 9 ชนิด ไขมันจาก ถั่วเหลืองมีกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย มีวิตามินอีสูงส่วนประกอบของไขมันได้แก่ ไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fat) อยู่ 63 เปอร์เซ็นต์ ไขมันอิ่มตัว (saturated fat) 15 เปอร์เซ็นต์ ไขมันไม่อิ่มตัวชนิดเดี่ยว (monounsaturated) 24 เปอร์เซ็นต์ และยังมีกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อมนุษย์ เราสามารถแปรรูปถั่วเหลืองไปเป็นส่วนประกอบของอาหารหรืออาหารได้มากมายเช่น แป้งถั่วเหลือง น้ำมันถั่วเหลือง ซอสถั่วเหลือง เต้าหู้ถั่วเหลืองเป็นต้น แป้งถั่วเหลืองผลิตโดยการนำถั่วเหลืองไปอบและบดเป็นผงซึ่งจะมีโปรตีนเป็นส่วนผสมร้อยละ 50 แป้งถั่วเหลืองมี 3 ชนิดได้แก่ 1. แป้งถั่วเหลืองชนิดโปรตีนครบถ้วน 2. แป้งถั่วเหลืองไขมันต่ำ โดยการนำถั่วเหลืองไปสกัดไขมันออกก่อน 3. แป้งถั่วเหลืองผสมเลซิทิน

แป้งถั่วเหลืองนอกจากจะมีคุณสมบัติด้านโปรตีนแล้ว ยังมีคุณสมบัติเกี่ยวกับอิมัลชัน (emulsification) ฟอร์เมชัน (formation), สแตบิไลเซอร์ อิลาสติก (elastic) และ สี (color control) แต่ข้อจำกัดของถั่วเหลืองคือ เรื่องของปริมาณในการใช้ที่จำกัดเนื่องมาจากกลิ่น กลิ่นที่พบทั่วไปในถั่วเหลืองคือกลิ่นที่เรียกว่า green/grassy หรือกลิ่นถั่ว (beany)

อารีย์ (ม.ป.ป.) รายงานว่า ได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากถั่วเหลืองในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมายเช่นในการทำชิฟฟอนเค้กและคุ้กกี้ ได้ใช้เซลลูโลสผงที่สกัดจากถั่วเหลือง

แทนแป้งเค้กและแป้งสาลี โดยชิฟฟอนเค้กที่เติมเซลลูโลสผงจากเปลือกถั่วเหลือง 6 เปอร์เซ็นต์ มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีปริมาณใยอาหารเพิ่มจากสูตรปกติซึ่งมีค่า 0.51 เป็น 1.53 และ 2.44 กรัม/100 กรัม ส่วนคุ้กกี้ที่เติมเซลลูโลส 10เปอร์เซ็นต์ มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีค่าปริมาณใยอาหาร 2.38-2.54 กรัม/100 กรัม การผลิตโปรตีนเกษตรได้มีการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อเทียมซึ่งผลิตจากแป้งถั่วเหลืองพร่องไขมันจากแหล่งต่างๆ เพื่อทดแทนการนำเข้า ผลการศึกษาพบว่า แป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน ซึ่งผลิตเองในประเทศมีคุณภาพทางโภชนาการใกล้เคียงกับต่างประเทศ แต่เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมพบว่ายังมีปัญหาทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อยู่บ้าง ข้อดีของแป้งถั่วเหลืองคือ ไม่มีคอเลสเตอรอล ปริมาณโซเดียมต่ำ ไม่มีน้ำตาล ปริมาณแมงกานิส แม็กนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และไรโบฟลาวิน

2. แป้งข้าวโอ๊ต

นิรนาม (2547) รายงานในบทความเรื่องความรู้เกี่ยวกับอาหารเสริมว่า ข้าวโอ๊ต (oat bran) เป็นพืชที่ให้เมล็ด (grain) ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารอย่างมากมาย โดยเฉพาะสารอาหารจำพวกแป้งหรือคาร์โบไฮเดรต เป็นพืชที่นิยมเพาะปลูกในแถบยุโรปตอนเหนือเนื่องจากเจริญเติบโตได้ดีในเขตหนาว ชาวยุโรปนิยมรับประทานข้าวโอ๊ตเป็นอาหารเช้า ข้าวโอ๊ต จะให้เส้นใยอาหารหรือไฟเบอร์ 2 ชนิด คือ เส้นใยชนิดที่ละลายน้ำได้ (soluble fiber) มีในอัตราส่วน 95-98 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble fiber) มีในอัตราส่วน 2-5 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในข้าวโอ๊ต

สำหรับไฟเบอร์ ที่พบทั่วไปทางโภชนาการสามารถจำแนกชนิดของเส้นใยอาหารหรือไฟเบอร์ อย่างง่าย ๆ ตามลักษณะของการละลายน้ำได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ไฟเบอร์ชนิดละลายน้ำ ไฟเบอร์ชนิดนี้จะเป็นไฟเบอร์ที่สามารถละลายน้ำได้ และเมื่อละลายตัวในน้ำแล้วจะทำให้เกิดสารละลายที่มีลักษณะเป็นเจล (gel-like) ขึ้น โดยไฟเบอร์ชนิดนี้จะละลายในน้ำ และกลายเป็นเจลซึ่งจะไปหุ้มโมเลกุลของสารอาหาร ก่อนที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดทำให้โมเลกุลของสารอาหารเหล่านั้นไม่สามารถถูกดูดซึมได้ ไฟเบอร์หลายชนิดเกาะติดกับโมเลกุลของไขมันได้เป็นอย่างดี จึงส่งผลทำให้ไขมันและสารอาหาร อื่นๆ ไม่สามารถถูกย่อยและถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ หลังจากนั้นไฟเบอร์ชนิดนี้ก็จะพาเอาสารอาหารที่ติดอยู่ดังกล่าว

ทั้งหมดขับออกไปทางอุจจาระต่อไป จากผลวิจัยทางการแพทย์พบว่า ไฟเบอร์ชนิดนี้ให้ผลในการลดปริมาณไขมันโคเลสเตอรอล (cholesterol) และน้ำตาลในเลือดได้อย่างชัดเจน

2. ไฟเบอร์ชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ไฟเบอร์ชนิดนี้จะมีการทำงานคล้ายฟองน้ำ (sponge) โดยจะดูดซับน้ำไว้กับตัวเองทำให้พองตัว ถ้าหากรับประทานไฟเบอร์ชนิดนี้เข้าไปจะส่งผลทำให้สิ่งที่ต้องการขับถ่ายมีปริมาตรมากขึ้น จึงเป็นการง่ายที่จะกำจัดของเสียออกนอกร่างกายนอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยไม่ละลายน้ำนี้จะช่วยเร่งให้อุจจาระมีการเคลื่อนที่ผ่านลำไส้ใหญ่ได้เร็วขึ้นป้องกันและแก้ปัญหาท้องผูก อย่างได้ผล (นิรนาม, 2547)

นิรนาม (ม.ป.ป.) รายงานถึงประโยชน์ของการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของข้าวโอ๊ตมีมากมาย เช่น มีโปรตีน กรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำและมีปริมาณไทอามีนสูง โดยได้มีการทำการศึกษาในผู้ป่วยจำนวน 20 คน ที่เป็นโรคความดันโลหิตสูง ที่ไม่เข้ารับการรักษาใดๆ เลย แต่หันมากินข้าวโอ๊ต เป็นประจำทุกวัน ผลปรากฏว่า อัตราความดันขณะหลอดเลือดหดตัว (systolic pressure) ลดลง 8 มิลลิเมตรปรอท และอัตราความดันขณะหลอดเลือดขยายตัว (diastolic pressure) ลดลง 3 มิลลิเมตรปรอท นอกจากจะศึกษาว่าใยอาหารที่ละลายน้ำได้ในข้าวโอ๊ตมีผล ต่อการการลดระดับโคเลสเตอรอลและความดันแล้ว ก็ยังมี การศึกษา รวมไปถึงเรื่องความไวต่ออินซูลินด้วย โดยพบว่าข้าวโอ๊ต สามารถเพิ่มความไวต่ออินซูลินได้ จากผลการศึกษาสรุปผลว่าอาหารที่มีใยอาหาร ที่ละลายน้ำได้ จะช่วยให้เกิดการดูดซึม น้ำตาลกลูโคสจากลำไส้ ช้าลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหาร ลดลงเป็นผลให้ร่างกายใช้อินซูลินน้อยลงไปด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าคนที่กินข้าวโอ้ตจะรู้สึกอิ่มนาน เพราะรำข้าวโอ๊ต และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ในข้าวโอ๊ต จะดูดซึมน้ำไว้ในปริมาณมาก ซึ่งจะทำให้กระบวนการย่อยอาหารเป็นไปอย่างช้าๆ จนทำให้ รู้สึกอิ่มนานขึ้น

3. แป้งข้าวโพด

ได้จากการสกัดเอาแป้งจากเมล็ดข้าวโพดที่แก่และแห้งแล้วโดยการโม่แยกส่วนคัพพะและเปลือกออก เหลือเอนโดสเปอร์มซึ่งเป็นส่วนของเนื้อแป้งไว้ แป้งข้าวโพดที่ได้มี 3 ลักษณะคือ ชนิดหยาบเรียกคอร์นกริท (corn grit) ค่อนข้างละเอียดเรียกว่า คอร์นมิล (corn meal) และชนิดละเอียดเรียกแป้งข้าวโพด (corn flour) นอกจากนั้นยังมีผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งข้าวโพดในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เป็นอาหารเช้า (breakfast cereal) และขนมปังข้าวโพด ใช้เป็นแป้งชุบทอด ใช้เป็นน้ำซุปข้นราดบนอาหารหลายชนิด แป้งข้าวโพดจะมีโมเลกุลที่มีน้ำหนักสูงและมี ดีกลูโครส

เป็นองค์ประกอบอยู่ 2 ชนิด คือ อะไมโลส และอะไมโลแพคติน ในสัดส่วนร้อยละ 27 และ 73 ตามลำดับ สัดส่วนนี้อาจเปลี่ยนแปลงตามชนิดและพันธุกรรมของข้าวโพดโมเลกุลของอะไมโลเพคตินประกอบด้วย โมเลกุลของกลูโคส 40,000 หน่วย หรือมากกว่า จับตัวกันยาวและแตกแขนง ส่วนโมเลกุลกลูโคสของอะไมเลส จะมีประมาณ 10,000 หน่วย อะไมโลเพคตินมีคุณค่าสำคัญใช้ในอุตสาหกรรมแป้ง ส่วนอะไมโลสมีความสำคัญในการทำฟิล์ม เยื่อใย และอุตสาหกรรมอื่นๆอีกมากมาย (ราเชนทร์, 2539)

4. แป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้ามีคุณลักษณะที่ต้องการเป็นผงสีขาวหรือสีขาวนวล มีกลิ่นตามธรรมของแป้งข้าวเจ้าไม่มีกลิ่นอับ เหม็นหืน เหม็นเปรี้ยว หรือกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่น แป้งข้าวเจ้าจะมีอะไมโลสอยู่ปริมาณร้อยละ 17 ส่วนที่เหลือคือ อะไมโลเพคตินร้อยละ 83 โดยอะไมโลสจะประกอบไปด้วยหน่วยของกลูโคส ประมาณ 500-2,000 หน่วย มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะแอลฟ่า 1-4 ไกลโคซิดิก อะไมโลสจะมีผลต่อการเกิดเจลได้ดี สามารถเกาะตัวกันเป็นแผ่นฟิล์มบางๆและเกิดเจลลาติไนซ์ที่อุณหภูมิสูง แต่อะไมโลเพคตินจะมีโครงสร้างแตกแขนง โดยแต่ละแขนงจะประกอบไปด้วยหน่วยกลูโคสประมาณ 12 หน่วย แกนของอะไมโลเพคตินจะยึดกันด้วยพันธะ แอลฟ่า 1-4 ไกลโคซิดิก แต่ละจุดที่มีการแตกแขนงจะยึดกันด้วยพันธะ แอลฟ่า 1-6 ไกลโคซิดิก อะไมโลสจะไม่คงตัวเมื่อนำไปเก็บที่อุณหภูมิต่ำ โดยเฉพาะในระดับแช่เยือกแข็ง เพราะจะมีส่วนที่เป็นน้ำแยกตัวออกมาเรียกว่าเกิดการแยกน้ำแยกเนื้อ ส่วนอะไมโลเพคตินนั้นให้ผลตรงกันข้ามหากจะต้องใช้แป้งในผลิตภัณฑ์อาหารที่จะต้องผ่านการแช่แข็งควรเลือกใช้แป้งที่มีอะไมโลเพกตินสูง (สายสนม, 2528) ข้อดีของแป้งข้าวเจ้าคือมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ ไม่มีคอเลสเตอรอล โซเดียม มีปริมาณน้ำตาลต่ำ ปริมาณแม็กนิเซียมสูง

5. แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังคือแป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง ประกอบด้วยเม็ดแป้งตั้งแต่ 2-8 เม็ดมารวมตัวกัน แต่ละเม็ดจะมีความยาวตั้งแต่ 5-35 ไมครอน เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นรูปไข่ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออกและผิวตรงส่วนที่ตัดออกมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมด้านหนึ่งโค้ง อีกด้านแบนไม่สม่ำเสมอกัน เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอยบุ๋มอย่างชัดเจน และในบางครั้งอาจเห็นชั้นของแป้งด้วย ลักษณะทั่วไปของแป้งมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นผงละเอียด ลักษณะเกาะกัน

เล็กน้อย ไม่มีความแวววาว สีขาว ไม่มีกลิ่นหมัก เมื่อสัมผัสด้วยมือ ไม่ลื่นมือ และนุ่มเหมือนแป้งข้าวโพด ข้อดีของแป้งมันสำปะหลังคือมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ ไม่มีคอเลสเตอรอล มีปริมาณโซเดียมต่ำและมีปริมาณวิตามินซีสูง แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ถึง 23 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการพองตัวที่ดี (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546)

6. แป้งข้าวเหนียว

แป้งข้าวเหนียวคัดสรรจากข้าวเหนียวท่อน ข้าวเหนียวเม็ด ข้าวเหนียวท่อนยาว ข้าวเหนียวท่อนหักชนิดดี โดยคัดสิ่งแปลกปลอมออก เช่น แกลบ ฝุ่นผง และเม็ดดำและอื่นๆ จนได้ข้าวที่สะอาดตามคุณภาพมาตรฐานเพื่อผลิตแป้งข้าวเหนียวที่มีคุณภาพ มาตรฐานอุตสาหกรรม แป้งข้าวเหนียว (มอก. 639-2529) จะคล้ายคลึงกับแป้งข้าวเจ้า ยกเว้น ปริมาณอะไมโลสที่แตกต่างจากแป้งข้าวเจ้า โดยที่ปริมารแป้งข้าวเหนียวจะต้องมีปริมาณอะไมโลส ร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่เกิน 9.0 มีเม็ดแป้งขนาดไม่เกิน 158 ไมครอน สีของแป้ง สีขาวตามธรรมชาติ บริสุทธิ์ กลิ่นและรส แป้งที่สะอาดสด มีรสและกลิ่นหอมตามธรรมชาติ ข้อดีของแป้งข้าวเหนียวคือมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ ไม่มีคอเลสเตอรอล ปริมาณโซเดียมต่ำและไม่มีน้ำตาล

การใช้แป้งในอุตสาหกรรมอาหาร

เมื่อพิจารณาการใช้ประโยชน์ของแป้งในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ทั่วโลก พบว่าใช้ในผลิตภัณฑ์ อาหารสำเร็จรูปมากที่สุด (30 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำเป็นผง (25 เปอร์เซ็นต์) สำหรับอาหาร เด็กอ่อน ขนมอบและขนมหวานมีปริมาณเท่ากัน คือ 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 3 ชนิด ส่วนที่เหลือเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร ประเภทที่ผลิตโดยเครื่องเอกซ์ทรูดและผลิตภัณฑ์นมอีกอย่างละ 5 เปอร์เซ็นต์

โดยทั่วไปแป้งที่เติมลงในอาหารอาจทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

- เพื่อเป็นตัวเพิ่มความข้นหนืดให้กับผลิตภัณฑ์ (thickening agent) เช่น การใช้แป้งในซอส ซุปครีม ไส้พาย เป็นต้น

- เพื่อเพิ่มความคงตัวของคอลลอยด์ (colloid stabilizer) เช่น ในน้ำสลัด

- เพื่อเป็นตัวเชื่อมส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ (binder)
- เพื่อให้เกิดลักษณะที่เป็นเจล (gel-forming agent)

สำหรับในอุตสากรรมนมและผลิตภัณฑ์นมนั้น ได้มีการศึกษานำแป้งมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์กลุ่มโยเกิร์ต เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านโครงสร้าง เนื้อสัมผัส ผลิตภัณฑ์กลุ่มไอศกรีม ผลิตภัณฑ์กลุ่มชีส และผลิตภัณฑ์กลุ่มนมไขมันต่ำ เป็นต้น

แนวโน้มการพัฒนาการผลิตโยเกิร์ต

โยเกิร์ตเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากนมซึ่งในปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ได้มีการแปรรูปโยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมาย เช่น โยเกิร์ตไขมันต่ำ โพรไบโอติกโยเกิร์ต นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม ไอศกรีมโยเกิร์ตเป็นต้น การแปรรูปโยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับโยเกิร์ตและสามารถสนองตอบต่อความต้องการของผู้บริโภคได้ สาเหตุที่มีผู้นิยมบริโภคโยเกิร์ตเนื่องจากโยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และเป็นแหล่งของสารอาหารที่ครบถ้วน เหมาะสำหรับผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย (Fiszman and Salvador, 1999)

Zekai *et al*. (2003) ได้ทำการศึกษาการเสริมแยมรสผลไม้ ได้แก่ cornelian, morello cherry, rose hop marmalade, grape molasses, plup ในโยเกิร์ตในอัตราส่วน 7 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก (w/w) เพื่อต้องการที่จะใช้แยมผลไม้รสต่างๆ ช่วยเพิ่มรสชาติทางประสาทสัมผัส ให้โยเกิร์ตเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น ผลการทดลองพบว่าโยเกิร์ตที่เสริมแยมผลไม้รส grape molasses และ morello cherry ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติสูงกว่าการเสริมแยมรสอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

Kebary *et al*. (2004) ได้ศึกษาผลของการเสริมโมดิไฟด์ สตาร์ช (modified starch) ต่อคุณภาพของ โยเกิร์ตนมโค โดยมีการเสริมโมดิไฟด์ สตาร์ชเพื่อทดแทนการใช้นมผง ที่ระดับ 20 40 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ พบว่าการเสริมโมดิไฟด์ สตาร์ช ทดแทนนมผงที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลคะแนนการทดสอบด้านประสาทสัมผัส (เนื้อสัมผัส รสชาติและลักษณะที่ปรากฏ) และคุณภาพของโยเกิร์ต แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สรุปคือปริมาณโมดิไฟด์ สตาร์ช ที่สามารถใช้ ทดแทนการใช้นมผงได้ที่อยู่ที่ระดับ 40 เปอร์เซ็นต์

Staffolo *et al*. (2004) ศึกษาการเสริมใยอาหารที่มีการผลิตขายเป็นการค้า 4 ชนิดได้แก่ ใยอาหารจากแอ๊บเปิ้ล ใยอาหารข้าวสาลี ใยอาหารจากไผ่ และอินนูลิน (inulin) ปริมาณ 1.3 เปอร์เซ็นต์ ในโยเกิร์ตนมโครสธรรมชาติเทียบกับชุดควบคุม โยเกิร์ตนมโครสธรรมชาติที่ไม่มีการเสริมใยอาหาร เก็บรักษาโยเกิร์ตเป็นเวลา 21 วัน พบว่า ค่าการแยกน้ำแยกเนื้อ ของทุกตัวอย่างไม่มีความแตกกัน ค่าน้ำอิสระ (a_w) ค่าความเป็นกรด-ด่าง และสี ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะการเก็บรักษา แต่ค่าความหนืดและเนื้อสัมผัสของแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าทางประสาทสัมผัส (เนื้อสัมผัส, รสชาติและลักษณะที่ปรากฏ) พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับทุกตัวอย่างด้วยคะแนนที่สูงและไม่แตกต่างกัน ยกเว้นด้านสีของโยเกิร์ตที่เสริมใยอาหารแอ๊ปเปิ้ล ที่มีสีน้ำตาลเด่นชัดมากที่สุด

Jimoh and Kolapo (2007) ได้ศึกษาผลการใช้แป้งข้าวโพด แป้งมัน และเจลลาติน ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารเพิ่มความคงตัว เพื่อรักษาสภาพเนื้อสัมผัสและป้องกันการแยกตัวของเวย์โปรตีนในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมถั่วเหลือง ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคและระยะเวลาการเก็บรักษา โดยทำการเก็บรักษาโยเกิร์ตเป็นระยะเวลา 16 วันที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าค่าความเป็นกรด - ด่าง และปริมาณกรดแลคติก ของทุกตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณจุลินทรีย์ในทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษาและเริ่มลดลงเรื่อยๆ ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคพบว่า การใช้เจลลาตินเป็นสารเพิ่มความคงตัวได้รับการยอมรับสูงสุด ตามด้วยแป้งมันและแป้งข้าวโพดตามลำดับ จากผลการทดลอง ผู้ทำการทดลองได้แนะนำว่าสามารถใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวทดแทนการใช้สารเพิ่มความคงตัวที่มีราคาแพงในการผลิตโยเกิร์ตน้ำนมถั่วเหลืองได้ Collins *et al*. (1991) ได้แนะนำให้ใช้แป้งมันเทศ (sweet potato starch) ทดแทนการใช้ เจลลาติน ในการเป็นสารเพิ่มความคงตัวสำหรับผลิตโยเกิร์ตน้ำนมถั่วเหลืองเช่นกัน

Donkor *et al.* (2007) ศึกษาผลของการเสริมแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ 1.0 เปอร์เซ็นต์ และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ในโยเกิร์ตนมโครสธรรมชาติ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเป็นเวลา 28 วันที่อุณหภูมิ 4 องศา-เซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าการเสริมแป้งข้าวโพดที่ระดับ 0.5 - 1.0 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โพรไบโอติกได้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. นมแพะดิบ
2. นมผงขาดมันเนย (Spray dried low heat, Australia)
3. แป้ง

   - แป้งมันสำปะหลัง (cassava flour)
   - แป้งข้าวเหนียว (glutineous rice flour)
   - แป้งข้าวเจ้า (rice flour)
   - แป้งข้าวโพด (corn flour)
   - แป้งถั่วเหลือง (soybean flour)
   - แป้งข้าวโอ๊ต (oat flour, Qwaker Products (M) Sdn. Bhd., Malaysia)

4. หัวเชื้อโยเกิร์ต YC-380 Thermophillic Yoghurt Culture

   - Yo-Flex Freeze-dried Lactic Culture, Christian Hansen's Laboratory, Inc (Milwaukee, WI)

5. สารเพิ่มความคงตัว
   - Pectin Amid CM 020, บ. บูรพาชีพ จำกัด, ประเทศไทย
   - โมดิไฟด์ สตาร์ช

6. แยมรสผลไม้

   - แยมรสสตรอเบอร์รี่
   - แยมรสบลูเบอร์รี่
   - แยมรสส้ม

7. ตู้บ่มเชื้อ (Memmert)

8. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) Consort รุ่น C 830

9. เครื่องวัดค่าการไหล (Rheology) Universal testing machcine (Instron)

10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องทะลุผ่าน รุ่น JEOL JEM-1230

วิธีการ

การทดลองเบื้องต้น (preliminary experiment) ได้เสริมแป้ง 6 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งมัน แป้งถั่วเหลือง และแป้งข้าวโอ๊ต ที่ระดับ 0, 25, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดแทนนมผงในโยเกิร์ตที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 18 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าแป้งทั้ง 6 ชนิดมีระดับของการเสริมแป้งที่แตกต่างกัน โดยพบว่าโยเกิร์ตนมแพะที่มีการเสริมแป้งทดแทนนมผงที่ระดับมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์นั้น จะทำให้แป้งแต่ละชนิดมีลักษณะของการเกิดเจล กลิ่นและรสชาติเฉพาะตัวของแป้งที่แตกต่างกันในระหว่างขบวนการพาสเจอไรส์ที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นได้มีการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการหลายครั้งเพื่อหาระดับการทดแทนนมผงของแป้งแต่ละชนิดที่เหมาะสม (ภาพผนวก ก) สรุปได้ว่า แป้งข้าวโพดสามารถใช้ทดแทนนมผงได้ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งถั่วเหลือง 15 เปอร์เซ็นต์ แป้งมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ และแป้งข้าวโอ๊ต 5 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการศึกษาต่อในด้านคุณลักษณะของโยเกิร์ตที่แปลี่ยนแปลงไปตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน โดยแบ่งเป็น 2 การทดลองดังนี้

I. การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง

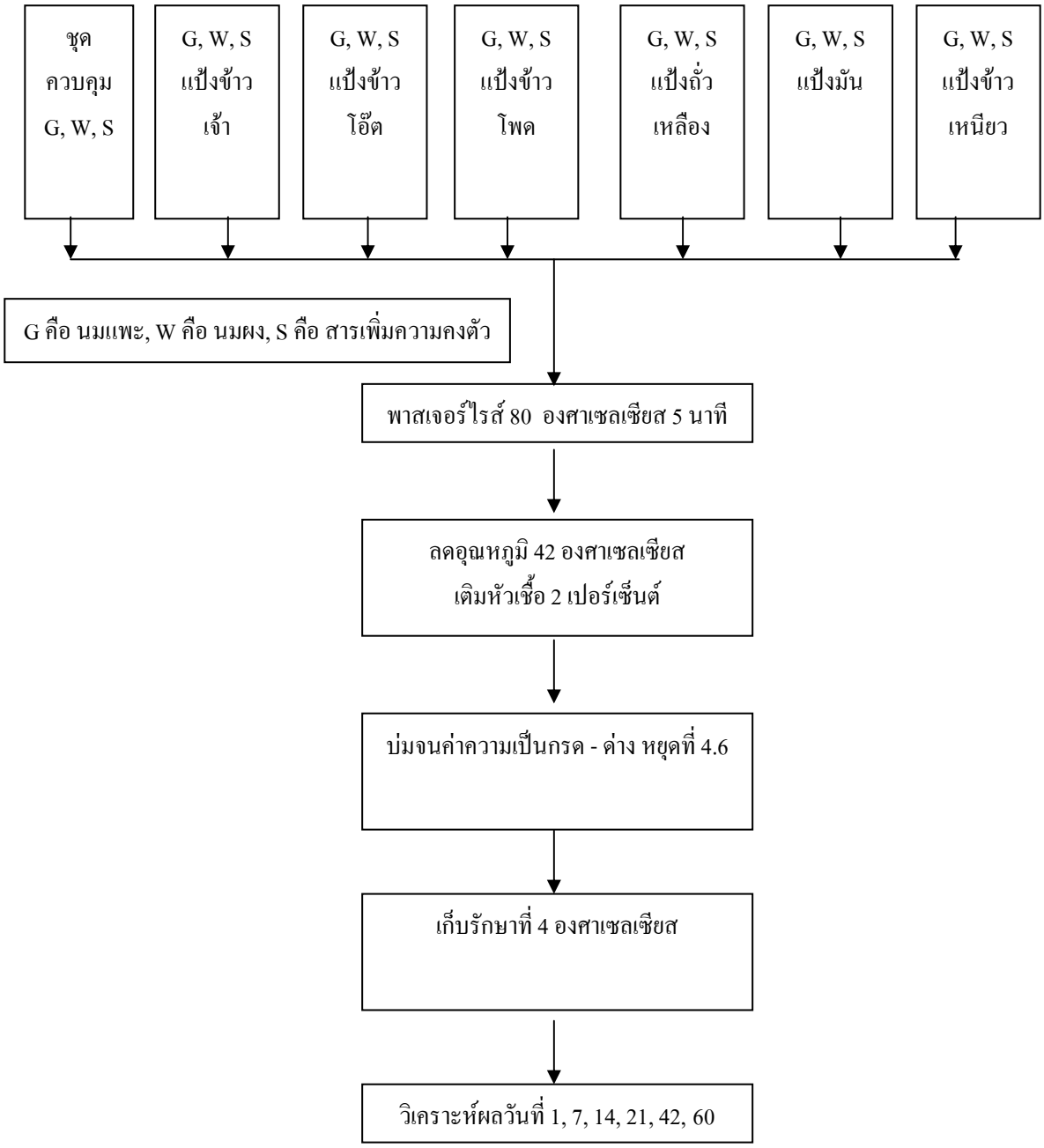
การศึกษาคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะรสธรรมชาติ ที่เสริมด้วยแป้ง 6 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง แป้งถั่วเหลือง และแป้งข้าวโอ๊ตเทียบกับชุดควบคุม เพื่อศึกษาถึงปริมาณที่เหมาะสมในการนำแป้งแต่ละชนิดมาปรับปรุงเนื้อสัมผัสและรสชาติของ โยเกิร์ตนมแพะ เตรียมส่วนผสม ได้แก่ นมแพะ แป้ง นมผง และ สารเพิ่มความคงตัวตามสูตรที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 5) อุ่นนมแพะจนได้อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เทส่วนผสมลงไปแล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นเทส่วนผสมใส่เครื่องปั่น จากนั้นปั่นให้เข้ากันแล้วนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง พาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ในหม้อแสตนเลส ลดอุณหภูมิลงเหลือประมาณ 42 องศาเซลเซียส เติมหัวเชื้อโยเกิร์ต ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 4-6 ชั่วโมง หรือจนกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเหลือ 4.6 ลดอุณหภูมิจาก 42 องศาเซลเซียส ให้ต่ำกว่า10 องศาเซลเซียสในน้ำเย็นทันที จากนั้นบรรจุลงในถ้วยโยเกิร์ตที่สะอาด เก็บผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ในตู้เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 วัน (ภาพที่ 3)

ตารางที่ 4 ระดับของการเสริมแป้งแต่ละชนิดเพื่อทดแทนการใช้นมผง (6.5 เปอร์เซ็นต์ของสูตร)

ส่วนผสม	ระดับของการเสริม (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณการใช้แป้งทดแทนนมผง	
		แป้ง	หางนมผง
ชุดควบคุม	0	0	6.50
แป้งข้าวเจ้า	15	0.98	5.52
แป้งข้าวเหนียว	15	0.98	5.52
แป้งถั่วเหลือง	15	0.98	5.52
แป้งมัน	10	0.65	5.58
แป้งข้าวโอ๊ต	5	0.33	6.17
แป้งข้าวโพด	20	1.30	5.20

ตารางที่ 5 การผลิตโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 18 เปอร์เซ็นต์

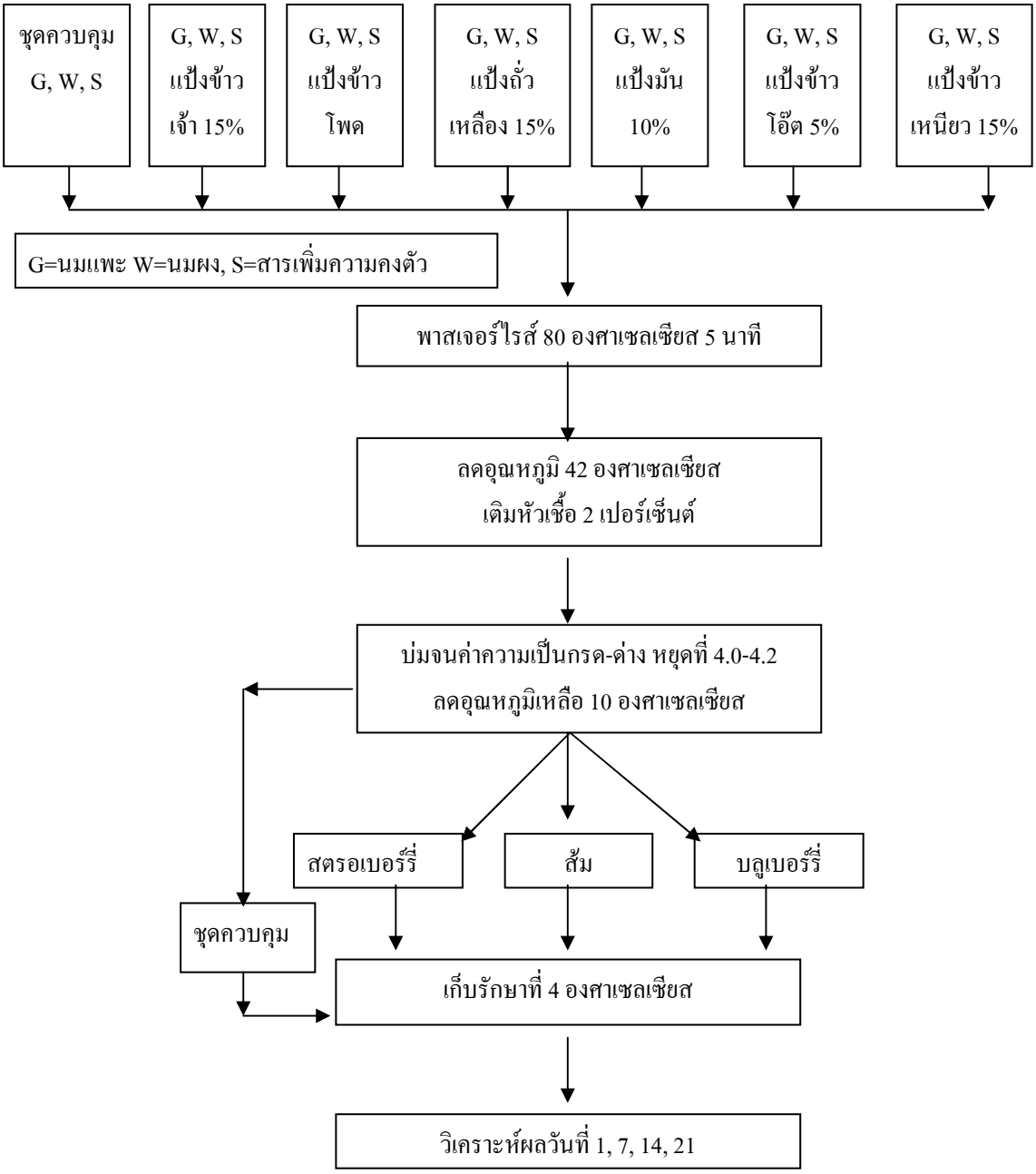
ส่วนผสม	เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสม / 100 กรัม โยเกิร์ต	ของแข็งทั้งหมด / 100 กรัม โยเกิร์ต
นมแพะ	11	93.8	11
นมผง	96.8	5.70	6.50
สารเพิ่มความคงตัว			
- pectin 020	100	0.25	0.25
-โมดิไฟด์ สตาร์ช	100	0.25	0.25
แป้งข้าวเจ้า	86.39	1.13	0.98
แป้งข้าวเหนียว	86.49	1.13	0.98
แป้งถั่วเหลือง	88.72	1.03	0.98
แป้งมัน	95.33	0.73	0.65
แป้งข้าวโอ๊ต	91.83	0.36	0.33
แป้งข้าวโพด	85.77	1.52	1.30



ภาพที่ 3 ลำดับการผลิตโยเกิร์ตนมแพะรสธรรมชาติที่เสริมด้วยแป้ง

II. การทดลองที่ 2 การศึกษาคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้

การศึกษาคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้ ได้แก่ รสส้ม รสบลูเบอร์รี่ และรสสตรอเบอร์รี่ ที่เสริมด้วยแป้ง 6 ชนิด โดยเตรียมส่วนผสม ได้แก่ นมแพะ แป้ง นมผง และสารเพิ่มความคงตัว ตามสูตรที่กำหนดไว้ อุ่นนมแพะจนได้อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เทส่วนผสมลงไปแล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปใส่เครื่องปั่น ผสมให้เข้ากันแล้ว นำมากรองด้วยผ้าขาวบาง พาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ในหม้อแสตนเลส ลดอุณหภูมิลงเหลือประมาณ 42 องศาเซลเซียส เติมหัวเชื้อโยเกิร์ตประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส จนกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเหลือ 4.6 ลดอุณหภูมิจาก 42 องศาเซลเซียส ให้ต่ำกว่า10 องศาเซลเซียส ในน้ำเย็นทันที ผสมแยมรสผลไม้อัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นบรรจุลงในถ้วยโยเกิร์ตที่สะอาด เก็บผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ในตู้เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 วัน (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ลำดับการผลิตโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้

III. การวิเคราะห์คุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งและโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งรสผลไม้

1) คุณลักษณะทางกายภาพ

วิเคราะห์ค่าความหนืดโดยใช้เครื่อง Universal testing machine (Instron)

ศึกษาโครงสร้างทางโมเลกุล (Microstructure) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องทะลุผ่าน รุ่น JEOL JEM-1230 ตามวิธีดัดแปลงของ ณรงค์ (2529); งานชีวเคมีและห้องปฏิบัติการกลาง (2536) (ภาพผนวก ค)

2) คุณลักษณะทางเคมี

การวัดค่า กรด-ด่าง (pH) ตามวิธีของ AOAC (1990)

การวัดปริมาณกรดแลคติก (Titratable Acidity; T.A.) ตามวิธีของ AOAC (1990)

3) คุณลักษณะทางทางจุลินทรีย์

ทดสอบจุลินทรีย์ผลิตกรดทั้งหมด (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*: LAB) แบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม ยีสต์และรา ปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติการสุขศาสตร์อาหารและน้ำนม (อาสูตร, 2551) และ คู่มือ Standard Methods for the Examination of Dairy Products (Marth, 2000)

4) การประเมินทางประสาทสัมผัส

การประเมินทางประสาทสัมผัสด้าน รสชาติ เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตนมแพะ ใช้ผู้ทดสอบที่มีความชำนาญสูงในการทดสอบ 5 คน โดยใช้การทดสอบเชิงพรรณนาตามลักษณะแบบสอบถาม ADSA ซึ่งกำหนดคะแนนคุณภาพด้านรสชาติมีระดับคะแนน 1 ถึง 10 คะแนน (1= bad, 10 = good) คะแนนคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏมีระดับคะแนน 1 ถึง 5 คะแนน (1 = bad, 5 = good) (ภาพผนวกที่ 5)

5) การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการศึกษาข้อมูลด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสจะถูกนำเสนอโดยผ่านการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) แบบ general linear model (GLM) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ R stat และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ โดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลจำนวนแบคทีเรียจะถูกปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปค่า log ก่อนนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

5.1 การทดลองที่1: การศึกษาคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง

ใช้แผนการทดลองแบบ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบลอค (Randomized Completely Block Design, RCBD) แบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของแผนการทดลอง ดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + e_{ij}$$

โดยที่

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวม

A_i คือ อิทธิพลของบลอค ($i = 1,2,\ldots,r$)

B_j คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ ($j = 1,2,\ldots,t$)

e_{ij} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

5.2 การทดลองที่ 2: การศึกษาคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งรสผลไม้

ใช้แผนการทดลองแบบ Split plot design in Randomized Completely Block Design (RCBD) แบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ของแผนการทดลอง ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + p_i + A_j + q_{ij} + B_k + (AB)_{jk} + e_{ijk}$$

โดยที่

Y_{ijk} คือ ค่าสังเกตของทรีทเมนต์คอมบิเนชั่นของระดับที่ j ของปัจจัย A, ระดับที่ k ของปัจจัย B และหน่วยทดลองที่ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของข้อมูล

p คือ อิทธิพลของบลอค

A_j คือ อิทธิพลของปัจจัยใน A

q_{ij} คือ Random error ใน Main plot

B_k คือ อิทธิพลของปัจจัยใน B

$(AB)_{jk}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัยใน Main plot j กับ Sub plot k

e_{ijk} คือ Random error

IV. สถานที่ทำการวิจัย

1. ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตผลจากสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจเพื่อการค้นคว้าและวิจัยผลิตผลปศุสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

2. ห้องปฏิบัติการนมและผลิตภัณฑ์นม ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

3. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำและอาหารสัตว์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

4. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

5. งานชีวเคมีและห้องปฏิบัติการกลาง ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

V. ระยะเวลาทำงานวิจัย

เริ่มทำการทดลองในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551 ถึง เดือน มกราคม พ.ศ. 2552

VI. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดมาใช้เพื่อทดแทนนมผงปรับปรุงโครงสร้างเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตและสามารถลดต้นทุนการผลิตโยเกิร์ตนมแพะได้

2. ทราบถึงอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมแพะ ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมแพะยังมีคุณภาพด้านประสาทสัมผัสและความปลอดภัยอยู่ในระดับดี

3. เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์นมแพะ และพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค เพิ่มศักยภาพการผลิตและแข่งขันกับตลาดนมและผลิตภัณฑ์นมทั้งในประเทศและต่างประเทศได้

ผลและวิจารณ์

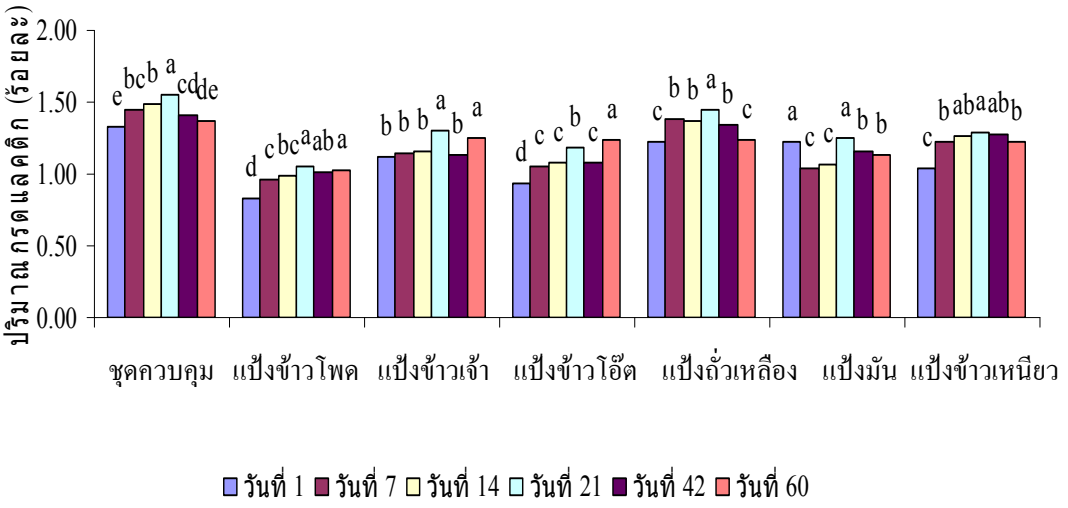
I. การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะรสธรรมชาติที่เสริมด้วยแป้ง

จากการศึกษาคุณลักษณะด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์และการประเมินทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะรสธรรมชาติที่เสริมด้วยแป้งทั้ง 7 สูตรได้แก่ สูตรเสริมแป้งข้าวโพด สูตรเสริมแป้งข้าวเจ้า สูตรเสริมแป้งข้าวโอ๊ต สูตรเสริมแป้งมัน สูตรเสริมแป้งถั่วเหลือง สูตรเสริมแป้งข้าวเหนียว เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ได้เสริมแป้ง) พบว่า

1. คุณลักษณะทางเคมี (ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดแลคติก)

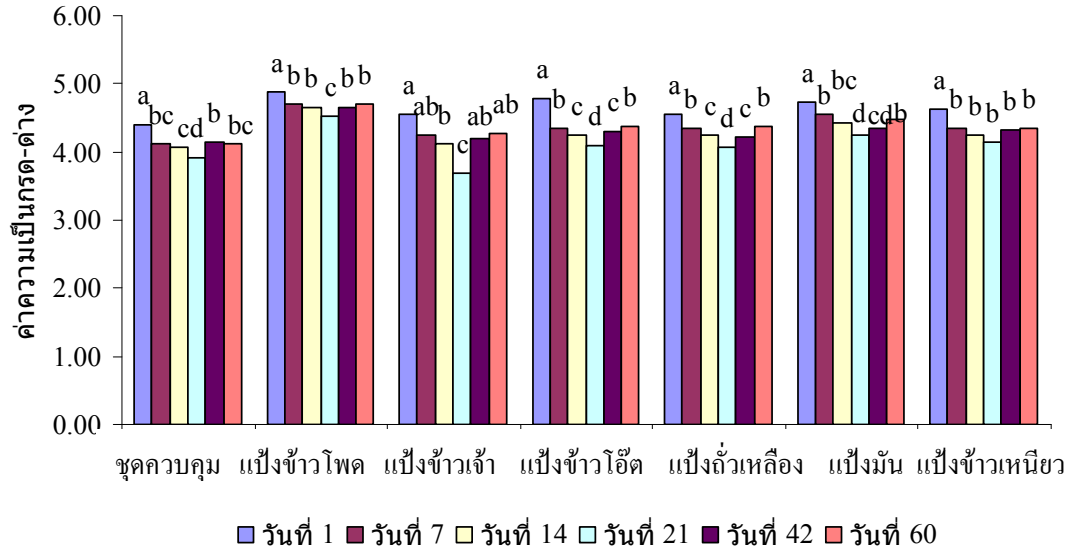
จากภาพที่ 5 พบว่าปริมาณกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะทุกสูตร มีแนวโน้มที่เพิ่มจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นโดย โยเกิร์ตทุกสูตรมีปริมาณกรดแลคติก เพิ่มสูงที่สุดในวันที่ 21 ($p<0.05$) แล้วลดลงหลังจากวันที่ 42 ของการเก็บรักษา และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดแลคติก ของโยเกิร์นมแพะตแต่ละสูตร พบว่าปริมาณกรดแลคติกโยเกิร์ตแต่ละสูตรมีความแตกกันโดยโยเกิร์ตชุดควบคุม (control) มีค่าปริมาณกรดแลคติกสูงมากกว่าสูตรอื่นๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน

ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตทั้ง 7 สูตร ตลอดอายุการเก็บรักษาที่ 60 วัน พบว่าโยเกิร์ตสูตรชุดควบคุม มีค่า ความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด และโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโพด มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุดแตกต่างจากสูตรอื่นๆ โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตแต่ละสูตรมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งค่า ความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตทุกสูตรจะลดลงต่ำสุดในวันที่ 21 แตกต่างจากวันอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่า ความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตทุกสูตรจะมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา แตกต่างจากวันอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 5 ปริมาณกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน

[abcde] กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

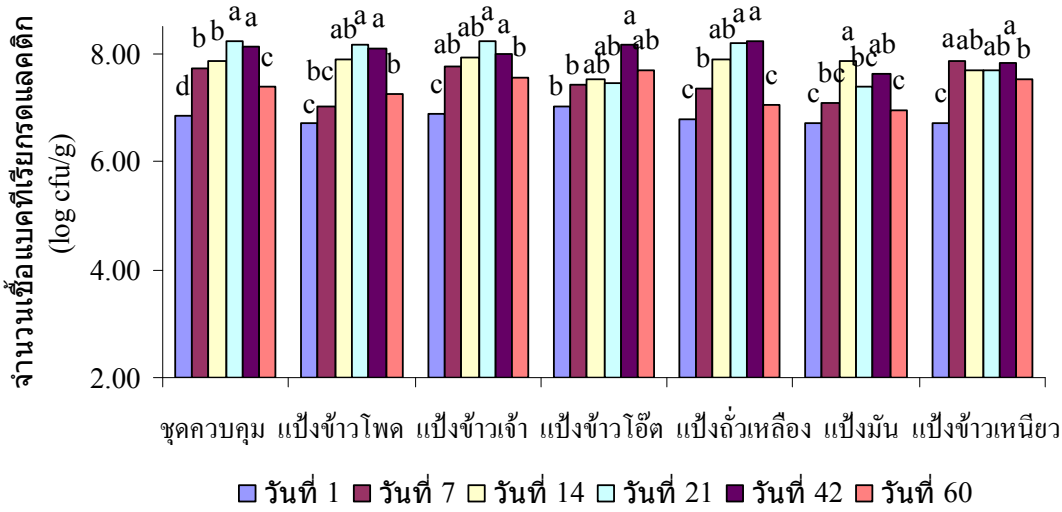


ภาพที่ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน

[abc] กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2. คุณลักษณะของแบคทีเรียกรดแลคติก

จากภาพที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติกในโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60 วัน พบว่าปริมาณของแบคทีเรียกรดแลคติกในทุกๆสูตรมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นและเพิ่มสูงที่สุดในวันที่ 21 หลังจากนั้นปริมาณแบคทีเรียกรด แลคติกจะค่อยๆลดลงในวันที่ 60 โดยปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติกตลอดอายุการเก็บรักษามีความแตกต่างกันกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อการเปรียบเทียบจำนวนเชื้อแบคทีเรียแลคติกของโยเกิร์ตแต่ละสูตร พบว่าโยเกิร์ตทุกสูตรมีจำนวนเชื้อแลคติกแบคทีเรียไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงว่าแป้งแต่ละชนิดไม่ได้ส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มปริมาณของแบคทีเรียกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมแพะเสริมด้วยแป้ง



ภาพที่ 7 จำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน
[abcd] กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณกรดแลคติก ค่าความเป็นกรด-ด่าง และการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมแพะพบว่า ในช่วงต้นของการเก็บรักษาปริมาณกรดแลคติก มีปริมาณน้อยแต่จะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องมาจากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์โยเกิร์ตที่ใส่ลงไป ได้แก่ *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* ซึ่งเชื้อทั้งสองชนิดนี้จะทำปฏิกิริยาร่วมกันและมีการใช้น้ำตาลแล็คโตสในน้ำนมซึ่งจะได้ผลผลิตเป็นกรดแลคติกพร้อมกับกลิ่นอะซิติลดีไฮด์ซึ่งเป็นกลิ่นเฉพาะตัวของโยเกิร์ต ขณะที่

ค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าในช่วงต้นของการเก็บรักษามีค่าสูงมาก แต่ในช่วงหลังของการเก็บรักษามีค่าลดลงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติกมีการเติบโตมาก ทำให้ผลิตกรดแลคติกออกมามากขึ้นนั่นเอง จึงส่งผลโดยตรงต่อความเป็นกรด-ด่างที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นวลนภา (2546) ที่รายงานว่าโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเติมวุ้นมะพร้าวมีปริมาณกรด แลคติกเพิ่มขึ้นและส่งผลให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาที่ 30 วัน โดยที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มลดลง ($p<0.05$) ในวันที่ 16 และยิ่งลดลงอีก เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นเป็น 23 และ 30 วัน แสดงว่า หัวเชื้อโยเกิร์ตยังคงมีกิจกรรมอยู่แม้ว่าจะทำการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปแล้ว เมื่อโยเกิร์ตมีความเป็นกรดสูงขึ้น จำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกก็จะลดลงตามไปด้วย (Birollo *et al.*, 2000) สอดคล้องกับผลการตรวจสอบทางจุลินทรีย์ พบว่า จำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บ โดยมีแนวโน้มการลดลงอย่างเด่นชัดหลังจากวันที่ 23 ถึงประมาณ 0.8 log cycle เช่นเดียวกับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

การเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติกส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดแลคติกเนื่องจากแบคทีเรียกรดแลคติกจะใช้น้ำตาลแลกโตสในน้ำนมเป็นแหล่งพลังงานแล้วเปลี่ยนให้เป็นกรดแลคติกจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงและปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นส่งผลให้โยเกิร์ตมีรสชาติเปรี้ยวมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Ramchandran and Shah (2008) ที่รายงานว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตที่ลดลงเป็นผลโดยตรงจากการเพิ่มปริมาณของแลคติกแบคทีเรียและส่งผลให้ปริมาณแลคติกในโยเกิร์ตเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้การเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติกยังส่งผลต่อกระบวนการเกิดเคิร์ด (curd) ของเนื้อสัมผัสโยเกิร์ตอีกด้วย โดย การเกิดเคิร์ดของโยเกิร์ตเป็นผลจากปฏิกิริยาทางชีวภาพ และกายภาพในน้ำนมโดยจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลแลคโตสในน้ำนมเป็นแหล่งพลังงานในการเติบโตและผลิตกรดแลคติก ซึ่งมีผลต่อการสลายสภาพคงตัวของเคซีนไมเซล ดังนั้นเมื่อใช้ *L. bulgaricus* หรือ *S. thermophilus* สายพันธุ์เดียว เชื้อมีการเติบโตและผลิตกรดแลคติกอย่างช้า ๆ และระดับความเป็นกรดสุดท้าย ไม่ใช่จุดสมมูลทางไฟฟ้า (isoelectric point) ของเคซีน ทำให้การสลายสภาพคงตัวของเคซีนไมเซลเกิดไม่สมบูรณ์และไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างแอลฟา-แลคโตโกลบูลินและเบตา-แลคโตโกลบูลิน กับเคซีนเป็นผลให้เกิดเคิร์ดที่มีความคงตัวและมีความหนืดน้อยในขณะที่การใช้เชื้อผสมและเชื้อชนิด YC-350 จุลินทรีย์มีการผลิตกรดแลคติกในปริมาณเพียงพอต่อการสลายสภาพคงตัวของเคซีนไมเซล และทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีนเวย์ เกิดการแปลงสภาพ จึงเกิดการรวมตัวของเคซีนไมเซลและกลุ่มของไมเซลย่อยเข้าด้วยกันเกิดการตกตะกอนบางส่วน และเมื่อระดับความ

เป็นกรด-ด่างเข้าใกล้จุดสมมูลทางไฟฟ้าของเคซีนคือ 4.6-4.7 จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอลฟา-แลคโตโกลบูลิน และเบตา-แลคโตโกลบูลิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่ในเวย์กับเคซีนทำให้เคซีนไมเซลมีความคงตัวมากขึ้น ร่างแหของเจลสามารถจับกับองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในส่วนผสมรวมทั้งน้ำให้อยู่ในโครงสร้างนี้ ทำให้เคิร์ดที่ได้มีลักษณะเนื้อแน่นและคงตัว (นวลนภา, 2546)

แบคทีเรียกรดแลกติคที่ใช้เป็นเชื้อในการผลิตโยเกิร์ตจัดเป็นแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ (probiotic bacteria) ซึ่งสามารถมีชีวิตและเจริญเติบโตอยู่ภายในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ได้ ซึ่งแบคทีเรียที่มีประโยชน์เหล่านี้จะช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ป้องกันการการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโทษในระบบทางเดินอาหาร ลดปัญหาการเกิดภาวะแพ้น้ำตาลแลกโตสของผู้ที่เกิดภาวะบกพร่องเอนไซม์แลกเตส ป้องกันการเกิดท้องเสีย มะเร็งลำไส้ ลดปริมาณคอเลสเตอรอล และช่วยปรับภาวะสมดุลระหว่างจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์และจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโทษในลำไส้ เนื่องจากแบคทีเรียกรดแลกติคสามารถใช้น้ำตาลแลกโตสในน้ำนมแล้วเปลี่ยนให้เป็นกรดแลกติค ทำให้ลดโอกาสเกิดอาการท้องเสียจากภาวะที่ร่างกายย่อยน้ำตาลแลกโตสไม่ได้ และน้ำตาลแลกโตสที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดแลกติคจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในลำไส้ลดลง ทำให้ภายในลำใส้มีความเป็นกรดมากขึ้นไม่เหมาะต่อการเติบโตของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคซึ่งปกติจะสามารถเติบโตได้ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง

3. คุณลักษณะด้านจุลินทรีย์ทั่วไป โคลิฟอร์ม ยีสต์และรา

จากตารางที่ 6 แสดงจำนวนโคลิฟอร์ม แบคทีเรีย ยีสต์และรา และจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 60วัน ของโยเกิร์ตทั้ง 7 สูตร ที่ให้ผลการศึกษาที่เหมือนกัน โดย พบว่า จำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดของโยเกิร์ตทุกสูตรอยู่ในระดับ < 3 เอ็มพีเอ็นต่อกรัม และ < 10 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับและตรวจไม่พบยีสต์และรา ซึ่งโยเกิร์ตทุกสูตรมีปริมาณเชื้อแบคทีเรียชนิดต่างๆอยู่ในจำนวนที่ไม่เกินเกณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานนมเปรี้ยวตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ที่กำหนดให้ ดังนี้

1. ต้องไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค
2. ตรวจพบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 ต่อนมเปรี้ยว 1 กรัม โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (Most Probable Number)

3. ตรวจพบเชื้อราได้ไม่เกิน 100 โคโลนี ในนมเปรี้ยวที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อหลังการหมัก 1 กรัม

4. ตรวจพบยีสต์ไม่เกิน 100 โคโลนี สำหรับนมเปรี้ยวที่ไม่ได้ใช้ยีสต์ในการหมัก และไม่ผ่านการฆ่าเชื้อหลังการหมัก 1 กรัม

5. ตรวจพบยีสต์และเชื้อราได้ไม่เกิน 10 โคโลนี สำหรับนมเปรี้ยวที่ผ่านการฆ่าเชื้อหลังการหมัก 1 กรัม (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2548)

ตารางที่ 6 คุณลักษณะทางจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตนมแพะเสริมด้วยแป้งทั้ง 7 ชนิด ที่ให้ผลการทดลองเป็นในแนวทางเดียวกัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	จำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (เอ็มพีเอ็น ต่อกรัม)	จำนวนราและยีสต์ (โคโลนีต่อกรัม)	จำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)
1	< 3	nd*	< 10
7	< 3	nd	< 10
14	< 3	nd	< 10
21	< 3	nd	< 10
42	< 3	nd	< 10
60	< 3	nd	< 10

*nd หมายถึง ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์

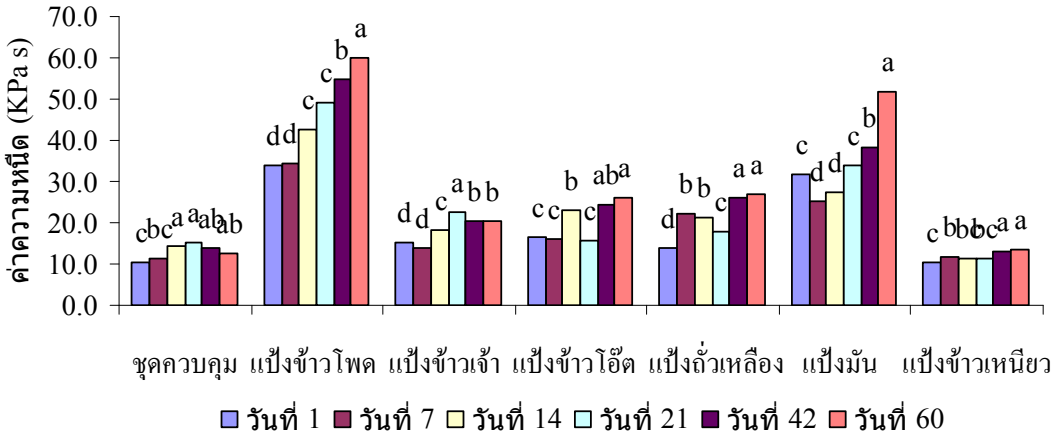
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ประกอบไปด้วย 6 ปัจจัยคือ FATTOM ได้แก่ อาหาร (food) ค่าความเป็นกรด-ด่างในอาหาร (acid) อุณหภูมิในการปรุงหรือเก็บรักษาอาหาร (temperature) ระยะเวลาในการเก็บรักษา (time) ก๊าซออกซิเจน (oxygen) และความชื้นหรือค่าน้ำอิสระในอาหาร (moisture) ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่า 4.6 ผลิตภัณฑ์อาหารจะส่งผลโดยตรงต่อการมีชีวิตรอดของจุลินทรีย์ต่างๆ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค เนื่องจากค่ากความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำจะส่งผลต่อกิจกรรมต่างๆภายในเซลล์ของจุลินทรีย์โดยเฉพาะการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นในกระบวนการเมตตาบอลิซึมภายในเซลล์จะเสียสภาพ ไม่สามารถทำงานได้จึงทำให้จุลินทรีย์ต่างๆไม่สามารถดำรงชีวิตภายใต้สภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.6 ดังนั้นใน

โยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งทุกสูตรที่มีสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่า 4.6 จึงเป็นสาเหตุให้สภาพแวดล้อมในโยเกิร์ตไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ชอบกรด โดยเฉพาะกลุ่มแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคที่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่มีความเป็นกรดสูง จึงทำให้โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดไม่สามารถเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณในโยเกิร์ตได้ สำหรับจุลินทรีย์กลุ่มยีสต์และราจัดเป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่สามารถพบได้ทั่วไปในอากาศหากมีการจัดการสภาพแวดล้อมในการทำงานให้สะอาด ผู้ปฏิบัติงานมีสุขลักษณะส่วนบุคคลที่ดี จะสามารถป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้ และเนื่องจากในกระบวนการผลิตโยเกิร์ตนี้ได้ใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ทำให้สามารถทำลายจุลินทรีย์ต่างๆที่มีอยู่ในน้ำนมได้มาก โดยเฉพาะจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค และลดปริมาณ จุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้ อีกทั้งผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมแพะทุกสูตรจะถูกเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งภายใต้อุณหภูมิระดับนี้จะสามารถชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆและยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งได้

ด้วยกระบวนการต่างๆเหล่านี้จึงส่งผลให้สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆในโยเกิร์ตไม่ให้เพิ่มปริมาณได้ ซึ่งผลการศึกษาด้านคุณภาพของจุลินทรีย์นี้ได้สอดคล้องกับรายงานของ นวลนภา (2546) ซึ่งได้รายงานคุณลักษณะทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่นำน้ำนมข้าวโพดมาผลิตเป็นโยเกิร์ตทดแทนนมโค จากผลการศึกษาตลอดอายุการเก็บรักษา 30 วัน พบว่าโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด และโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเติมวุ้นมะพร้าวมีจำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแล็กติคเท่ากับ 2.33×10^{8} และ 2.31×10^{8} โคโลนีต่อกรัมตามลำดับ มีจำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรียน้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็นต่อกรัม และตรวจไม่พบเชื้อยีสต์ และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ กีรสุดา (2536) ที่ได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่ต่อคุณภาพทางจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตนมโครสธรรมชาติ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจำนวน 4 ยี่ห้อ โดยเก็บที่อุณหภูมิสองระดับ คือ 4 องศาเซลเซียส และ 10 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อ อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ตัวอย่างทุกยี่ห้อจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อแบคทีเรียสร้างกรดแลคติกมีจำนวนคงที่ถึงลดลงเล็กน้อย ตรวจไม่พบ ยีสต์ รา และ *E.coli* ในตัวอย่างทุกยี่ห้อตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างโยเกิร์ตทุกยี่ห้อที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะมีค่าสูงกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลงเมื่อเก็บตัวอย่างไว้เป็นระยะเวลานานขึ้น ปริมาณกรดแลกติคที่วิเคราะห์ได้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่มีค่าสูงขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

4. ค่าความหนืด

จากภาพที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของโยเกิร์ตแต่ละสูตรในที่ระยะการเก็บรักษา 60 วัน พบว่าค่าความหนืดของโยเกิร์ตชุดควบคุม และสูตรเสริมแป้งข้าวเหนียวมีค่าต่ำที่สุด ($p<0.05$) และโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโพด มีค่าความหนืดสูงที่สุดแตกต่างจากโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งสูตรอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะทุกสูตรมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น และโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งทุกสูตรจะมีค่าความหนืดสูงที่สูดในวันที่ 60 ของการเก็บรักษา ($p<0.05$) ยกเว้นโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวเหนียวมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดตลอดอายุการเก็บรักษาที่ค่อนข้างคงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก



ภาพที่ 8 ค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน

^{abcd} กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

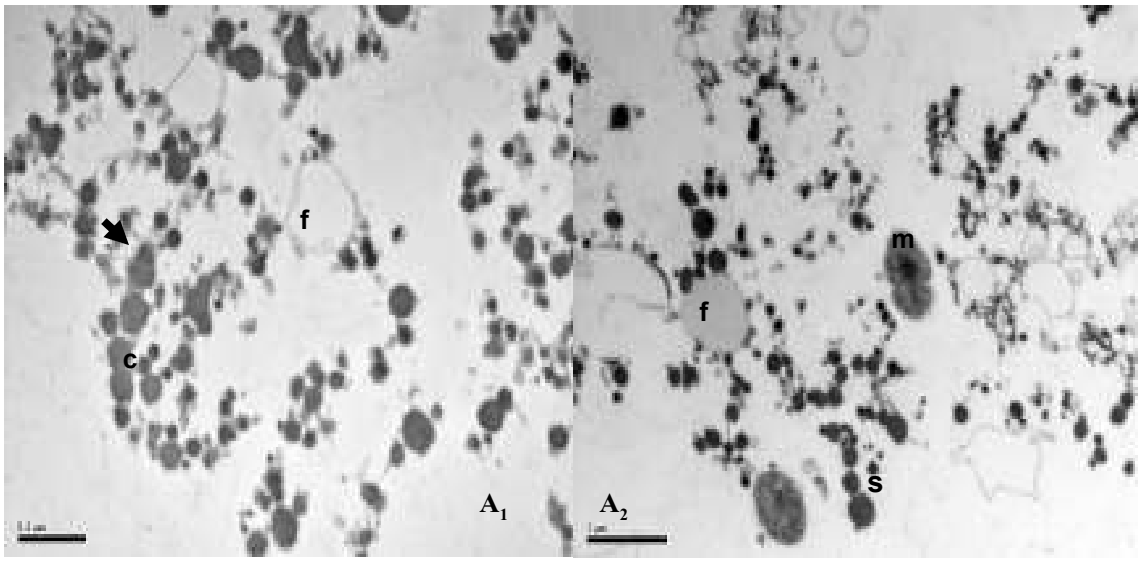
สาเหตุที่ค่าความหนืดของโยเกิร์ตแต่ละสูตรมีค่าที่ไม่เท่ากันและมีการเปลี่ยนแปลงระดับค่าความหนืดที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆตลอดอายุการเก็บรักษาที่ 60 วัน ภายใต้อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยบางสูตรมีค่าความหนืดที่สูงมากเช่นในโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโพด และบางสูตรมีค่าความหนืดที่ต่ำเช่นสูตรเสริมแป้งข้าวเหนียว เนื่องมาจากสาเหตุด้านความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีภายในแป้งแต่ละชนิด เช่น ไขมัน โปรตีน เถ้า ฟอสฟอรัส และส่วนที่สำคัญที่สุดคือ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโครส 2 ชนิด ได้แก่ อะไมโลส และอะไมโลเพกติน

แป้งแต่ละชนิดก็จะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและ อะไมโลเพกตินที่แตกต่างกันส่งผลให้แป้งมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันด้วย โดยค่าความหนืดของแป้งนั้นจะสัมพันธ์กับปรากฏการการเกิดรีโทรเกรชันของแป้ง คือ เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการละลายแล้วให้ความร้อนต่อไปเรื่อยๆจะส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวเพิ่มมากขึ้นและแตกออกในที่สุด ส่งผลให้โมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ในเม็ดแป้งกระจายตัวออกมา และเมื่อปล่อยให้เย็นลงโมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ไกล้กันจะจัดเรียงตัวกันใหม่โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึกเรียกปรากฏการณนี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือการคืนตัว และเมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงอีกจะส่งผลให้เกิดการเรียงตัวของโครงสร้างแน่นขึ้น โมเลกุลน้ำอิสระที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า การแยกน้ำแยกเนื้อ ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546) การคืนตัวของแป้งนี้ขึ้นกับปัจจัยหลายประการเช่น อุณหภูมิ ยิ่งอุณหภูมิต่ำจะเกิดการคืนตัวได้เร็ว ระยะเวลา เวลายิ่งนานการคืนตัวสามารถเกิดขึ้นได้มาก ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีอะไมโลเพกตินสูง เนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลเพกตินที่เป็นแบบกิ่งก้านร่างแหจึงมีความสามารถเกาะกันระหว่างโมเลกุลและทำให้ป้องกันการคืนตัวได้ดี

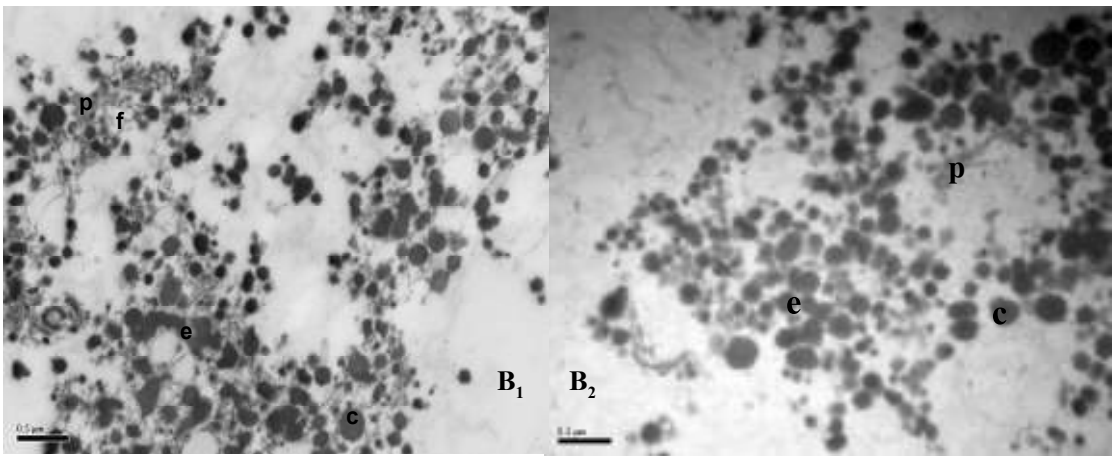
แป้งข้าวโพดที่ประกอบไปด้วยอะไมโลสประมาณ 27-28 เปอร์เซ็นต์ และอะไมโลเพคตินประมาณ 72-73 เปอร์เซ็นต์ โดยคุณสมบัติของอะไมโลสจะทำให้เกิดเจลได้ดี และมีคุณสมบัติการคืนตัวที่สูงและเร็ว ส่งผลให้เกิดการแยกน้ำแยกเนื้อ ของโยเกิร์ตได้ง่ายและเร็ว โดยพบว่าเพียงแค่อาทิตย์แรกของการเก็บรักษา โยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งข้าวโพดก็เกิดการแยกน้ำแยกเนื้อแล้ว อีกทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสก็ยังส่งผลต่อการเร่งการคืนตัวอีกด้วย ทำให้โยเกิร์ตสูตรแป้งข้าวโพดนี้มีค่าความหนืดที่สูงกว่าสูตรอื่นๆ ในขณะที่แป้งชนิดอื่นๆจะมีปริมาณอะไมโลสเพียง 10-15 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้แป้งเหล่านั้นมีค่าความหนืดที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและอายุการเก็บนานขึ้น ยกเว้นแป้งข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำสุดประมาณ 0-1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แป้งข้าวเหนียวไม่เกิดการแยกน้ำแยกเนื้อของโยเกิร์ตเลย และมีค่าการคืนตัวต่ำที่สุดส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่น้อยที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา 60 วัน

5. ลักษณะโครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งแต่ละชนิด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องทะลุผ่าน (transmission electron microscope; TEM) ได้แสดงให้เห็นโครงสร้างที่น่าสนใจของโยเกิร์ตนมแพะเสริมด้วยแป้งทั้ง 6 สูตร และสูตรชุดควบคุม จากภาพที่ 9 แสดงให้เห็นโครงสร้างของการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มของโปรตีน (เคซีน ไมเซล) เม็ดไขมันและจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตสูตรชุดควบคุม ซึ่งการเกาะตัวของโปรตีนจะเป็นแบบหลวมๆมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน เนื่องมาจากนมแพะนั้นมีปริมาณของ แอลฟ่า-เอสวัน-เคซีน โปรตีนที่ต่ำกว่านมโคมากซึ่งโปรตีนชนิดนี้จัดเป็นโปรตีนหลักที่สามารถพบได้ในน้ำนม จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้โยเกิร์ตนมแพะมีเนื้อสัมผัสที่เหลวและหนืดน้อยกว่าโยเกิร์ตนมโค จากภาพลูกศรชี้ที่ส่วนของ “spike” หรือส่วนของเส้นขนที่อยู่บนผิวหน้าของโปรตีนซึ่งเกิดจากกระบวนการให้ความร้อนในการผลิตโยเกิร์ต ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสขึ้นไป ซึ่งที่อุณหภูมิระดับนี้จะทำให้ เบตา-แลคโตโกลบูลิน มีการจัดเรียงโครงสร้างกับ แคบป้า เคซีน ที่ผิวหน้าของโปรตีน เคซีนไมเซล จากการจัดเรียงโครงสร้างนี้จึงทำให้เกิด spike ขึ้น (Tamime and Robinson, 2007)

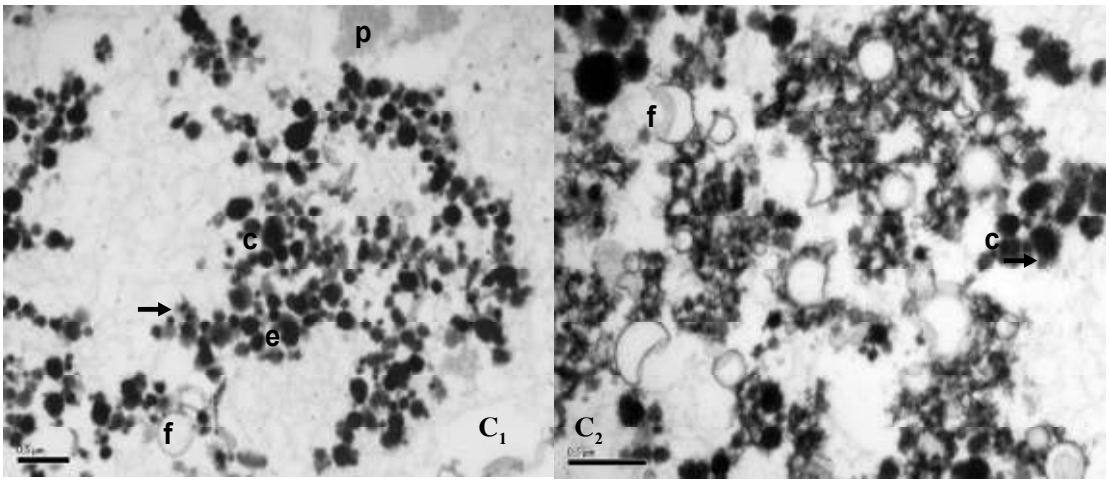


ภาพที่ 9 โครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตนมแพะชุดควบคุม (A_1, A_2) ที่แสดงร่างแหโปรตีนเคซีนไมเซล และการเกาะตัวของกลุ่มโปรตีนเคซีน; ลูกศรชี้ส่วนของ spikes ที่อยู่บนผิวหน้าของโปรตีนเคซีน c คือ โปรตีนเคซีนไมเซล f คือ เม็ดไขมัน m คือจุลินทรีย์ s คือ โปรตีนเคซีนที่จัดเรียงตัวเป็นสายเดี่ยว



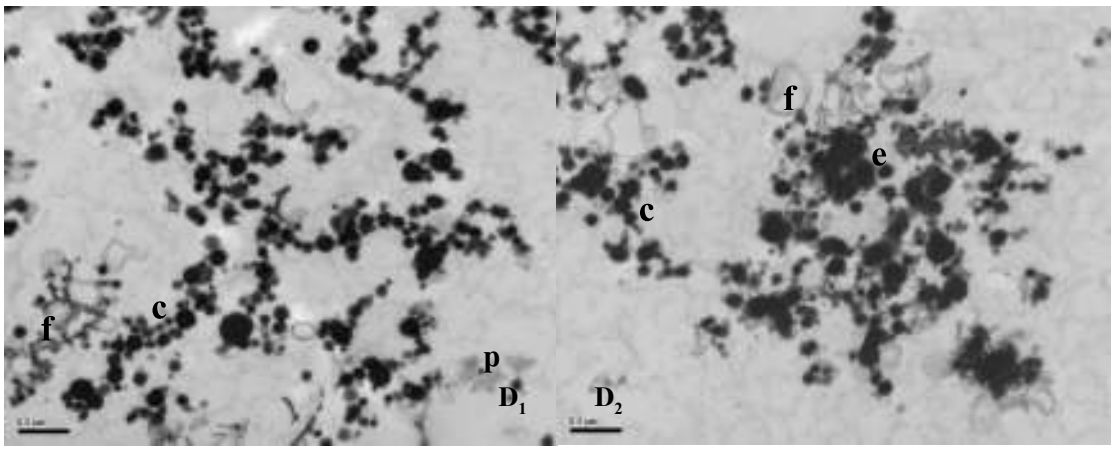
ภาพที่ 10 แสดงโครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโพด (B_1, B_2) ที่แสดงร่างแหโปรตีนเคซีนไมเซล และการเกาะตัวของกลุ่มโปรตีนเคซีน; ลูกศรชี้ส่วนของ spikes ที่อยู่บนผิวหน้าของโปรตีนเคซีน c คือ โปรตีนเคซีนไมเซล e คือ โปรตีนเคซีนที่จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างที่แน่นซับซ้อน f คือ เม็ดไขมันขนาดเล็กที่กระจายตัวรวมกับโปรตีน p คือ โปรตีน

ภาพที่ 10 แสดงโครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตนมแพะสูตรเสริมแป้งข้าวโพด (B_1, B_2) จากภาพแสดงถึงอิทธิพลจากการเสริมแป้งและความร้อนที่ใช้ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ ที่ส่งผลให้โปรตีน เคซีนไมเซลมีการจัดเรียงตัวแบบซับซ้อนและหนาแน่นมากขึ้น และช่วยให้กลุ่มของโปรตีนต่างๆในนมแพะจัดเรียงตัวเป็นกลุ่มก้อนที่แข็งแรงมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างทางโมเลกุลของสูตรควบคุม จากภาพที่ 10 แสดงให้เห็นอนุภาคขนาดเล็กของโปรตีนในแป้งข้าวโพดที่มีการรวมตัวกับโปรตีนเคซีนซึ่งมีการเกาะกันระหว่างอนุภาคของโปรตีนเคซีนอย่างแน่นหนาส่งผลให้โยเกิร์ตนมแพะมีเนื้อสัมผัสที่แน่นและหนืดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Williams *et al*. (2003) ที่รายงานว่าค่าความหนืดของโยเกิร์ตเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเสริม 1 เปอร์เซ็นต์ (w/w) แป้งข้าวโพดเหนียว แต่เนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตจะมีลักษณะเป็นเม็ดทราย (grainy) และมีความแน่นของโครงสร้างโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการเสริมแป้ง



ภาพที่ 11 แสดงโครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวเหนียว (C_1, C_2) ที่แสดงร่างแหโปรตีนเคซีนไมเซล และการเกาะตัวของกลุ่มโปรตีนเคซีน; ลูกศรชี้ส่วนของ spikes ที่อยู่บนผิวหน้าของโปรตีนเคซีน c คือ โปรตีนเคซีนไมเซล e คือ โปรตีนเคซีนที่จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างที่แน่นซับซ้อน f คือ เม็ดไขมันขนาดเล็กที่กระจายตัวรวมกับโปรตีน p คือ โปรตีน

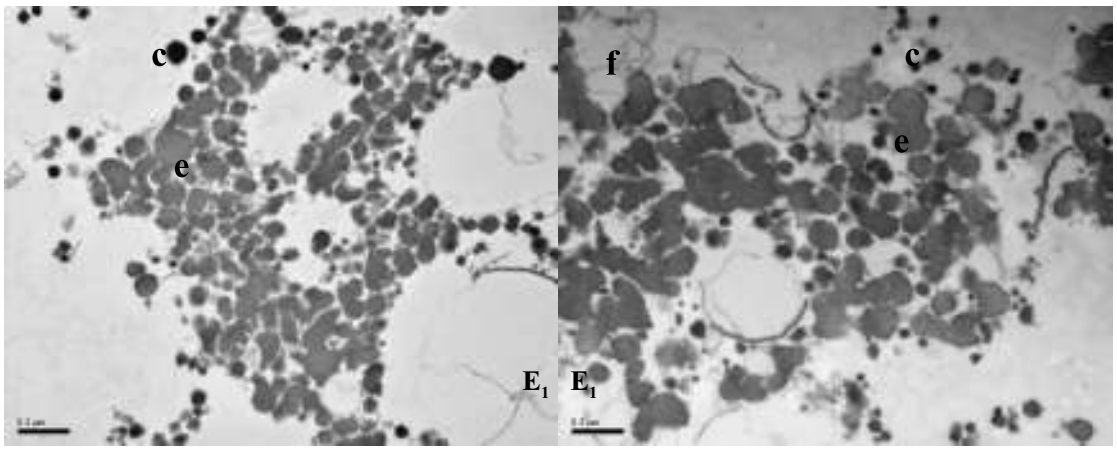
ภาพที่ 11 (C_1, C_2) แสดงการเกาะตัวกันของโปรตีนเคซีนที่มีโครงสร้างที่ค่อนข้างหนาแน่นและอนุภาคเม็ดไขมันที่รวมตัวกับโปรตีนและมีการจัดเรียงตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดกลาง จากภาพแสดงให้เห็นการจัดเรียงตัวเป็นร่างแหของกลุ่มโปรตีนและเม็ดไขมันโดยอาจมีอนุภาคของอะไมโลเพคตินจากแป้งข้าวเหนียวเป็นตัวประสานให้เกิดความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น จากกระบวนการให้ความร้อนแก่น้ำนมและแป้งส่งผลให้โปรตีนในน้ำนมเกิดการเสียสภาพและมีการเกาะรวมตัวกันมากยิ่งขึ้นประกอบกับอนุภาคของแป้งมีการละลายกลายเป็นเจลส่งผลให้มีการทำปฏิกิริยาเกิดการจับตัวกันระหว่างโมเลกุลพอลิแซคคาไรด์ของแป้งกับอนุภาคโปรตีนและไขมันในนม ส่งผลให้โยเกิร์ตนมแพะมีเนื้อสัมผัสที่แน่นและหนืดขึ้น (García and Mcgregor, 1997)



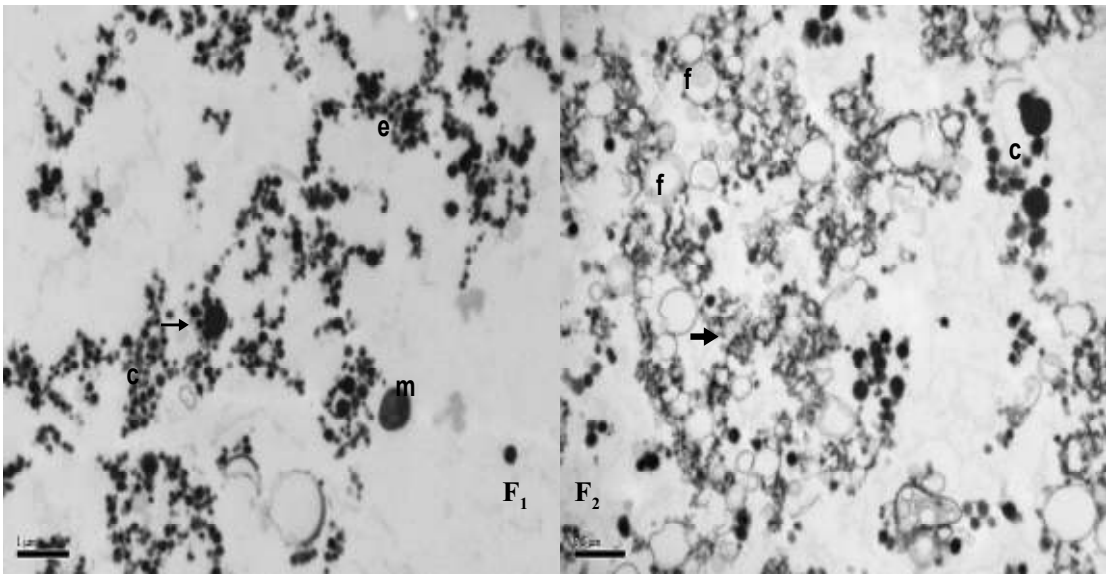
ภาพที่ 12 แสดงโครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวเจ้า (D_1, D_2) ที่แสดงร่างแหโปรตีนเคซีนไมเซล และการเกาะตัวของกลุ่มโปรตีนเคซี; c คือ โปรตีนเคซีนไมเซล e คือ โปรตีนเคซีนที่จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างที่แน่นซับซ้อน f คือ เม็ดไขมันขนาดเล็กที่กระจายตัวรวมกับโปรตีน p คือ โปรตีนแป้งข้าวเจ้า

จากภาพที่ 12 (D_1, D_2) แสดงโครงสร้างโมเลกุลของโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งข้าวเจ้า ที่มีการเกาะตัวกันของโปรตีนเคซีนอย่างหลวมๆ โดยมีไขมันและโปรตีนของแป้งข้าวเจ้าเกาะรวมตัวกับกลุ่มของโปรตีนเคซีนด้วย จากโครงสร้างลักษณะนี้ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะสูตรเสริมแป้งข้าวเจ้าที่มีความหนืดน้อยและมีเนื้อเจล

โยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งมัน (ภาพที่ 13 (E_1, E_2)) แสดงให้เห็นการเกาะตัวกันอย่างต่อเนื่องของโครงสร้างโปรตีนเคซีนไมเซลเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ และมีเม็ดไขมันแทรกตัวอยู่ภายในโครงสร้างด้วย จากภาพจะพบว่ามีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับสูตรเสริมแป้งข้าวโพดซึ่งส่งผลให้โยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งมันมีค่าความหนืดที่ใกล้เคียงกับสูตรเสริมแป้งข้าวโพด Castilla *et al.* (2004) ได้ศึกษาการเสริมแป้งมันสำปะหลังทดแทนการใช้เวย์โปรตีนในการผลิตโยเกิร์ตพบว่าโยเกิร์ตที่เสริมแป้งมันสำปะหลังสามารถเพิ่มค่าความหนืดและความแน่นของเนื้อสัมผัสได้มากกว่าโยเกิร์ตสูตรไขมันเต็ม จากภาพแสดงโมเลกุลของแป้งอาจเป็นส่วนของพอลิเซคคาไรด์ (อะไมโลสและอะไมโลเพคติน) ที่ทำปฏิกิริยารวมตัวกับโครงสร้างร่างแหของโปรตีนในน้ำนม และส่งผลการเกิดเจลของเนื้อสัมผัสโยเกิร์ตนมแพะ



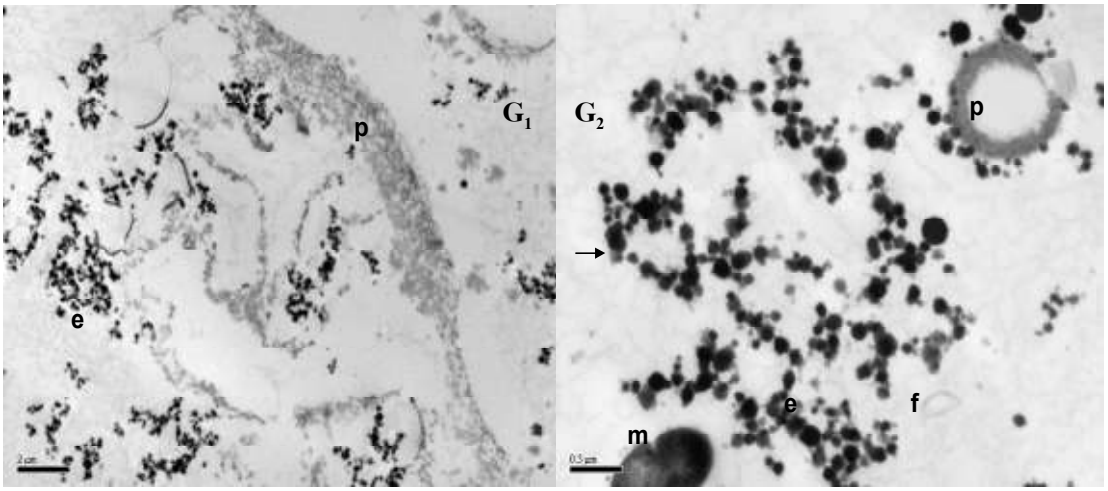
ภาพที่ 13 แสดงโครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตสูตรสูตรเสริมแป้งมัน (E_1, E_2) ที่แสดงร่างแหโปรตีนเคซีนไมเซล และการเกาะตัวของกลุ่มโปรตีนเคซี; c คือ โปรตีนเคซีนไมเซล e คือ โปรตีนเคซีนที่จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างที่แน่นซับซ้อน f คือ เม็ดไขมันขนาดเล็กที่กระจายตัวรวมกับโปรตีน p คือ โปรตีนแป้งข้าวเจ้า



ภาพที่ 14 แสดงโครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโอ๊ต (F_1, F_2) ที่แสดงร่างแหโปรตีนเคซีนไมเซล และการเกาะตัวของกลุ่มโปรตีนเคซีน; ลูกศรชี้ส่วนของ spikes ที่อยู่บนผิวหน้าของโปรตีนเคซีน c คือ โปรตีนเคซีนไมเซล e คือ โปรตีน เคซีนที่จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างที่แน่นซับซ้อน f คือ เม็ดไขมันขนาดเล็กที่กระจายตัวรวมกับโปรตีน m คือ จุลินทรีย์

จากภาพที่ 14 (F_1, F_2) แสดงโครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งข้าวโอ๊ต ที่แสดงการเกาะตัวเป็นเส้นสายโซ่โปรตีนเคซีนซึ่งจับกับเม็ดไขมันและมีการเกาะตัวกันกับโปรตีนละเอียดหรือพอลิแซคคาไรด์ในน้ำนม แป้งข้าวโอ๊ตเป็นแหล่งของ เบต้า-กลูแคน (β-glucan) ซึ่งเป็นใยอาหารชนิดละลายน้ำที่มีคุณสมบัติในการเพิ่มความหนืดและเนื้อสัมผัสให้กับผลิตภัณฑ์ได้ Khurana and Kanawjias (2007) ได้รายงานการเสริม เบต้า-กลูแคน ในการผลิตโยเกิร์ตไขมันต่ำ พบว่าสามารถเพิ่มความสม่ำเสมอ ความแน่นและความหนืดของเนื้อสัมผัส อีกทั้งยังสามารถลดการแยกน้ำแยกเนื้อของโยเกิร์ตได้อีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองแสดงที่ได้ศึกษาที่พบว่าโยเกิร์ต นมแพะสูตรเสริมแป้งข้าวโอ๊ตมีลักษณะโครงสร้างทางโมเลกุลของโปรตีนที่เกาะตัวกันหนาแน่นกว่าสูตรที่ไม่ได้เสริมแป้ง

โยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งถั่วเหลือง (ภาพที่ 15 (G_1, G_2)) ภาพจาก TEM แสดงให้เห็นอนุภาคของโปรตีนในแป้งถั่วเหลืองที่มีการรวมตัวกับโปรตีนเคซีนและไขมันในน้ำนมแพะส่งผลให้มีการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนโปรตีนที่หนาแน่น แต่จากปริมาณของอนุภาคโปรตีนถั่วเหลืองที่ค่อนข้างหนาแน่นนี้จะส่งผลต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตโดยจะทำให้มีลักษณะของเนื้อสัมผัสที่เป็นเม็ดทรายเพิ่มมากขึ้น

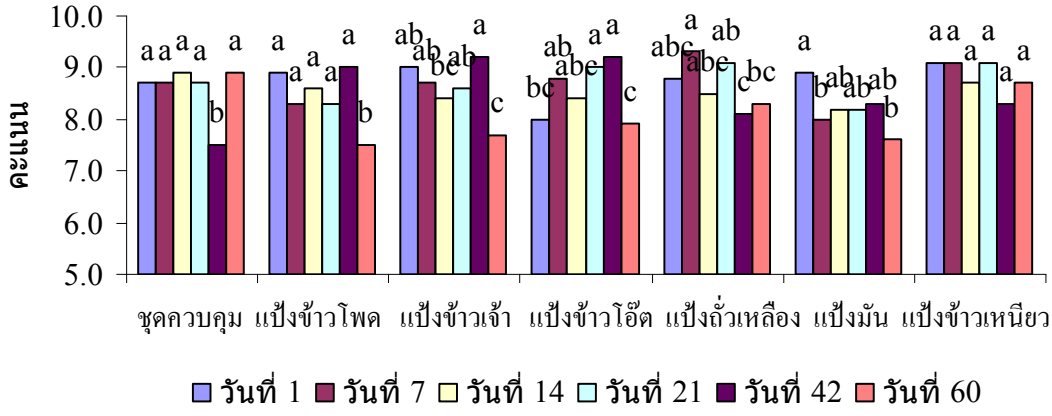


ภาพที่ 15 แสดงโครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งถั่วเหลือง (G_1, G_2) ที่แสดงร่างแหโปรตีนเคซีนไมเซล และการเกาะตัวของกลุ่มโปรตีนเคซีน; ลูกศรชี้ส่วนของ spikes ที่อยู่บนผิวหน้าของโปรตีนเคซีน c คือ โปรตีนเคซีนไมเซล e คือ โปรตีน เคซีนที่จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างที่แน่นซับซ้อน f คือ เม็ดไขมันขนาดเล็กที่กระจายตัวรวมกับโปรตีน m คือ จุลินทรีย์ p คือ โปรตีนแป้งถั่วเหลือง

6. การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส

การประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้ง โดยใช้ผู้ตรวจชิมที่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 5 คน โดยใช้วิธีการพรรณนา โดยให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏที่ระดับคะแนน 1-5 และให้คะแนนความชอบด้านรสชาติที่ระดับคะแนน 1-10

ภาพที่ 16 แสดงค่าความชอบด้านรสชาติของโยเกิร์ตทั้ง 7 สูตร โดยระดับคะแนน 1 หมายถึงโยเกิร์ตมีรสชาติ และคุณภาพแย่มากที่สุด และระดับคะแนน 10 หมายถึงโยเกิร์ตมีรสชาติและคุณภาพดีมากที่สุด จากภาพพบว่าคะแนนความชอบด้านรสชาติในวันที่ 1, 7 และ 14 ของโยเกิร์ตทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่เริ่มพบความแตกต่างของคะแนนความชอบด้านรสชาติของโยเกิร์ตแต่ละสูตรเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ($p<0.05$)



ภาพที่ 16 คะแนนความชอบด้านรสชาติของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตลอดการเก็บรักษา 60 วัน

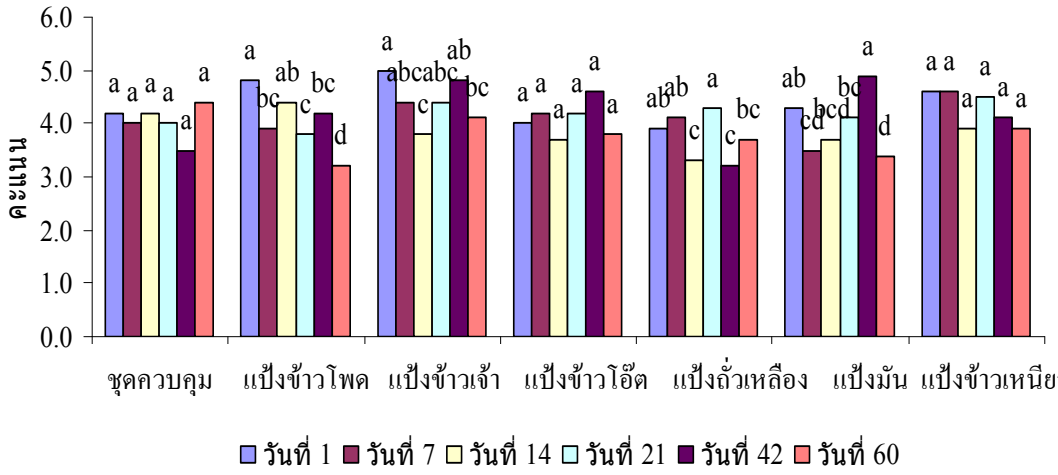
คะแนน 10 = good 0 = bad

^{abcde} กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การเปลี่ยนแปลงค่าความชอบด้านรสชาติ ตลอดอายุการเก็บรักษา 60 วัน พบว่า ค่าความชอบด้านรสชาติของโยเกิร์ตทุกสูตรจะมีค่าสูงในช่วง 4 สัปดาห์แรก และลดลงเมื่อเข้าสู่วันที่ 42 และ 60 จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ประเมินได้ให้ข้อมูลว่าความเปรี้ยวของโยเกิร์ตทุกสูตรในวันที่ 1 มีความเปรี้ยวน้อย (low acid) และความเปรี้ยวของโยเกิร์ตเริ่มเพิ่มขึ้นในวันที่ 7-42 สอดคล้องกับการรายงานของ Tamime and Robinson (2007) ที่รายงานว่าโยเกิร์ตที่เก็บ

รักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะสามารถเก็บโยเกิร์ตได้นาน 1-2 สัปดาห์ แต่เมื่อเก็บโยเกิร์ตนานขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตค่อยๆลดลงจนถึงระดับหนึ่งที่ผู้บริโภค รับรู้ได้ถึงการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสได้ ค่าความเปรี้ยวที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเป็นผลโดยตรงมาจากการเจริญเติบโตของแลคติกแบคทีเรีย จะมีการผลิตกรดแลคติกออกมามากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตมีรสชาติเปรี้ยวมากขึ้นตามไปด้วย และส่งผลให้โยเกิร์ตมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ลดลง

ส่วนโยเกิร์ตนมแพะสูตรเสริมแป้งถั่วเหลือง พบว่าโยเกิร์ตมีรสและกลิ่นถั่วเหลืองมาก ทำให้ส่งผลโดยตรงต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้ประเมิน สอดคล้องกับรายงานของ García and Mcgregor (1997) ที่ได้ศึกษาการเสริมใยอาหาร 7 ชนิดในโยเกิร์ตนมโครสธรรมชาติ พบว่าสูตรที่เสริมใยอาหารจากถั่วเหลืองกลับทำให้กลิ่นของถั่วเหลือง และเนื้อสัมผัสมีลักษณะเป็นเม็ดทราย ข้อจำกัดของถั่วเหลือง คือเรื่องของปริมาณในการใช้ที่จำกัดเนื่องมาจากกลิ่น กลิ่นที่พบทั่วไปในถั่วเหลืองคือกลิ่นที่เรียกว่า green/grassy หรือกลิ่นถั่ว



ภาพที่ 17 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ที่เก็บรักษา 60 วัน

คะแนน 5 = good 0 = bad

^{abc} กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ภาพที่ 17 แสดงค่าเฉลี่ยความชอบด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะทุกสูตรเปรียบเทียบในแต่ละสัปดาห์ ค่าความชอบด้านเนื้อสัมผัสมีระดับคะแนน 1 ถึง 5 โดย 1 คะแนนหมายถึงโยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสที่แย่ และ 5 หมายถึงโยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสที่ที่ดี จากกราฟแสดงให้เห็นว่า คะแนน

ความชอบด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตทุกสูตรในช่วงต้นไม่แตกต่างกันมากนัก โดยโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวเจ้าได้คะแนนสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตรเสริมแป้งข้าวโพด สูตรเสริมแป้งข้าวเหนียว สูตรชุดควบคุม และสูตรแป้งมันตามลำดับ แต่ในวันที่ 42 ค่าความชอบของโยเกิร์ตแต่ละสูตรเริ่มมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน และพบว่าโยเกิร์ตสูตรชุดควบคุม สูตรเสริมแป้งข้าวโอ๊ต และสูตรเสริมแป้งข้าวเหนียว ทั้งสามสูตรมีค่าความชอบด้านเนื้อสัมผัสทั้ง 6 สัปดาห์มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากกราฟจะเห็นว่าค่าความชอบด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะเกือบทุกสูตร จะมีค่าสูงในช่วง 4 สัปดาห์แรก และจะค่อยๆลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

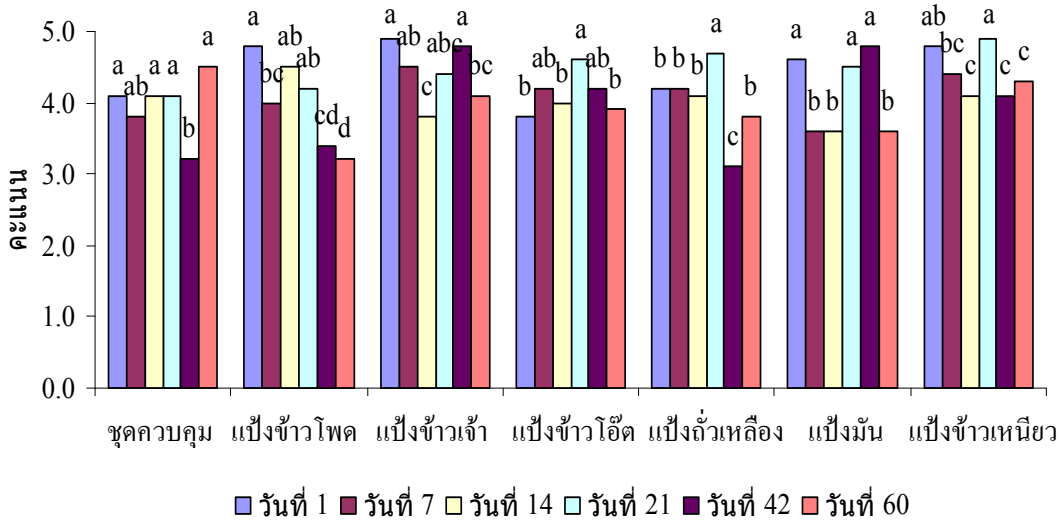
จากความคิดเห็นของผู้ประเมินพบว่าในโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งแต่ละสูตรจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันไป เช่นสูตรเสริมแป้งถั่วเหลือง โยเกิร์ตมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเม็ดทรายในสูตรเสริมแป้งข้าวเจ้า สูตรเสริมแป้งข้าวเจ้าเหนียว และสูตรชุดควบคุมเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตมีลักษณะเหลวเล็กน้อย เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโพดมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างแน่น (too firm) มากขึ้นในช่วงวันที่ 21-60

สาเหตุที่โยเกิร์ตเสริมแป้งแต่ละสูตรมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแตกต่างกันเนื่องมาจากอิทธิพลของแป้งแต่ละชนิดที่เสริมลงไปในโยเกิร์ตนมแพะจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะ เช่นโยเกิร์ตเสริมแป้งถั่วเหลืองทีมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเนื้อทรายเนื่องมาจากคุณลักษณะของแป้งถั่วเหลืองที่ได้จากการนำถั่วเหลืองไปอบและบดเป็นผงไม่ได้ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่แยกเอาส่วนของสารอาหารต่างๆที่มีอยู่ในวัตถุดิบเดิมทั้งหมดออก คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย จึงส่งผลให้มีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างหยาบ และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ด้วย อารีย์ (ม.ป.ป.) ได้ทดลองผลิตโปรตีนเกษตรและมีการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อเทียมซึ่งผลิตจากแป้งถั่วเหลืองพร่องไขมันจากแหล่งต่างๆ เพื่อทดแทนการนำเข้า ผลการศึกษาพบว่า แป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน ซึ่งผลิตเองในประเทศมีคุณภาพทาง โภชนาการใกล้เคียงกับต่างประเทศ แต่เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมพบว่ายังมีปัญหาทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อยู่บ้าง

โยเกิร์ตเสริมแป้งข้าวโพดมีลักษณะของเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแน่น เนื่องมาจากโยเกิร์ตเสริมแป้งข้าวโพดสามารถใช้แป้งทดแทนนมผงได้มากกว่าสูตรอื่นๆอยู่ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งคุณสมบัติของแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณของอะไมโลสที่สูงเกือบ 30 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้โยเกิร์ตเกิดการแยกน้ำแยกเนื้อและคืนตัวอย่างรวดเร็วส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตที่มีลักษณะแน่น

ข้น มากขึ้นซึ่งตรงข้ามกับโยเกิร์ตเสริมแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวเจ้า ที่ใช้แป้งทดแทนนมผงได้เพียง 15 เปอร์เซ็นต์ และแป้งยังมีปริมาณ อะไมโลสที่ต่ำมากจึงทำให้โยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างเหลวเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรแป้งข้าวโพด

ภาพที่ 18 แสดงค่าความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏ ของโยเกิร์ตนมแพะทุกสูตร ค่าความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏมีระดับคะแนน 1 ถึง 5 โดย 1 คะแนนหมายถึง แย่ และ 5 หมายถึงดี จากภาพพบว่าค่าความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏของโยเกิร์ตแต่ละสูตร ในช่วง ต้นของการเก้บรักษา คือในวันที่ 1, 14 และ 21 พบว่าค่าความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏของโยเกิร์ตแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่เมื่อเข้าสู่วันที่ 42 ของการเก็บรักษาพบว่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏเริ่มลดลงและมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละสูตร เนื่องมาจากเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพภายในของโยเกิร์ตแต่ละสูตร ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดปรากฏการแยกน้ำแยกเนื้อของโยเกิร์ตซึ่งส่งผลต่อความน่ารับประทานของโยเกิร์ตและทำให้ดูเหมือนผลิตภัณฑ์เน่าเสีย จึงทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น



ภาพที่ 18 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร เก็บรักษา 60 วัน

คะแนน 5 = good 0 = bad

^{abcd} กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากความคิดเห็นของผู้ประเมิน พบว่าในโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโอ๊ตนั้น ลักษณะปรากฏของเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตจะมีเศษเม็ดข้าวโอ๊ตปนอยู่บนผิวหน้าของโยเกิร์ต เนื่องมาจากแป้งข้าวโอ๊ตที่นำมาใช้ได้มาจากการนำเม็ดข้าวโอ๊ตมาบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นไม่ได้เป็นแป้งที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแป้งโดยตรงจึงอาจส่งผลให้อนุภาคของแป้งมีขนาดไม่เท่ากันและมีเศษกากใยของข้าวโอ๊ตติดมาด้วย โยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโพด เริ่มปรากฏการแยกน้ำแยกเนื้อ ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของอะไมโลสในแป้งข้าวโพดที่มีสูง ประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดการคืนตัวของแป้งได้ง่ายเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำและระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้โยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโพดพบการแยกน้ำแยกเนื้อได้เร็วกว่าสูตรอื่นๆ ในวันที่ 7 เป็นต้นไป และโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งถั่วเหลือง พบลักษณะของเนื้อโยเกิร์ตที่ผิวหน้าเป็นก้อนไม่เรียบ (lumpy)

การใช้ความร้อนในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์นอกจากจะทำลายจุลินทรีย์ได้ ยังสามารถช่วยปรับโครงสร้างของเวย์โปรตีน (whey protein) และช่วยให้แป้งสามารถละลายกลายเป็นโครงสร้างของเจลรวมกับโปรตีนและสารประกอบต่างๆในน้ำนมเพื่อช่วยเสริมสร้างเนื้อสัมผัสและป้องกันการแยกน้ำแยกเนื้อของโยเกิร์ตนมแพะได้ (Tamine and Robinson, 2007) ส่งผลให้โยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งแต่ละสูตรมีคะแนนเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งไม่ได้เสริมแป้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Jimoh and Kolapo (2007) ได้ศึกษาผลการใช้แป้งข้าวโพด แป้งมัน และเจลลาติน ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์เป็นสารเพิ่มความคงตัว เพื่อรักษาสภาพเนื้อสัมผัสและป้องกันการแยกตัวของเวย์โปรตีนในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมถั่วเหลือง ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคและระยะเวลาการเก็บรักษา โดยทำการเก็บรักษาโยเกิร์ตเป็นระยะเวลา 16 วัน ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดแลคติกของทุกตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณจุลินทรีย์ในทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษาและเริ่มลดลงเรื่อยๆ ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า การใช้เจลลาตินเป็นสารเพิ่มความคงตัว ได้รับการยอมรับสูงสุด ตามด้วยแป้งมันและแป้งข้าวโพดตามลำดับ จากผลการทดลอง ผู้ทำการทดลองได้แนะนำว่าสามารถใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวทดแทนการใช้สารเพิ่มความคงตัว ที่มีราคาแพงในการผลิตโยเกิร์ตน้ำนมถั่วเหลืองได้

จากผลการศึกษาการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งทุกสูตร พบว่า โยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตรมีคะแนนการยอมรับที่ลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยผลของระยะเวลาการเก็บรักษารักษาจะส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงด้านรสชาติซึ่งจะทำให้โยเกิร์ตมีรสชาติเปรี้ยวเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเติบโตของจุลินทรีย์กรดแลคติกส่งผลให้ปริมาณกรดแลกติคเพิ่มขึ้นและค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนี้จะส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตด้วย โดยจะทำให้เกิดการแยกน้ำแยกเนื้อของผลิตภัณฑ์และเนื้อสัมผัสมีความหนืดเพิ่มขึ้นมากเกินในบางสูตรเช่น โยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งข้าวโพด และบางสูตรมีเนื้อสัมผัสที่เหลวมากขึ้น เช่น โยเกิร์ตนมแพะสูตรควบคุม สุตรเสริมแป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเจ้า เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงด้านชีวเคมีและกายภาพของโยเกิร์ต สอดคล้องกับการรายงานของ กีรสุดา (2536) และ Staffolo *et al*. (2004) โดย กีรสุดา (2536) ได้รายงานผลของอุณหภูมิและอายุการเก็บต่อปริมาณสารบางชนิดและคุณภาพของโยเกิร์ตนมโครสธรรมชาติที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจำนวน 4 ยี่ห้อ (ใช้ชื่อแทนชื่อทางการค้า เป็น A, B, C และ D) เลือกใช้เฉพาะตัวอย่างก่อนหมดอายุ 10 วัน การประเมินผลทางประสาทสัมผัส พบว่า สีมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก คะแนนการยอมรับการแยกตัวของน้ำ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้น เมื่อเก็บตัวอย่างไว้นานประมาณ 7 วัน (ก่อนหมดอายุ 3 วัน) ผู้ทดสอบยอมรับตัวอย่างซึ่ง เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มากกว่าตัวอย่างซึ่งเก็บที่ 10 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการเก็บ 14 วัน(หลังหมดอายุ 4 วัน) ผู้ ทดสอบยังยอมรับตัวอย่างยี่ห้อ B C และ D ได้ ส่วนตัวอย่างยี่ห้อ A เริ่มไม่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ เมื่อเก็บนาน 10 วัน (ตรงกับวันหมดอายุ ของผลิตภัณฑ์)

ในส่วนของ Staffolo *et al*. (2004) ได้ศึกษาการเสริมใยอาหารที่มีการผลิตขายเป็นการค้า 4 ชนิดได้แก่ ใยอาหารจากแอ๊ปเปิ้ล ใยอาหารข้าวสาลี ใยอาหารไผ่ และ อินนูลิน ปริมาณ 1.3 เปอร์เซ็นต์ ในโยเกิร์ตนมโครสธรรมชาติเทียบกับชุดควบคุมที่เป็นโยเกิร์ตรสธรรมชาติที่ไม่มีการเสริมใยอาหาร เก็บรักษาโยเกิร์ตเป็นเวลา 21 วัน พบว่า ค่าการแยกน้ำแยกเนื้อ ของทุกตัวอย่างไม่มีความแตกกัน ค่า น้ำอิสระ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และสี ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะการเก็บ แต่ค่าความหนืดและเนื้อสัมผัสของแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าทางประสาทสัมผัส (เนื้อสัมผัส รสชาติและลักษณะที่ปรากฏ) พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับทุกตัวอย่างด้วยคะแนนที่สูงและไม่แตกต่างกัน ยกเว้นด้านสีของโยเกิร์ตที่เสริมใยอาหารแอ๊ปเปิ้ล ที่มีสีน้ำตาลเด่นชัดมากที่สุด

7. คุณภาพด้านความปลอดภัยและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้ง

การผลิตโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้ง สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดคือคุณภาพด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ จึงต้องมีการพิจารณาและตรวจสอบว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งมีจุดวิกฤตใดที่อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภคหรือไม่ เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นแก่ผู้บริโภคภายหลังจากการรับประทานโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้ง

ในการควบคุมคุณภาพด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนมแพะ จำเป็นที่จะต้องได้รับดูแลเอาใจใส่ตั้งแต่การเลือกวัตถุดิบทั้งหมดที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิต ภาชนะบรรจุ กระบวนการผลิต ไปจนถึงการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผลิตเสร็จแล้ว จากการวิเคราะห์อันตรายทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ อันตรายทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ที่อาจพบได้ในทุกขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตนมแพะ พบว่า อันตรายทางด้านกายภาพนั้น สิ่งที่ต้องระวังได้แก่ เศษขนสัตว์ หิน ดิน ที่อาจมีการปนเปื้อนมากับน้ำนมแพะดิบ ซึ่งสามารถป้องกันและกำจัดออกไปได้โดยการนำนมแพะดิบมากรองด้วยผ้าขาวบาง ในกระบวนการผลิตจะมีการกรอง 2 ครั้ง คือ กรองครั้งแรกในขั้นตอนก่อนการนำนมแพะดิบไปผลิต และกรองครั้งที่สอง หลังจากละลายส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้สำหรับผลิตโยเกิร์ต จากนั้นจึงค่อยนำไปพาสเจอร์ไรส์ อันตรายทางเคมี สิ่งที่ต้องระวังคือ ยาปฏิชีวนะตกค้างในน้ำนมแพะดิบ สามารถป้องกันโดยนำนมแพะดิบที่จะใช้สำหรับผลิตโยเกิร์ตไปตรวจด้วยชุดตรวจหายาปฏิชีวนะตกค้าง ซึ่งจากผลการตรวจไม่พบยาปฏิชีวนะตกค้างในน้ำนมแพะดิบ และสุดท้ายอันตรายทางด้านจุลินทรีย์ สิ่งที่ต้องระวังได้แก่ จุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค โดยสามารถป้องกันและกำจัดได้ด้วยการจัดการด้านสุขลักษณะส่วนบุคคลที่ดี การใช้ความร้อนที่เหมาะสม และการเก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่สะอาด ภายใต้อุณหภูมิที่สามารถลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

สำหรับแนวทางการนำแป้งมาประยุกต์ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสนั้น โดยแป้งที่เสริมเพื่อทดแทนนมผงนั้นจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความคงตัว สำหรับสารเพิ่มความคงตัวตามวัตถุประสงค์การใช้ของ FAO/WHO (1990) นั้น ได้ระบุว่าการเติมสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณลักษณะของโยเกิร์ตให้ดีขึ้น ได้แก่ โครงสร้างและเนื้อสัมผัส ความข้นหนืด /ความสม่ำเสมอ ลักษณะปรากฏและทางประสาทสัมผัส ซึ่งสารเพิ่มความคงตัวที่ได้รับอนุญาตให้สามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้นั้นจะต้องประกอบด้วย 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มาจากธรรมชาติ (natural) กลุ่มที่ได้รับการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง (modified) และกลุ่มที่สังเคราะห์ขึ้น (synthesis) ซึ่งแป้งทั้ง 6 ชนิดที่ได้นำมาใช้ในการ

เสริมทดแทนนมผงในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะในครั้งนี้ ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารเพิ่มความคงตัวที่ได้จากธรรมชาติ ในกลุ่มของธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวโอ๊ต หรือในกลุ่มผัก เช่น แป้งถั่วเหลือง แสดงให้เห็นว่าแป้งสามารถนำมาใช้เสริมทดแทนนมผงและปรับปรุงคุณภาพของโยเกิร์ตนมแพะได้อย่างมีคุณภาพและปลอดภัย

การพิจารณาถึงอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสมสำหรับโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งนี้ นอกจากจะต้องคำนึงด้านความปลอดภัยจากปริมาณของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคซึ่งจากการศึกษาพบว่าโยเกิร์ตนมแพะเสริมด้วยแป้งทุกสูตรมีจำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่น้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็นต่อกรัม และตรวจไม่พบ เชื้อราและยีสต์ตลอดระยะเวลาการเก็บที่ 60 วัน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว ของกระทรวงสาธารณะสุข แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะมีความปลอดภัยในด้านจุลินทรีย์ แต่หากโยเกิร์ตมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงไปย่อมส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาอายุการเก็บของโยเกิร์ต

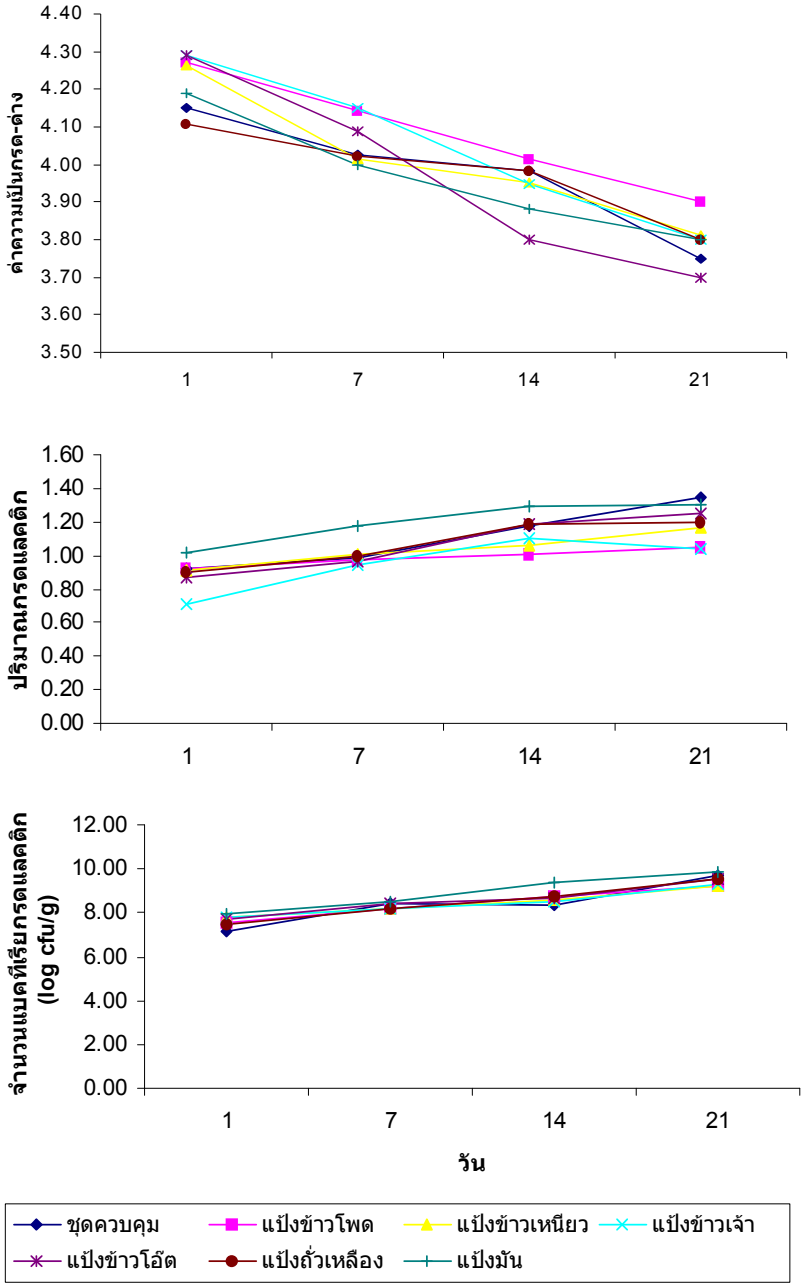
จากผลการเปลี่ยนแปลงในคุณภาพด้านต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งในระหว่างการเก็บรักษา ตามที่ได้รายงานมีผลทำให้การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ไม่ว่าจะเป็นความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏ ซึ่งผู้ทดสอบมีความชอบต่อโยเกิร์ตนมแพะลดลงที่เวลาเก็บ 21 วันจากระดับความชอบปานกลางเป็นเฉย ๆ ซึ่งถือเป็นเกณฑ์ในการตัดสินอายุของผลิตภัณฑ์ (Alves and Sarantópoulos, 2001; นวลนภา, 2546) แต่ในการจัดจำหน่าย อย่างน้อยผลิตภัณฑ์ควรอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ดังนั้นอายุการจัดจำหน่ายและอายุเก็บรักษาของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งที่เหมาะสม คือ ไม่ควรเกิน 21 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Tamime and Robinson (2007) ที่รายงานว่าโยเกิร์ตที่ผลิตเสร็จแล้วควรบรรจุลงในภาชนะที่สะอาดปราศจากเชื้อโรค เพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้ามจากบรรจุภัณฑ์มาสู่โยเกิร์ต และสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บโยเกิร์ตได้นาน 1-2 สัปดาห์ แต่เมื่อเก็บโยเกิร์ตนานขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตค่อยๆลดลงจนถึงระดับหนึ่งที่ผู้บริโภค รับรู้ได้ถึงการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสได้ และสุดท้ายจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเชื้อของโยเกิร์ตจะถูกทำลาย เนื่องจากความปริมาณกรดที่เพิ่มสูงขึ้นจนทำให้สภาพแวดล้อมในโยเกิร์ตไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อและอาจจะมี จุลินทรีย์ชนิดอื่นเติบโตขึ้นมาแข่งขันได้เช่น ยีสต์และรา

II. การทดลองที่ 2 การศึกษาคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้

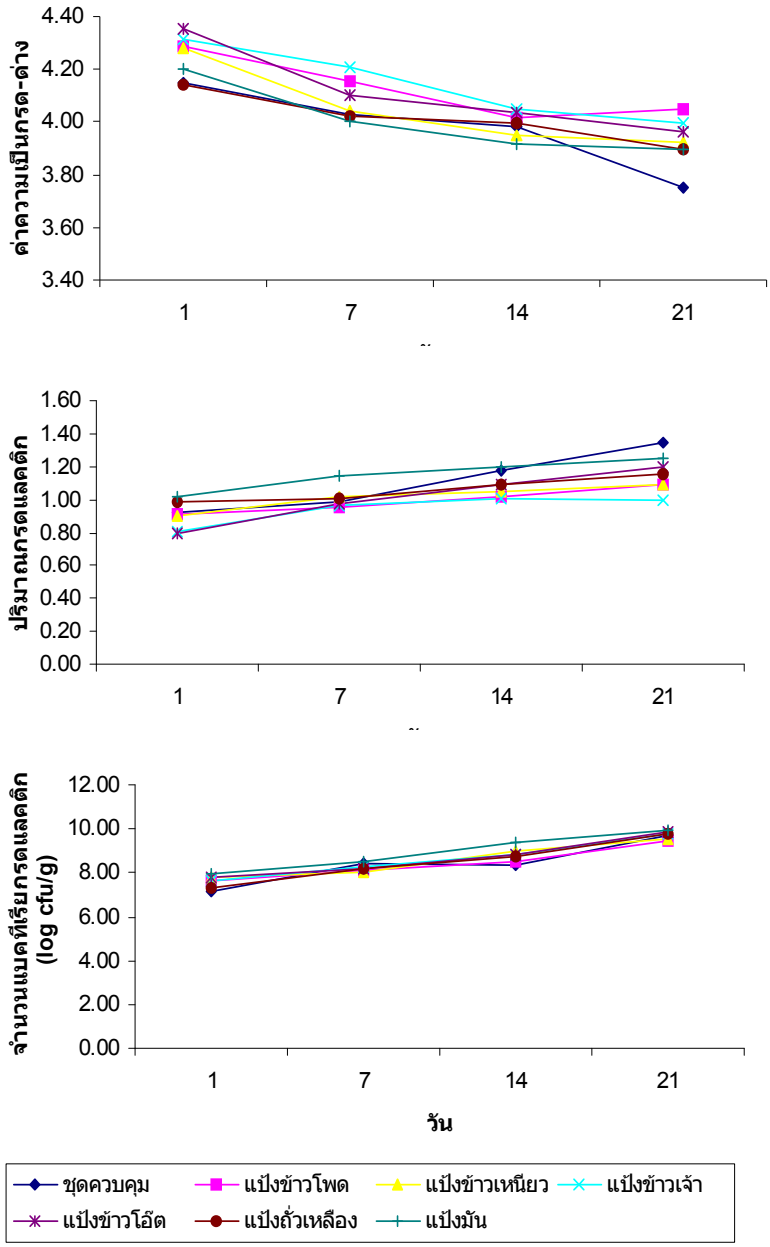
จากการศึกษาคุณลักษณะด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้ (รสส้ม รสสตรอเบอร์รี่ รสบลูเบอร์รี่) เปรียบเทียบกับชุดควบคุมรสหวานผสมน้ำตาล 4 เปอร์เซ็นต์ (ไม่ได้เสริมแป้ง) พบว่า

1. คุณลักษณะทางเคมีและแบคทีเรียกรดแลคติก

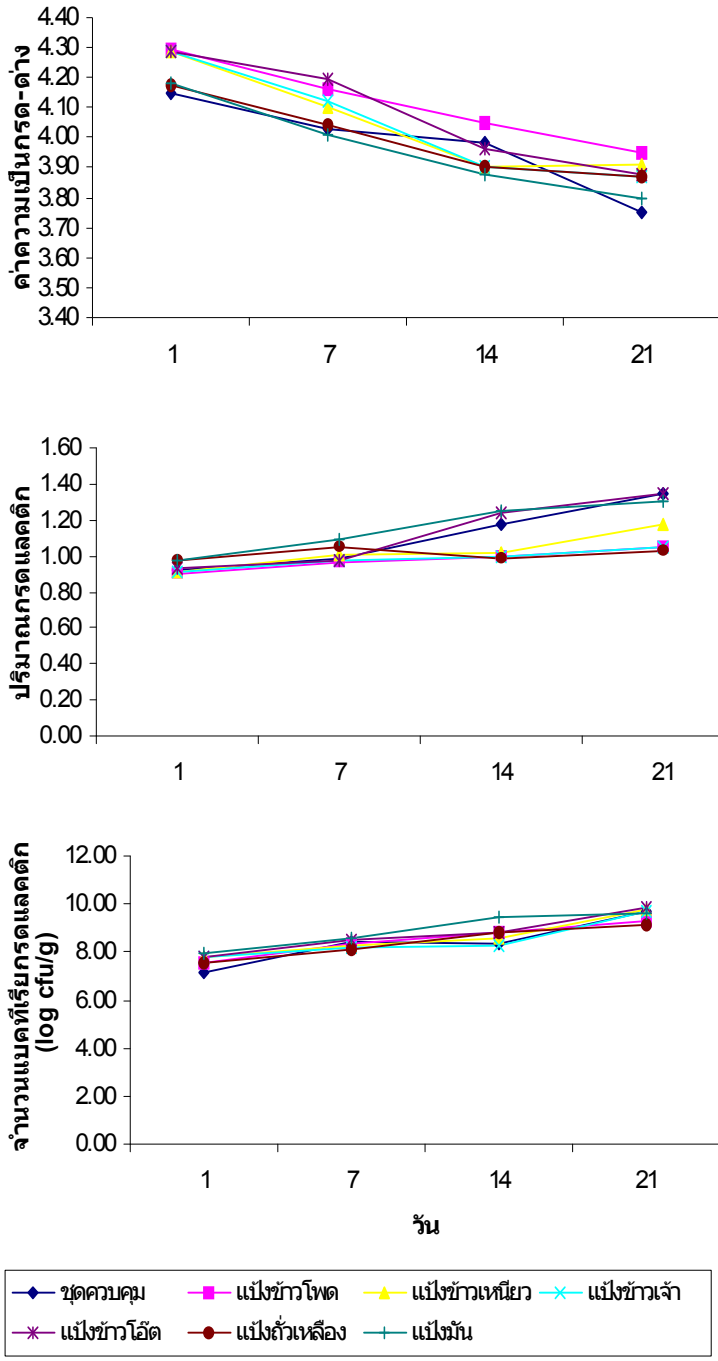
จากภาพที่ 19, 20 และ21 พบว่าโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้แต่ละสูตรมี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติกและจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกใกล้เคียงกันมาก และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ทั้งสามรสที่เสริมแป้งแต่ละสูตรมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นและมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่แปรผกผันกับปริมาณกรดแลคติก ซึ่งปริมาณกรดแลคติกและจำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดแลคติกเป็นผลโดยตรงจากการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก เมื่อแบคทีเรียกรดแลคติกเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณมากขึ้นในทุกวันของการเก็บรักษา มีการผลิตปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ลดลงเนื่องมาจากแบคทีเรียกรดแลคติกจำเป็นต้องใช้พลังงานในกระบวนการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มปริมาณ โดยพลังงานที่ใช้สำหรับกระบวนการแบ่งเซลล์จะได้มาจากการปล่อย เอนไซม์เบต้ากาแล็คโตซิเดส (β-galactosides) ออกมาเพื่อย่อยน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโครส และน้ำตาลกาแล็คโตส จากนั้นน้ำตาลทั้งสองจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้างพลังงาน ATP และได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นกรดแลคติก ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดแลคติกในโยเกิร์ต ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Muhammad and Abubanka (2008) ที่รายงานว่าปริมาณกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมโคที่จำหน่ายทางการค้ามีค่าเพิ่มขึ้นจากวันแรกของการผลิตจนถึงวันที่ 9 มีค่า 0.58 ถึง 1.31 และค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงจาก 4.27 ถึง 3.27 ซึ่งก็เป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติกที่ในช่วงวันต้นๆ ของการเก็บรักษามีการเติบโตอยู่ในช่วงที่มีการเพิ่มปริมาณแบบทวีคูณ (log phase) ทำให้มีการใช้น้ำตาลแลคโตสในน้ำนมเพิ่มมากขึ้นจนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดแลคติก



ภาพที่ 19 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติก และการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งรสส้ม เก็บที่อุณหภูมิ4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน



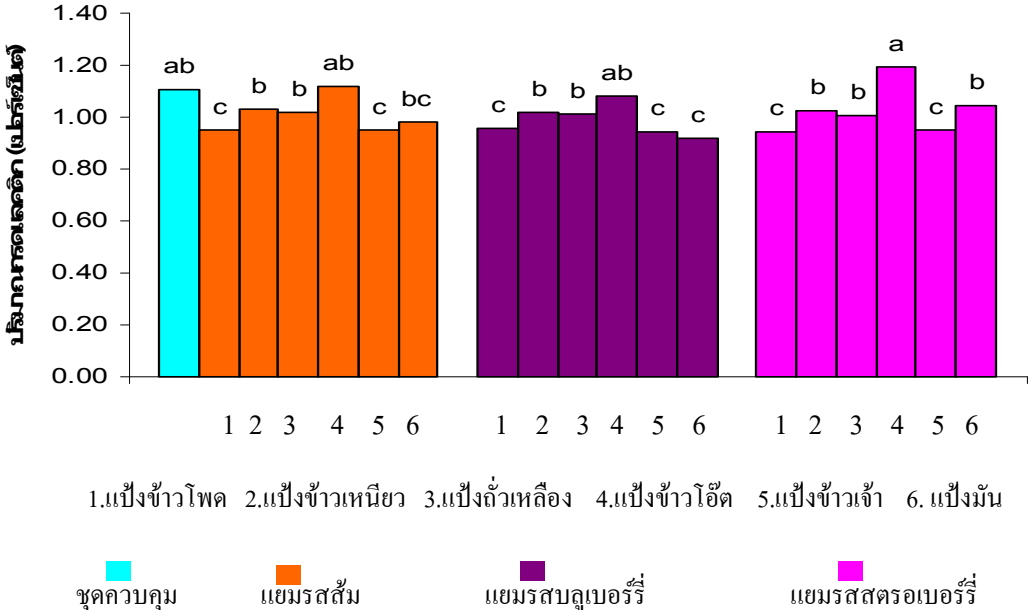
ภาพที่ 20 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติก และการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งรสบลูเบอร์รี่ เก็บที่อุณหภูมิ4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน



ภาพที่ 21 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติก และการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสสตรอเบอร์รี่ เก็บที่อุณหภูมิ4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

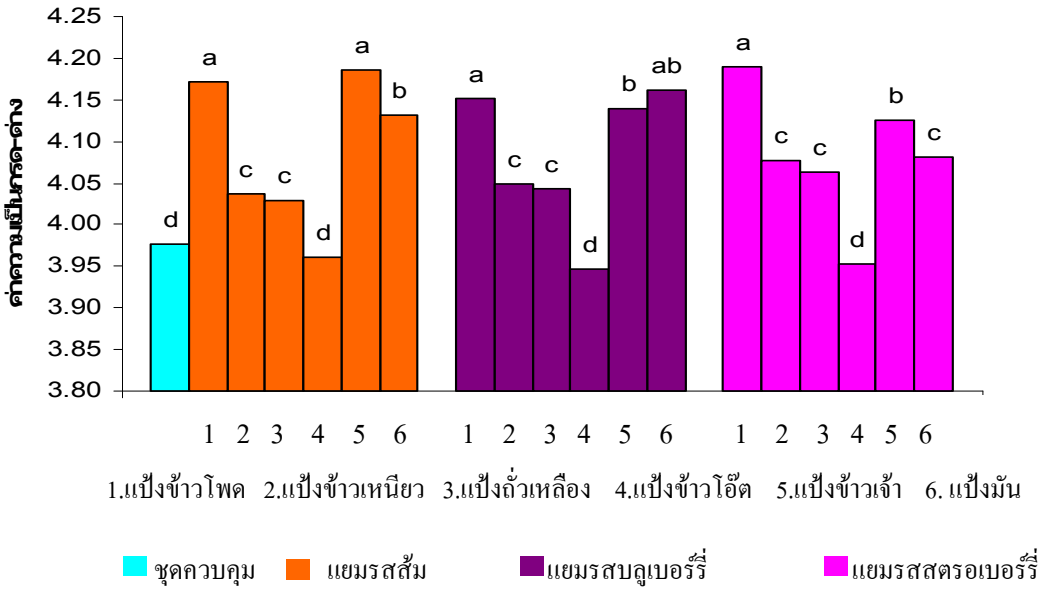
จากภาพที่ 22 และ 23 พบว่าโยเกิร์ตนมแพะสูตรชุดควบคุม และสูตรแป้งข้าวโอ๊ตที่ผสมแยมรส สตรอเบอร์รี่ รสบลูเบอร์รี่และรสส้ม มีปริมาณกรดแลคติกสูงที่สุดและ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำที่สุด ตามลำดับ แตกต่างจากโยเกิร์ตนมแพะสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และภาพที่ 24 พบว่าโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ที่เสริมด้วยแป้งแต่ละสูตรมีจำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่จะพบว่าโยเกิร์ตนมแพะสูตรเสริมแป้งข้าวโอ๊ตที่ผสมแยมรสสตรอเบอร์รี่ รสบลูเบอร์รี่และรสส้ม มีแนวโน้มปริมาณเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากในแป้งข้าวโอ๊ตนั้นมีสารที่มีชื่อว่า เบต้ากลูแคน (β-glucan) เป็นใยอาหารที่ละลายในน้ำได้และมีคุณสมบัติเป็นสารพรีไบโอติกส์ (prebiotics) ซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติก จึงทำให้โยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโอ๊ตที่ผสมแยมผลไม้ทุกรสมีปริมาณของแบคทีเรียกรดแลคติกที่ค่อนข้างสูงกว่าโยเกิร์ตสูตรอื่น

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติก ของโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งชนิดเดียวกันแต่ผสมแยมรสผลไม้ต่างรสกัน พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดแลคติกที่ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าการผสมแยมรสผลไม้ทั้งสามรสได้แก่ รสส้ม รสบลูเบอร์รี่ และรสสตรอเบอร์รี่ ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ในโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งทุกสูตร ไม่ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดแลคติก และจำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก ของโยเกิร์ตแตกต่างกันตลอดการเก็บรักษาที่ 21 วัน ($p>0.05$) โดยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเคมีได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดแลคติกเป็นผลโดยตรงมาจากการเพิ่มปริมาณของแบคทีเรียกรดแลคติก



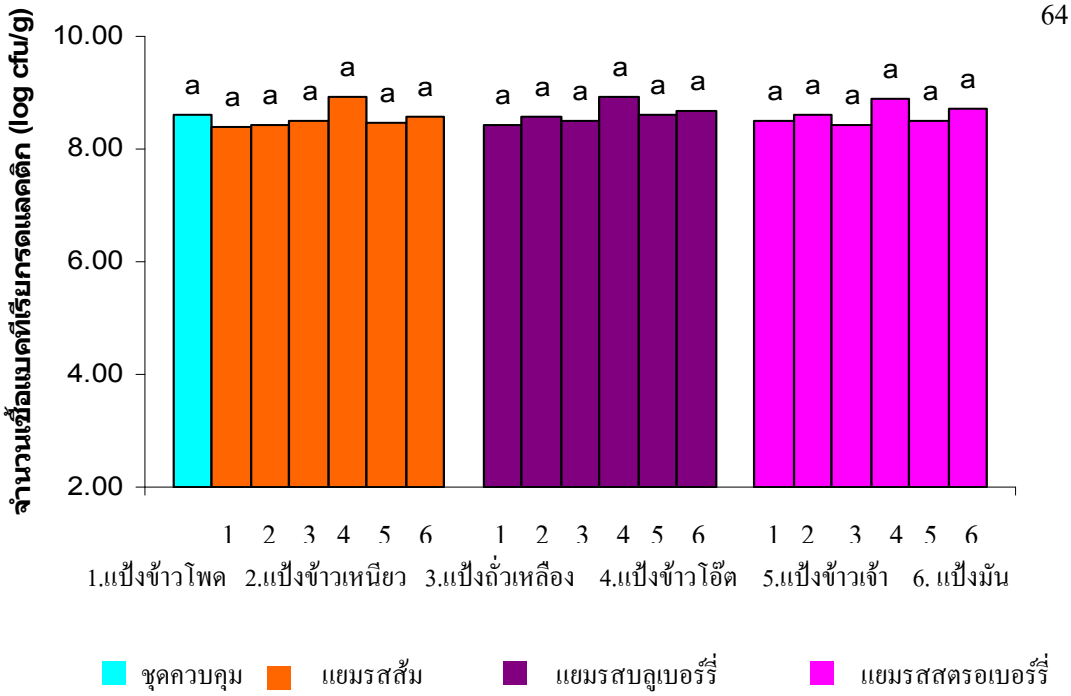
ภาพที่ 22 ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ที่เสริมด้วยแป้งแต่ละสูตร เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

[abc] กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 23 ปริมาณกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ที่เสริมด้วยแป้งแต่ละสูตรเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

[abcd] กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 24 การเติบโตของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ที่เสริมด้วยแป้งแต่ละสูตร เก็บที่อุณหภูมิ4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

[a] กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2. คุณภาพด้านจุลินทรีย์ทั่วไป โคลิฟอร์ม ยีสต์และรา

ตารางที่ 7 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้ แต่ละสูตร ซึ่งให้ผลการทดลองที่เหมือนกัน โดยโยเกิร์ตแต่ละสูตรตรวจพบจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด > 10 โคโลนีต่อกรัม จำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรียในระดับที่ > 3 เอ็มพีเอ็นต่อกรัม และตรวจไม่พบยีสต์และราในทุกสูตรที่ระยะการเก็บรักษา 21 วัน การให้ความร้อนแก่นมแพะในช่วงอุณหภูมิพาสเจอร์ไรส์ สามารถช่วยทำลายเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค และสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียลงได้ อีกทั้งค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ต่ำกว่าระดับ 4.6 ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรค จึงเป็นสาเหตุให้โยเกิร์ตนมแพะแต่ละสูตร ตรวจไม่พบยีสต์และรา รวมถึงโคลิฟอร์มแบคที่เรีย ในปริมาณที่น้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็นต่อกรัม ตลอดการเก็บรักษา 21 วัน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการผลิตนมเปรี้ยวของประเทศไทย (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546)

สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองเก็บรักษา โยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ในระยะเวลาที่นานขึ้นจากวันที่ 21 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาสูงสุดของนมแพะพบว่าโยเกิร์ตนมแพะเริ่มเสียในวันที่ 39 ของการเก็บ โดยพบโคโลนีของเชื้อราขึ้นบนผิวหน้าของโยเกิร์ตนมแพะรสธรรมชาติ (ชุดควบคุม) ซึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 289) พ.ศ.2548 ได้กำหนดว่าโยเกิร์ตต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิไม่เกิน 8 องศาเซลเซียสและระยะการบริโภคไม่เกิน 30 วัน แต่จากการทดลองพบว่าสามารถเก็บรักษาโยเกิร์ตนมแพะได้มากกว่า 30 วัน

ตารางที่ 7 จำนวนจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตนมแพะเสริมด้วยแป้ง รสผลไม้ทุกสูตร เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่ให้ผลการทดลองสอดคล้องกัน

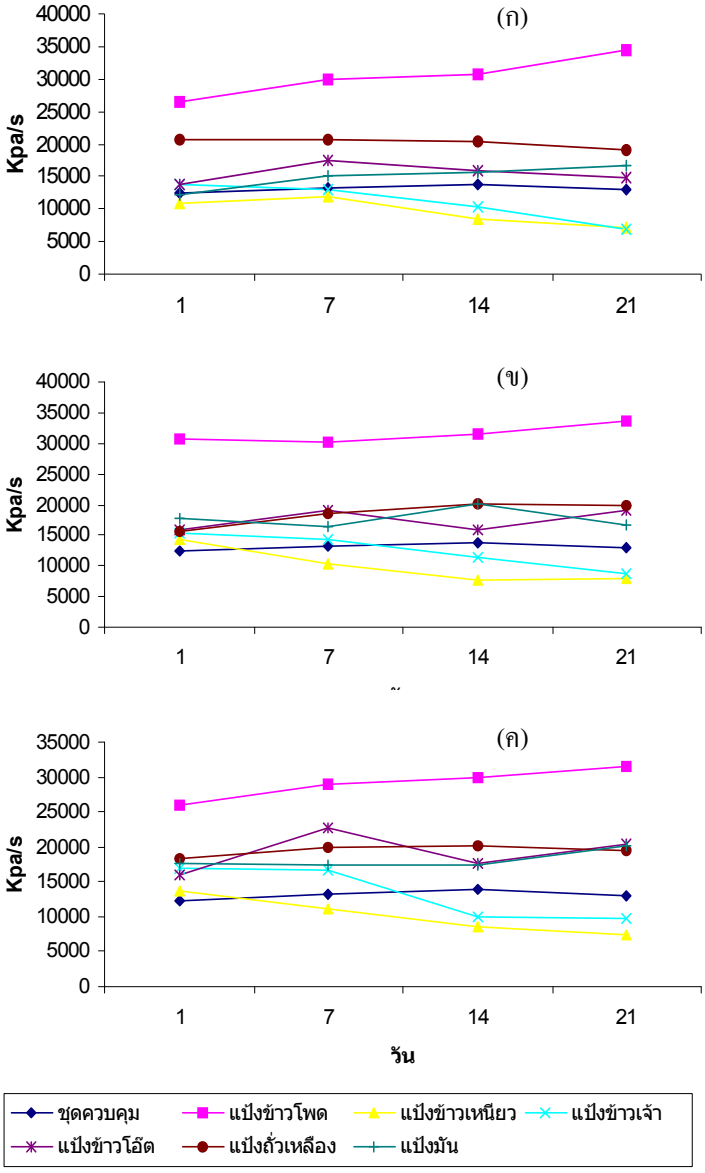
ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	จำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (เอ็มพีเอ็นต่อกรัม)	จำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	จำนวนเชื้อราและยีสต์ (โคโลนีต่อกรัม)
1	< 3	< 10	nd
7	< 3	< 10	nd
14	< 3	< 10	nd
21	< 3	< 10	nd

*nd = ตรวจไม่พบ (not detected)

3. ค่าความหนืด

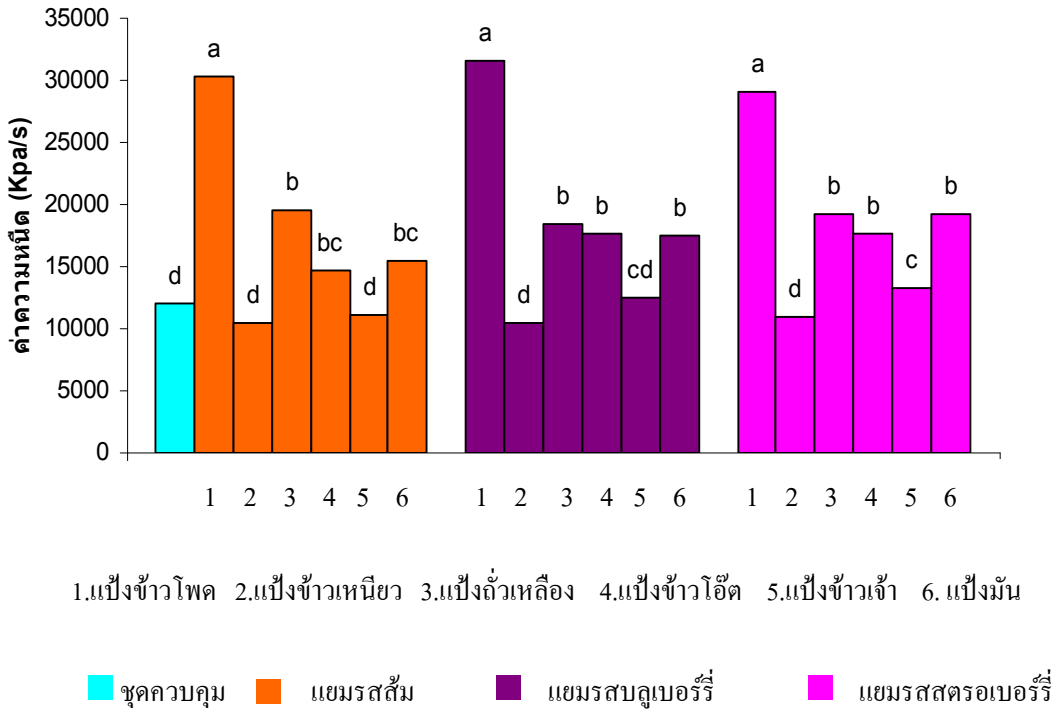
จากภาพที่ 25 พบว่าค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้เสริมแป้งแต่ละสูตรมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ยกเว้นสูตรเสริมแป้งข้าวเหนียว สาเหตุที่โยเกิร์ตทุกสูตรมีแนวโน้มของค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้นเนื่องมาจากคุณสมบัติการคืนตัวของแป้งซึ่งเป็นผลมาจากสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน แป้งที่มีสัดส่วนของอะไมโลสสูง อย่างเช่นแป้งข้าวโพดจะมีการคืนตัวที่สูงและเร็ว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิเย็นและเป็นระยะเวลานาน มากกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ อีกทั้งโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโพดยังมีสัดส่วนของการเสริมแป้งเพื่อทดแทนนมผงที่สูงกว่าทุกแป้งที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้โยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ทั้งสามรสที่เสริมแป้งข้าวโพดมีค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าความหนืดสูงที่สุด ในแป้งข้าวโอ๊ตจะมีสารที่มีชื่อว่า เบต้ากลูแคน ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยพัฒนาลักษณะทางกายภาพของอาหาร โดยเป็นสารเพิ่มความข้นหนืดและเพิ่มความเสถียรให้อาหารประเภทอิมัลชัน จึงทำให้ในโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้สูตรเสริมแป้งข้าวโอ๊ต 5 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นเนื้อเจล มีการเปลี่ยนความข้นหนืดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดอายุการเก็บรักษา

สำหรับแป้งข้าวเหนียวซึ่งมีสัดส่วนของอะไมโลสที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอะไมโลเพคตินที่สูง โดยคุณสมบัติของอะไมโลเพคตินจะมีโครงสร้างของสายพอลิเมอร์กลูโครสที่มีลักษณะเป็นโซ่กิ่งเมื่อเกิดการละลายจะสานตัวกันเป็นร่างแห และมีความสามารถจับตัวกันได้ดีมีการคืนตัวที่น้อยมาก จึงทำให้ค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ทั้งสามรสสูตรเสริมแป้งข้าวเหนียวมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะรสส้ม (ก) รสบลูเบอร์รี่ (ข) และรสสตรอเบอร์รี่ (ค) ที่เสริมด้วยแป้งทุกสูตร เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 21 วัน

ภาพที่ 26 พบว่าโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งข้าวโพด รสส้ม รสบลูเบอร์รี่และรสสตรอเบอร์รี่มีค่าความหนืดสูงที่สุดแตกต่างจากสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่าโยเกิร์ตนมแพะสูตรเสริมแป้งข้าวเหนียวผสมแยมผลไม้ทั้งสามรสและสูตรชุดควบคุมมีค่าความหนืดเฉลี่ยตลอดอายุการเก็บรักษาที่ 21 วันน้อยที่สุด ($p<0.05$) สาเหตุที่โยเกิร์ตนมแพะสูตรเสริมแป้งข้าวโพดทั้งสามรสมีค่าความหนืดเฉลี่ยตลอดการเก็บรักษาที่ 21 วัน สูงที่สุดเนื่องมาจากอิทธิพลของคุณสมบัติทางเคมีเฉพาะของแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลสในแป้งสูงสามารถเกิดการคืนตัวของแป้งได้เร็ว จึงส่งผลทำให้มีค่าความหนืดของโยเกิร์ตที่สูงกว่าสูตรต่างๆ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมแป้งชนิดเดียวกันแต่ผสมแยมผลไม้ต่างรสชาติกันพบว่าโยเกิร์ตที่เสริมแป้งชนิดเดียวกันแต่ผสมแยมคนละรสกันมีค่าความหนืดที่ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าการผสมแยมรสผลไม้ทั้งสามรสที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดของโยเกิร์ตเสริมแป้งทุกสูตร



ภาพที่ 26 ค่าความหนืดของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้แต่ละสูตร เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน

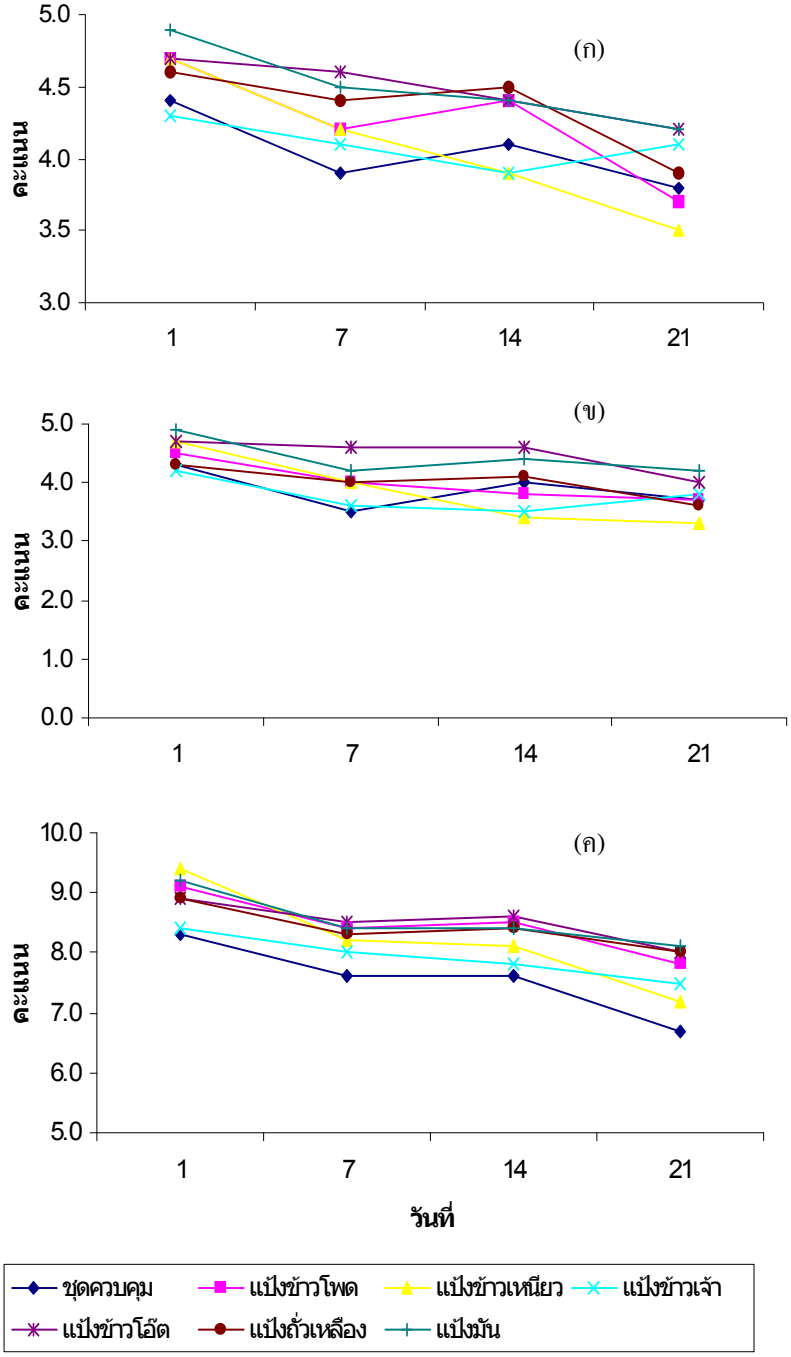
^{abc} กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4. การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส

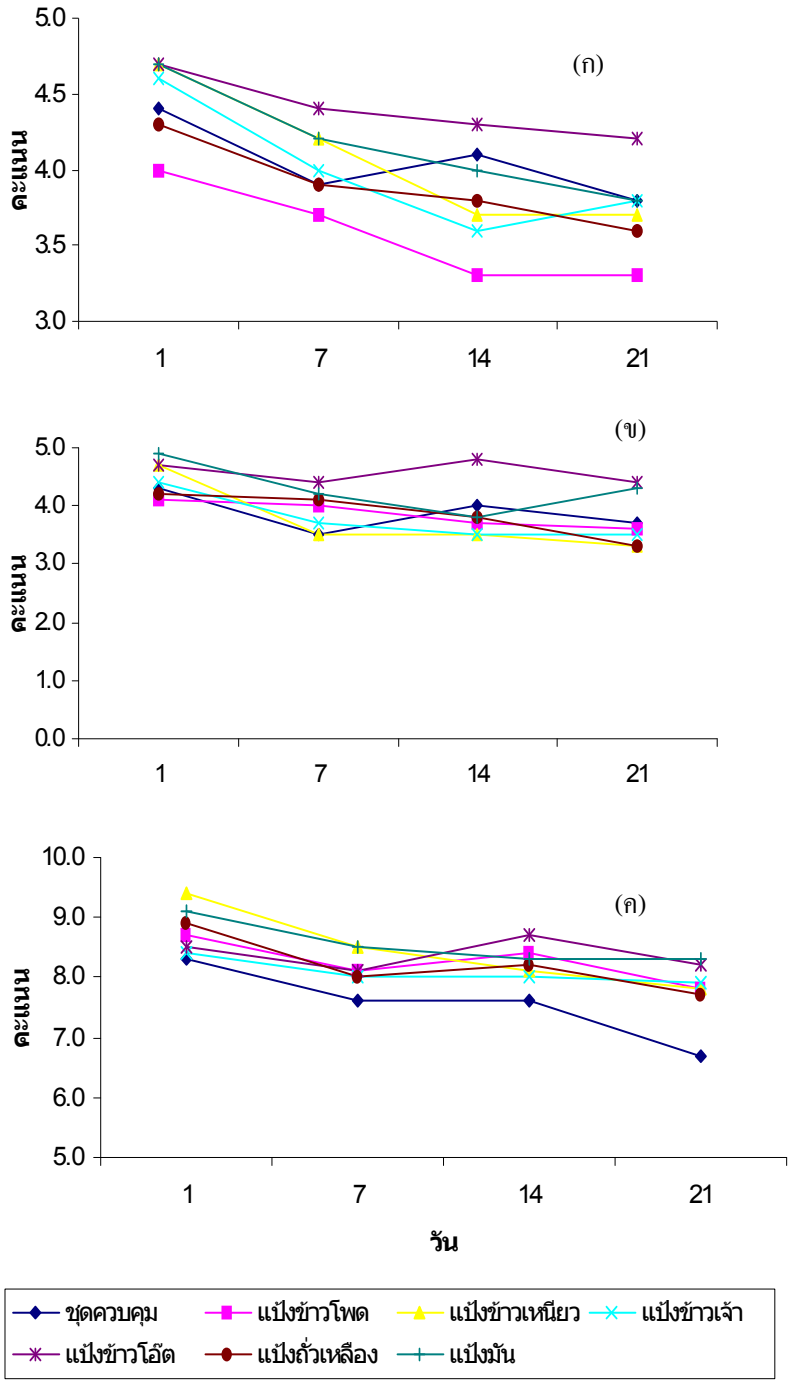
จากภาพที่ 27, 28 และ 29 แสดงคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (ก) เนื้อสัมผัส (ข) และรสชาติ (ค) ของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสส้ม รสบลูเบอร์รี่ และรสสตรอเบอร์รี่ เสริมแป้งแต่ละสูตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้แต่ละสูตร โดยโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้ แต่ละสูตรมีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ซึ่งมีระดับคะแนน 1-5 โดยระดับคะแนน 1 หมายถึงโยเกิร์ตมีลักษณะปรากฏแย่มากที่สุด และระดับคะแนน ถ หมายถึงโยเกิร์ตมีลักษระปรากฏดีมากที่สุด ได้คะแนนลดต่ำลงจากวันแรกของการเก็บรักษาและยิ่งลดลงมากที่สุดในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา ซึ่งการลดต่ำลงของคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏนี้อาจเป็นผลมาจากการเกิดการแยกน้ำแยกเนื้อ ของโยเกิร์ตซึ่งส่งผลให้เกิดการแยกน้ำแยกเนื้อของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตรสผลไม้แต่ละสูตร ทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะไม่น่ารับประทานและส่งผลโดยตรงต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ โดยการเกิดการแยกน้ำแยกเนื้อของโยเกิร์ตนี้จะมีอิทธิพลมาจาก อุณหภูมิ ระยะเวลาการเก็บรักษา และคุณสมบัติทางเคมีของแป้งแต่ละชนิด เมื่อมีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนานขึ้นในอุณหภูมิที่ต่ำจะส่งผลโดยตรงต่อการแยกน้ำแยกเนื้อของผลิตภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะปรากฏมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบด้านรสชาติ ซึ่งมีระดับคะแนน 1-10 โดยระดับคะแนน 1 หมายถึงโยเกิร์ตมีรสชาติ และคุณภาพแย่มากที่สุด และระดับคะแนน 10 หมายถึงโยเกิร์ตมีรสชาติและคุณภาพดีมากที่สุด โดยพบว่าคะแนนความชอบด้านรสชาติมีแนวโน้มลดลงอย่างมากหลังจากวันที่ 14 ของการเก็บรักษา และยิ่งลดลงมากที่สุดหลังจากวันที่ 21 เนื่องจากโยเกิร์ตมีรสชาติเปรี้ยวมากขึ้นอันเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียกรดแลคติกส่งผลให้มีการผลิตกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้น โยเกิร์ตจึงมีรสชาติที่เปรี้ยวมากขึ้น แต่ในด้านของเนื้อสัมผัสซึ่งมีระดับคะแนน 1-5 โดยระดับคะแนน 1 หมายถึงโยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสแย่มากที่สุด และระดับคะแนน 5 หมายถึงโยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสดีมากที่สุด พบว่าคะแนนชอบด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสผลไม้ทุกสูตร มีความแตกต่างกันไม่มากเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวันแรกที่ผลิตจนถึงวันที่ 21 ของการเก็บรักษา โดยพบว่าเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้แต่ละสูตรยังมีการจับตัวเป็นเคิร์ดที่แน่นและเนียนดี ถึงแม้ระยะเวลาการเก็บรักษาจะนานขึ้น

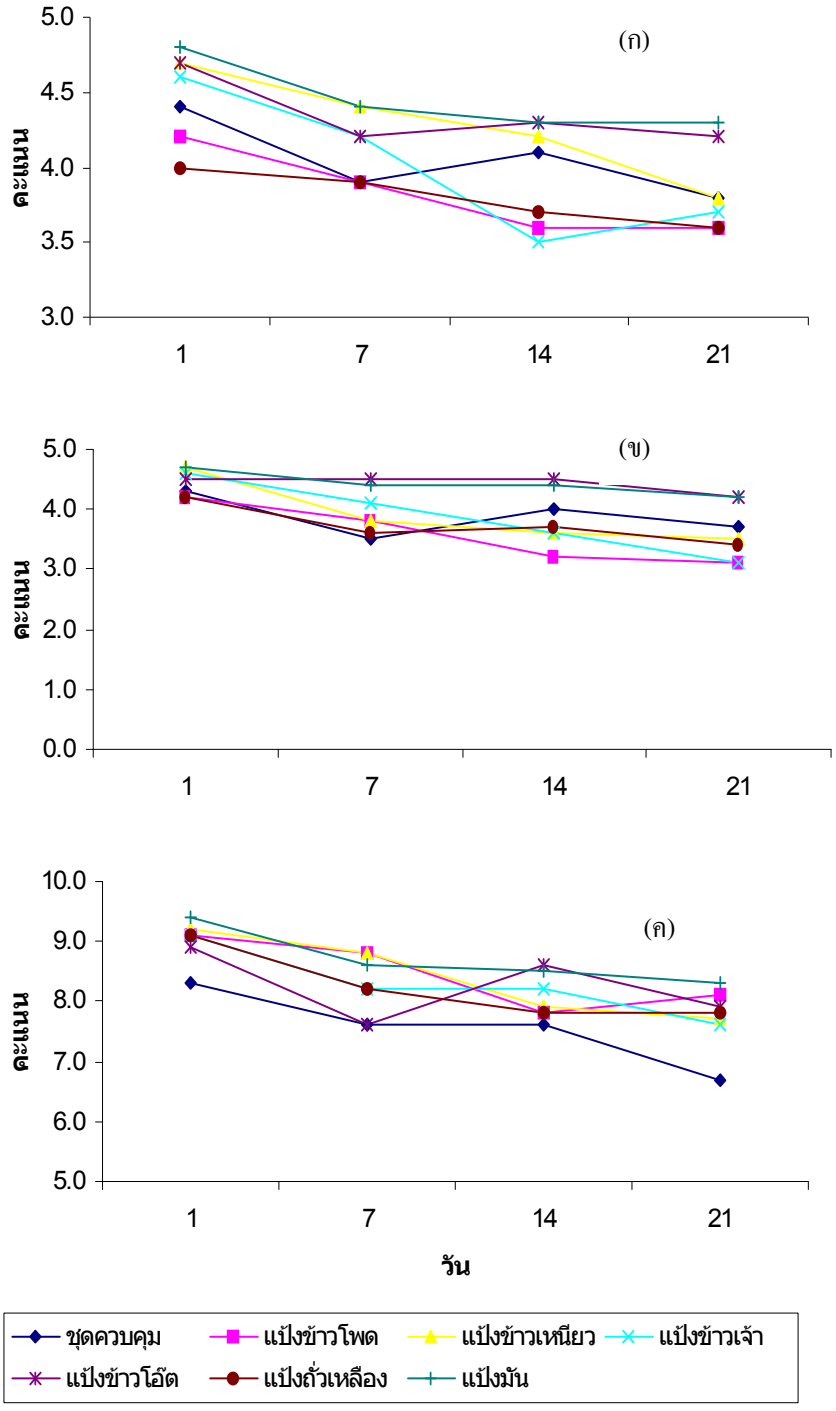
สอดคล้องกับงานวิจัยของ นวลนภา (2546) ที่ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเติมวุ้นมะพร้าว ตลอดระยะเวลาการเก็บ 28 วัน ผลพบว่าค่าเฉลี่ยความชอบในคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเติมวุ้นมะพร้าวที่เวลาการเก็บ 7 และ 14 วัน คะแนนความชอบทางด้านสีคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเวลาเก็บนานขึ้นเป็น 21 วัน พบว่า มีคะแนนความชอบเริ่มต่ำลง ($p<0.05$) และยิ่งลดลงมากขึ้นหลังจากวันที่ 28 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าสีดังกล่าว มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงทางด้านความเปรี้ยวและความหวาน โดยพบว่าที่เวลาเก็บนานขึ้นเป็น 21 วัน มีคะแนนความชอบเริ่มต่ำลง ($p<0.05$) และยิ่งลดลงมากขึ้นหลังจากวันที่ 28 เนื่องจากความเปรี้ยวที่เพิ่มขึ้น ค่าความชอบโดยรวมมีคะแนนความชอบที่ลดลงจาก 7.30 คะแนนในวันแรกของการผลิตไปเป็น 4.43 คะแนน ในวันที่ 28



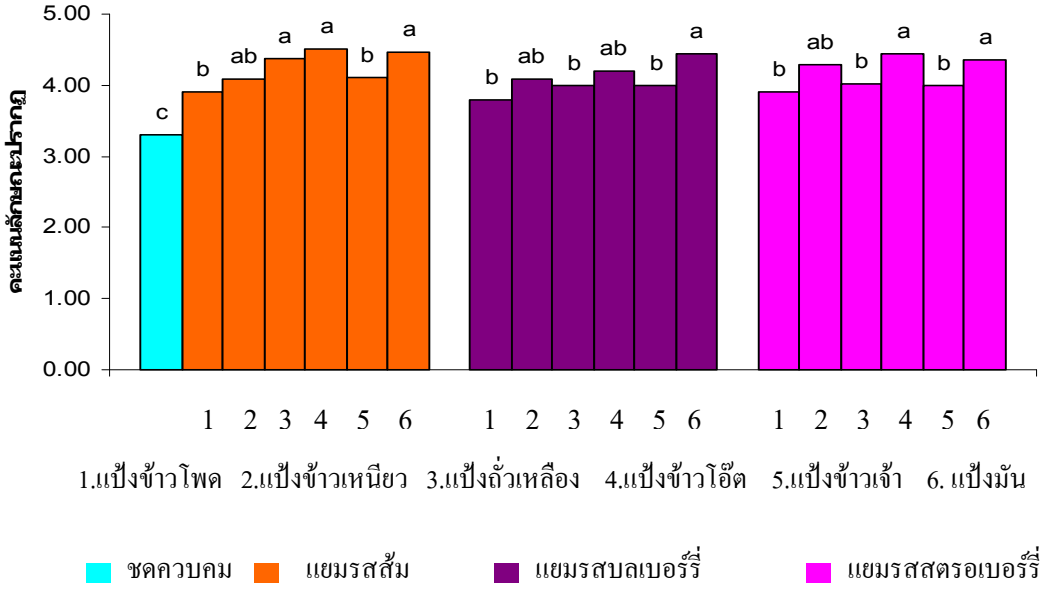
ภาพที่ 27 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (ก) เนื้อสัมผัส (ข) และรสชาติ (ค) ของโยเกิร์ตนมแพะที่สริมแป้ง รสส้มแต่ละสูตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน



ภาพที่ 28 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (ก) เนื้อสัมผัส (ข) และรสชาติ (ค) ของโยเกิร์ตนมแพะ ที่เสริมแป้ง รสบลูเบอร์รี่แต่ละสูตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน

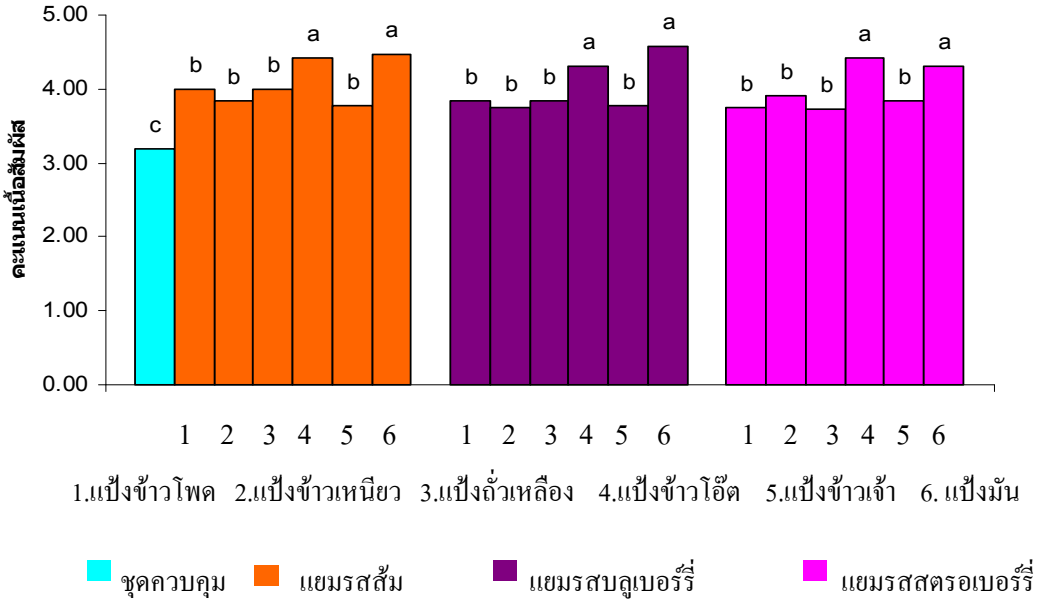


ภาพที่ 29 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (ก) เนื้อสัมผัส (ข) และรสชาติ (ค) ของโยเกิร์ตนมแพะ ที่เสริมแป้ง รสสตรอเบอร์รี่ แต่ละสูตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน



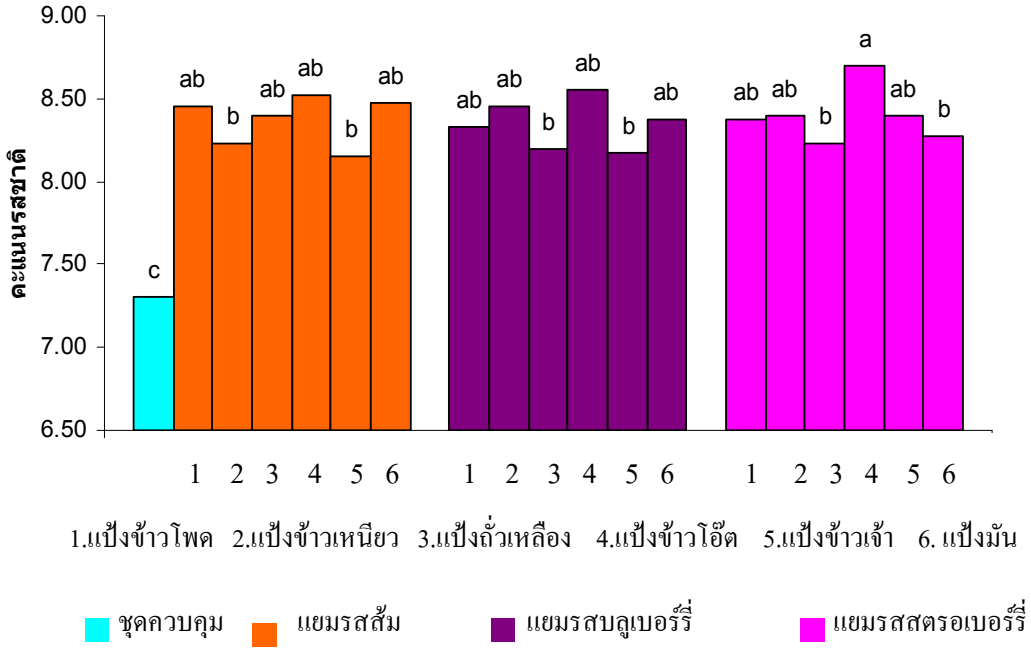
ภาพที่ 30 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมแป้งรสผลไม้แต่ละสูตร ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน คะแนน 5 = good 0 = bad

^{abc} กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 31 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมแป้ง รสผลไม้แต่ละสูตร ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน คะแนน 5 = good 0 = bad

^{abc} กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 32 คะแนนความชอบด้านรสชาติของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมแป้ง รสผลไม้ แต่ละสูตร ตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน คะแนน 10 = good 0 = bad

^{abc} กราฟที่มีตัวอักษรไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากภาพที่ 30, 31 และ 32 พบว่าโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมแป้ง รสผลไม้แต่ละสูตรได้คะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสทุกด้านสูงกว่าชุดควบคุม ($p<0.05$) แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในด้านของรสชาติ เนื่องจากพฤติกรรมการบริโภคของผู้บริโภคในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีรสชาติหวานมากที่สุด (สนอง, 2551) ดังนั้นการผสมแยมรสผลไม้สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพด้าน สี กลิ่น และรสชาติของโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้มากขึ้น โดยโยเกิร์ตสูตรแป้งมัน แป้งข้าวโอ๊ต และแป้งข้าวเหนียวที่ผสมแยมผลไม้ทั้งสามรส ได้รับการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และรสชาติดีที่สุด ($p<0.05$) จากการศึกษาพบว่าโยเกิร์ตนมแพะสูตรเสริมแป้งข้าวโอ๊ตได้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสสูงสุด เนื่องจากในข้าวโอ๊ตจะมีสาร เบต้า-กลูแคนซึ่งเป็นใยอาหารชนิดละลายน้ำที่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ เพิ่มเนื้อสัมผัสและความข้นหนืดของโยเกิร์ตนมแพะได้แม้จะใส่ปริมาณน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ García and Mcgregor (1997) ที่ได้ศึกษาการเสริมใยอาหาร 7 ชนิดในโยเกิร์ตนมโครสธรรมชาติ พบว่าสูตรที่เสริมแป้งข้าวโอ๊ตช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอและความข้นหนืดลักษณะเนื้อสัมผัสและสามารถลดการแยกน้ำแยกเนื้อของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับสูตรเสริมแป้งข้าวโพดนั้นพบว่าได้คะแนนลักษณะปรากฏต่ำที่สุดเนื่องจากเกิด

การแยกน้ำแยกเนื้อของโยเกิร์ตเมื่อเก็บรักษาได้เพียง 14 วันทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่ไม่น่าทานแต่ไม่ส่งผลต่อด้านรสชาติ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งข้าวโพดมีสัดส่วนของอะไมโลสที่สูงซึ่งมีคุณสมบัติในการคืนตัวเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิเย็นเนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสจะเกิดการเรียงตัวใหม่มีโครงสร้างที่แน่นขึ้นส่งผลให้โมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่ภายในโครงสร้างถูกบีบออกมานอกเจล ส่งผลให้เกิดการแยกน้ำแยกเนื้อของโยเกิร์ต

จากการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้งแต่ละสูตรผสมแยมรสผลไม้ได้แก่ รสส้ม รสบลูเบอร์รี่ และรสสตรอเบอร์รี่ พบว่าการเสริมแยมรสผลไม้สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะด้านต่างๆให้ดีขึ้นไม่ว่าจะเป็นในส่วนของสี กลิ่นและโดยเฉพาะใส่วนของรสชาติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Erdoğan and Zekai (2003) ที่ศึกษาอิทธิพลของผลไม้ (morello, cherry , grape) ที่ผสมใน โยเกิร์ตนมโครสธรรมชาติเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ผสม พบว่าโยเกิร์ตสูตรผสมผลไม้ได้คะแนนด้านกลิ่นและรสชาติสูงกว่าสูตรที่ไม่ได้ผสมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการผสมแยมรสผลไม้ช่วยให้กลิ่นและรสชาติของโยเกิร์ตน่ารับประทานมากยิ่งขึ้นโดยผู้ตรวจชิมทั้ง 5 ท่านต่างให้การบรรยายว่าโยเกิร์ตนมแพะผสมแยมรสผลไม้ทำให้โยเกิร์ตมีรสชาติเปรี้ยว อมหวานกำลังดีและมีกลิ่นที่หอมชวนรับประทานมากยิ่งขึ้น ขณะที่สูตร ชุดควบคุม มีรสเปรี้ยวเพียงอย่างเดียวซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคส่วนใหญ่ในประเทศไทยที่เป็นกลุ่มเด็กและวัยรุ่น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง

1. แป้งที่เสริมทดแทนนมผงสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะได้เช่น ลดการแยกน้ำแยกเนื้อของผลิตภัณฑ์ เพิ่มความแน่นและลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นเจลมากกว่าสูตรที่ใช้แต่นมผงเพียงอย่างเดียว โดยแป้งที่สามารถเสริมทดแทนนมผงแล้วให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตดีที่สุดได้แก่แป้งข้าวเหนียว 15 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวเจ้า 15 เปอร์เซ็นต์ แป้งมัน 10 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวโอ๊ต 5 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวโพด 20 เปอร์เซ็นต์ และแป้งถั่วเหลือง 15 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรการผลิตโยเกิร์ตนมแพะที่มีค่าของแข็งทั้งหมด 18 เปอร์เซ็นต์

2. โยเกิร์ตที่เสริมแป้งมัน 10 เปอร์เซ็นต์และแป้งข้าวโอ๊ต 5 เปอร์เซ็นต์ของสูตร ให้ผลการทดลองดีที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะโดยช่วยลดการแยกน้ำแยกเนื้อของผลิตภัณฑ์ เพิ่มความแน่นและลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นเจล ส่วนโยเกิร์ตที่เสริมแป้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว 15 เปอร์เซ็นต์ให้เนื้อสัมผัส และค่าความหนืดที่ใกล้เคียงกับโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมนมผงที่สุด

3. โยเกิร์ตที่เสริมแป้งข้าวโพด 20 เปอร์เซ็นต์ของสูตร จะมีลักษณะการแยกน้ำแยกเนื้อได้เร็วเมื่อเก็บไว้นานเกิน 1 สัปดาห์ แต่ไม่ส่งผลต่อคุณภาพด้านรสชาติ และเนื้อสัมผัส ส่วนโนเกิร์ตที่เสริมแป้งถั่วเหลือง 15 เปอร์เซ็นต์จะให้เนื้อสัมผัสที่เป็นเม็ดทราย

4. คุณภาพทางจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตนมแพะเสริมด้วยแป้งทั้ง 6 สูตร จำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก มีแนวโน้มการลดลงอย่างเด่นชัดหลังจากวันที่ 45 ของการเก็บ พบโคลิฟอร์มแบคทีเรียจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็นต่อกรัม และ 10 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับและตรวจไม่พบยีสต์และราตลอดอายุการเก็บรักษา 60 วัน

5. คุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส ได้แก่รสชาติ ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตทั้ง 6 สูตรมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยมีอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสมและยังได้รับการยอมรับจากผู้ประเมินในระดับดีไม่ควรเกิน 21 วัน

การทดลองที่ 2 การศึกษาคุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้งรสผลไม้

1. การผสมแยมผลไม้สามรสได้แก่ รสส้ม รสสตรอเบอร์รี่ และรสบลูเบอร์รี่ ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ของสูตร (w/w) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพ และเคมีของโยเกิร์ตนมแพะเสริมแป้ง แต่สามารถช่วยเพิ่มการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้าน รสชาติ เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏได้ดีขึ้น โดยโยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งข้าวโอ๊ตและแป้งมันที่ผสมแยมรสส้ม รสบลูเบอร์รี่ และรสสตรอเบอร์รี่ ได้รับการยอมรับจากผู้ตรวจชิมสูงที่สุด

2. ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตทุกสูตรมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นจำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกของโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ทุกสูตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา 21 วัน และพบโคลิฟอร์มแบคทีเรีย จุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็นต่อกรัม และ 10 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับและตรวจไม่พบยีสต์และราตลอดอายุการเก็บรักษา 21 วัน

3. คุณลักษณะด้านประสาทสัมผัส ได้แก่รสชาติ ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตนมแพะรสผลไม้ทุกสูตรมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยมีอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสมและยังได้รับการยอมรับจากผู้ประเมินในระดับดีไม่ควรเกิน 21 วัน

ข้อเสนอแนะ

1. โยเกิร์ตนมแพะสูตรเสริมแป้งข้าวโพด เป็นสูตรที่สามารถทดแทนนมผงได้มากที่สุดถึง 20 เปอร์เซ็นต์ของสูตรซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ในระดับหนึ่ง แต่ปัญหาอยู่ที่เนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตจะแยกน้ำแยกเนื้อได้ง่ายซึ่งทำให้โยเกิร์ตดูไม่น่ารับประทาน จึงควรมีการเพิ่มหรือเปลี่ยนสารเพิ่มความคงตัวชนิดใหม่เพื่อช่วยป้องกันการแยกน้ำแยกเนื้อของผลิตภัณฑ์ได้ดีมากขึ้น

2. โยเกิร์ตสูตรเสริมแป้งถั่วเหลือง และแป้งข้าวโอ๊ต เป็นสูตรที่ดีต่อสุขภาพเนื่องมาจากคุณสมบัติของแป้งที่มีคุรค่าทางโภชนาการที่สูงในหลายๆด้าน และมีความสามารถช่วยในการป้องกันโรค และบำรุงรักษาสุขภาพของผู้บริโภคให้ดีขึ้น จึงจัดได้ว่าโยเกิร์ตนมแพะสูตรเสริมแป้งถั่วเหลืองและแป้งข้าวโอ๊ตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ (functional food) ที่น่าสนใจ

3. อาจมีการผสมเนื้อผลไม้ วุ้นมะพร้าว เสริมวิตามิน และคอลลาเจน หรือพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม เสริมสารอาหารประเภทเพื่อความงามเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับโยเกิร์ตนมแพะและสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กีรสุดา สมบูรณ์บูรณะ. 2536. **ผลของอุณหภูมิและอายุการเก็บต่อปริมาณสารบางชนิดและคุณภาพของโยเกิร์ต ชนิดธรรมดา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีแป้ง**. (3rd ed.). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

งานชีวเคมีและห้องปฏิบัติการกลาง. 2536. **หลักการและเทคนิคเกี่ยวกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ TRANSMISSION และแบบ SCANNING**. เอกสารประกอบการฝึกอบรม ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม. 47 หน้า.

ณรงค์ จึงสมานญาติ. 2529. **หลักการและเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน**. คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม. 212 หน้า

นภา โล่ห์ทอง. 2535. **กล้าเชื้ออาหารหมักและเทคโนโลยีการผลิต**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ห้างหุ้นส่วน จำกัด พันนี่ พับบลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

นิตยกานต์ บุญหมั้น. 2544. **การปรับปรุงโยเกิร์ตแคลอรี่ต่ำโดยการใช้สารสกัดจากหญ้าหวานและเพิ่มลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการเติมลูกชิด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิรนาม. ม.ป.ป. **ข่าววิทยาศาสตร์: ข้าวโอ๊ตกับสุขภาพ**
แหล่งที่มา http://www.thaiclinic.com/medindex.html. 10 March 2008

นิรนาม. 2547. **ความรู้เกี่ยวกับอาหารเสริม**
แหล่งที่มา:http://www.redcross.or.th/pr/pr_news.php4?db=3&naid=549,
24 February 2008

นิรนาม. 2547. **อาหารสุขภาพ: ถั่วเหลือง**.
แหล่งที่มา: www.siamhealth.net/public_html/Health/good_health_living/diet/soy.html.,
28 February 2008

นิรนาม. 2551. **ฟังก์ชันนัลฟู้ด-ดริงก์"ญี่ปุ่นจ่อคิวบุกไทย รับเอฟทีเอ ซีพี-เมจิ" นำร่องบิวตริไบรต์.**
แหล่งที่มา: http://www.blogth.com/blog/Financial/Marketing/8047.html.,
21 March 2008

นวลนภา อัคสินธวังกูร. 2546. **การผลิตโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2548. **นมเปรี้ยว (ฉบับที่ 289)**. ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศ
ทั่วไป เล่ม 122 ตอนพิเศษ 021 ง

เปรมจิตต์ สิทธิศิริ และสุทิน เกตุแก้ว. 2542. **กิน-อยู่ เพื่อสุขภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์
สุขภาพใจ. กรุงเทพฯ.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2546. **นมเปรี้ยว Fermented Milk**. มอก. 2146-2546.
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม.

ราเชนทร์ ถิรพร. 2539. **ข้าวโพด การผลิต การใช้ประโยชน์ การวิเคราะห์ปัญหา และการ
ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร**. พิมพ์ครั้งที่1. โรงพิมพ์ บ.ด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.
กรุงเทพฯ.

สนอง ฉ่ำชื่น. 2551. มาทำความรู้จักกับสารให้ความหวานกลุ่ม "polyols". **Food focus Thailand**.
บ.บี มีเดีย โฟกัส ประเทศไทย จำกัด กรุงเทพฯ. หน้า 40-41

สมชัย สวาสดิพันธ์ และณิชารัตน์ สวาสดิพันธ์. 2547. **นมแพะผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ/
เกษตรกรรมธรรมชาติ.** บริษัท รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2528. **รายงานผลการวิจัยประจำปีเรื่องการปรับปรุงคุณสมบัติแป้งดิบชนิดต่างๆ**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

สุภาวัลย์ บรรเลงทอง. 2547. **นมแพะผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ/เกษตรกรรมธรรมชาติ**. บริษัท รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์. กรุงเทพฯ. 36 น.

สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์. 2530. **ศึกษาการผลิตและคุณสมบัติบางประการของแป้งมันเทศ**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, กรุงเทพฯ

โสภิดา บุญเอนกทรัพย์, สุชาดา ไชยสวัสดิ์, สุวิทย์ เตีย, จิระพันธุ์ เนื่องจากนิล. 2543. **การสกัดแป้งจากหัวมันสำปะหลัง**. source: http://www.kmutt.ac.th/rippc/prog17t.htm., March 10, 2008.

อารีย์ สมานมิตร. ม.ป.ป. **ถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีวันดับ**. source: http://www.ku.ac.th/e-magazine/may45/agri/bean_y.html., 24 February 2008

อาสูตร สงวนเกียรติ. 2551. **คู่มือปฏิบัติการสุขศาสตร์อาหารและน้ำดื่ม.** (2nd ed.). คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม.

อุไรพร จิตแจ้ง. 2547. **นมแพะผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ/เกษตรกรรมธรรมชาติ**. บริษัท รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

อรพิน ภูมิสมร. 2533. **เทคโนโลยีแป้ง : เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย**. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

Alves, R.M.V. and C.I.G.L. Sarantópoulos. 2001. Stability of fruit juice drinks in aseptic packages. **Packag. Technol.** 14: 79-86

AOAC (1990). **Official Methods of Analysis**. (15th ed). AOAC, Arlington, VA.

Borková, M. and J. Snášelová. 2005. Possibilities of different animal milk detection in milk and dairy products – a review. **Czech J. Food Sci**. 23: 41–50

Birollo, G.A., J.A. Reinheimer and C.G. Vinderola. 2000. Viability of lactic acid microflora in different types of yoghurt. **Food Res. Int**. 33: 799-805.

Castilla, S.O., L.C. Calleros, A.E. Mandujano and E.J. Vernon-Carter. 2004. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. **Int. Dairy J**. 14: 151–159

Collins, J.L., C.B. Ebah, J.R. Mount, B.J. Demott and F.A. Draughon. 1991. Production and evaluation of milk-sweet potato mixtures fermented with yoghurt bacteria. **J. Food Sci**. 56(3): 685-688

Donkor, O.N., S.L.I. Nilmini, P. Stolic, T. Vasiljevic and N.P. Shah. 2007. Survival and activity of selected probiotic organisms in set-type yoghurt during cold storage. **Int. Dairy J**. 17: 657–665

Ensminger**,** M.E., H. Audrey and R.K. Robson. 1995. The concise encyclopedia of foods & Nutrition. **Trends Food Sci Tech**. 7(7)

Erdoğan, K. and T. Zekai. 2003. Influence of different fruit additives on some properties of stirred yoghurt during storage. **J. Agr Sci**. 13(2): 97-101

FAO/WHO. 1990**. In CODEX Alimentarius-Abridged Version, Joint FAO/WHO Food Standard Programme**- CODEX Alimentarius Commission, Edited by Smith, B.L., Food and Agricultural Organization of the United Nation, Rome.

Fiszman, S. M. and A. Salvador. 1999. Effect of gelatine on the texture of yogurt and of acid-heat-induced mil gels. **Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung A**. 208: 100–105

García, E.F. and J.U. McGregor. 1997. Fortification of sweetened plain yogurt with insoluble dietary fiber. **Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung A**. 204: 433 – 437

García, E.F., McGregor, J.U. and Traylor, S. 1998. The addition of oat fiber and natural alternative sweeteners in the manufacture of plain yogurt. **J. Dairy Sci**. 81: 655–663

IPC Livestock. 1989. Production of Dutch Farm Cheese (Gouda type), **Quark and Yoghurt**, Dairy TrainingCentre, Lecture Notes.

Jimoh K. O. and A. L. Kolapo. 2007. Effect of different stabilizers on acceptability and shelfstability of soy-yoghurt. **AJB**. 6(8): 1000-1003

Karademir, E., M. Atamer, B. Tamucay and S. Yaman. 2002. Some properties of goat milk yoghurts produced by different fortification methods. **Milchwissenchaft**. 57: 261–263

Kebary, K. M. K., S. A. Hussein and R. M. Badawi. 2004. Impact of fortification of cow's milk with a modified starch on yoghurt quality. **Egypt J Dairy Sci**. 32 (1): 111-124

Khurana, H. K. and S. K. Kanawjia. 2007. Recent Trends in Development of Fermented Milks. **Curr Nutr Food Sci**. 3: 91-108.

Maria, V., C. Maite, A. Ana, C. Amparo and G. Chelo. 2008. Physicochemical and sensory characteristics of yoghurt produced from mixtures of cows' and goats' milk. **Int. Dairy J**. 18: 1146–1152

Marth E.H. 1992. **Standard Methods for the Examination of Dairy Products**. (16th ed.) American Public Health Association, Washington, D.C.

Muhammad, B.F., A.J. Alhassan and H.J. Kabiru. 2008. Quality evaluation of commercial yoghurts on street of kano-Nigeria. **J. Dairy Res**. 2 (4): 63-67

Ramchandran, L. and N.P. SHAH. 2008. Effect of addition of versagel on microbial, chemical, and physical properties of low-fat yogurt. **J. Food Sci**. 73 (7): 360-367

Riaz, M.N. 1999. **Soybeans as functional foods**. Cereal Food World. 44(2): 88-92

Staffoloa, M.D., N. Bertola, M. Martino and A. Bevilacqua. 2004. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt.. **Int. Dairy J**. 14 : 263–268

Tamime, A. Y. and R. K. Robinson. 2007. **Tamime and Robinson's Yoghurt science and technology**. (3rd ed.). Boca Raton New York Washington, DC: CRC Press.

USDA food composition and nutrient tables. 1994. **USDA Compiling Food Composition Data for 115 Years**. Source: http://www.ars.usda.gov/Aboutus/docs.htm?docid=9418., February 15, 2007.

Williams, R.P.W., Glagovskaia, O. and Augustin, M.A. 2003. Properties of stirred yogurts with added starch: Effects of alterations in fermentation conditions. **Aust J Dairy Tech**. 58: 228–232

Zekai, T. and K. Erdogan. 2003. Physical, chemical, microbiologicaland sensorry characteristic of some fruit-flavored yoghurt. **YYÜ Vet Fak Derg**. 14 (2):10-14

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลของแป้ง 6 ชนิดที่ใช้ทดแทนนมผงระดับต่างๆในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะ

ตารางผนวกที่ 1 ผลของแป้ง 6 ชนิดที่ใช้ทดแทนนมผงระดับต่างๆ ในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะ (1)

ลักษณะของเนื้อโยเกิร์ต							
5 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	10 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	15 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	20 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	30 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	40เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	50 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	**ชนิดของแป้ง**
- กลิ่นรสโยเกริต์ เนื้อเนียน	- ลักษณะเนื้อเหนียวเป็นแป้งเล็กน้อย	- ลักษณะเนื้อแป้ง เหนียวหนืด	- ลักษณะเนื้อแป้ง เหนียวหนืด	- เนื้อเหนียวหนืด	- เนื้อเหนียวข้น	- เหนียว หนืด	แป้งข้าวโอ๊ต
-	-	-	**-เนื้อสัมผัสและรสชาติเป็น โยเกิร์ต**	- มีลักษณะเป็นแป้งอยู่และมีกลิ่นโยเกิร์ต	- เนื้อเหนียวหนืด	- เนื้อเหนียวหนืด ข้น	แป้งข้าวโพด
-	-	**-เนื้อสัมผัสและรสชาติเป็น โยเกิร์ต**	- เนื้อเหนียวหนืด มีกลิ่นรสโยเกิร์ต	- เนื้อเหนียวหนืด	- เนื้อเหนียวหนืด	- ข้น เป็นเม็ดแป้ง	แป้งถั่วเหลือง

ตารางผนวกที่ 2 ผลของแป้ง 6 ชนิดที่ใช้ทดแทนนมผงระดับต่างๆ ในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะ (2)

ตาราลักษณะของเนื้อโยเกิร์ต							
5 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	10 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	15 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	20 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	30 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	40 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	50 เปอร์เซ็นต์ (ของนมผง)	**ชนิดของ**
-	**- กลิ่นรสโยเกริต์ - เนื้อเนียนเป็นโยเกิร์ต**	- เนื้อเป็นแป้งเปียก	- เนื้อเป็นแป้งเปียก	- เนื้อเหนียวหนืด	- เนื้อเหนียวหนืด	- เนื้อเหนียวหนืด ลักษณะเหมือนแป้งเปียก	แป้งมันสำปะหลัง
-	-	**- เนื้อสัมผัสและรสชาติ เป็นโยเกิร์ต**	- มีลักษณะเป็นแป้งอยู่และมีกลิ่นโยเกิร์ต	- เนื้อเหนียวหนืด	- เนื้อเหนียวหนืด	- เนื้อเหนียวหนืด ข้น	แป้งข้าวเจ้า
-	-	**- เนื้อสัมผัสและรสชาติ เป็นโยเกิร์ต**	- กลิ่นโยเกิร์ต เนื้อเป็นแป้งเล็กน้อย	- เนื้อเหนียวหนืด	- เนื้อเหนียวหนืด	- เนื้อเหนียวหนืด	แป้งข้าวเหนียว

ผลของการใช้แป้งชนิดต่างๆ เพื่อทดแทนนมผงในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะ

1. ใช้แป้งข้าวเจ้าที่ระดับทดแทนนมผงมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรมีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่เหนียวข้นหนืด ไม่มีกลิ่นรสโยเกิร์ต แป้งข้าวเจ้าที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่ดี และเนียนกว่า มีกลิ่นรสโยเกิร์ต

2. ใช้แป้งข้าวโพดที่ระดับมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่เหนียว ข้น มีลักษณะของแป้งอยู่ ไม่มีกลิ่นรสโยเกิร์ต แต่แป้งข้าวโพดที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่ดี และเนียนกว่า มีกลิ่นรสโยเกิร์ต

3. ใช้แป้งมันที่ระดับการทดแทนสูงกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ของสูตร มีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่เหนียว คล้ายแป้งเปียกไม่มีกลิ่นรสโยเกิร์ต แป้งมันที่ระดับทดแทน 10 เปอร์เซ็นต์ของสูตร มีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่ดี และเนียนกว่า มีกลิ่นรสโยเกิร์ต

4. ใช้แป้งข้าวเหนียวที่ระดับทดแทนนมผงมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ของสูตร มีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่เหนียว หนืด มีลักษณะของแป้งอยู่ ไม่มีกลิ่นรสโยเกิร์ต แป้งข้าวเหนียวที่ระดับทดแทนนมผง 15 เปอร์เซ็นต์ของสูตร มีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่ดี และเนียนกว่า มีกลิ่นรสโยเกิร์ต

5. ใช้แป้งถั่วเหลืองที่ระดับทดแทนนมผงมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ของสูตร มีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่เหนียว หนืด มีลักษณะของแป้งอยู่ ไม่มีกลิ่นรสโยเกิร์ต แป้งถั่วเหลืองที่ระดับทดแทนนมผง 15 เปอร์เซ็นต์ของสูตร มีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่ดี และเนียนกว่า มีกลิ่นรสโยเกิร์ต

6. ใช้แป้งข้าวโอ๊ตที่ระดับทดแทนนมผงมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ของสูตร มีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่เหนียว หนืด มีลักษณะของแป้งอยู่ ไม่มีกลิ่นรสโยเกิร์ต มีกลิ่นของข้าวโอ๊ตแรงมาก สีออกสีน้ำตาลอ่อน แป้งข้าวโอ๊ตที่ระดับทดแทนนมผง 5 เปอร์เซ็นต์ของสูตร มีผลทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะของเนื้อที่ดี และเนียนกว่า มีกลิ่นรสโยเกิร์ต

ตารางผนวกที่ 3 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน ของแป้งแต่ละชนิด

ชนิดแป้ง	**อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (องศาเซลเซียส)**
แป้งข้าวโพด	71.0
แป้งข้าวเจ้า	70.0
แป้งข้าวเหนียว	64.5
แป้งถั่วเหลือง	62.0
แป้งข้าวโอ๊ต	60.7
แป้งมันสำปะหลัง	66.0

ภาคผนวก ข

คุณลักษณะของโยเกิร์ตนมแพะที่เสริมด้วยแป้ง รสธรรมชาติ

โยเกิร์ตนมแพะ (ชุดควบคุม)

แป้งข้าวโพด 20 เปอร์เซ็นต์

แป้งข้าวเจ้า 15 เปอร์เซ็นต์

แป้งข้าวเหนียว 15 เปอร์เซ็นต์

แป้งถั่วเหลือง 15 เปอร์เซ็นต์

แป้งมัน 10 เปอร์เซ็นต์

แป้งข้าวโอ๊ต 5 เปอร์เซ็นต์

ภาพผนวกที่ 1 ผลของการใช้แป้งชนิดต่างๆในการผลิตโยเกิร์ตนมแพะ

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพโยเกิร์ตนมแพะทางด้านกายภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพโยเกิร์ตนมแพะทางด้านกายภาพ

- การวัดค่าความหนืด (Rheology)

Rheology คือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ เวลา ความเร็ว ความต่างศักย์ กับความหนืดของตัวอย่างชนิดต่างๆ ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นของเหลวหรือในทางเทคนิคเรียกว่า ของไหล (fluid) เมื่อเรามองวัตถุในมุมมองของ Rheology แล้ว สามารถแบ่งลักษณะวัตถุออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- Viscous material ได้แก่ น้ำ เป็นต้น
- Visco-elastic material ได้แก่ อาหาร เครื่องสำอาง เป็นต้น
- Elastic material ได้แก่ โลหะ ขดลวด เป็นต้น

การศึกษาด้าน Rheology ทางด้านอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆ ตามการทำงานของเครื่อง Rhelometer ได้แก่

1. Rotational test: ใช้สำหรับหาค่าความหนืดและความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับความหนืด ได้แก่

- ศึกษาความหนืดสัมพันธ์กับอัตราการไหล (flow behavior)
- ศึกษาความหนืดสัมพันธ์กับเวลา (time dependent)
- ศึกษาความหนืดสัมพันธ์กับอุรหภูมิ (temperature dependent)

2. Oscilation test: ใช้สำหรับศึกษาคุรสมบัติที่เป็น viscous และ elastic ที่ประกอบกันอยู่ภายในวัตถุนั้นๆ เพื่อเหตุผลต่างๆ ดังนี้

- ศึกษาความแข็งแรงของโครงสร้างโดยดูจากแรงภายใน (internal force) หรือดูความคงตัวภายใต้สภาวะแรงที่กำหนด (amplitude sweep)

การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Universal testing macehine (Instron)

หลักการ

มีโหลดเซลล์ไว้วัดแรง โดยดูแรงที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของโหลดเซลล์ ซึ่งใช้หัววัดแบบ flat plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร ซึ่งจะมีแรงต้านมากกว่าหัวแบบบอลหรือหัวกลม

ภาพผนวกที่ 2 เครื่อง Rheometer ที่ใช้หัววัดแบบ flat plate

วิธีการใช้

1. กดปุ่มเปิดเครื่อง รอให้ไฟเหลืองติดเป็น safety
2. ปุ่มการควบคุม มี 4 ปุ่ม คือ B, A, R และ C ให้กดปุ่ม R เพื่อเลือกการควบคุมแบบ remote control (สำหรับใช้คำสังจากโปรแกรมในคอมพิวเตอร์) จากนั้นเปิดคอมพิวเตอร์

3. เลือกโปรแกรม Nexygen เข้า Edit เลือก insert new page ตั้งค่า 17 จาก 21 (ใช้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ strain ของความสูงของตัวอย่างโยเกิร์ต ซึ่งตัวอย่างโยเกิร์ตที่นำมาวัดในถ้วยมีปริมาตรความสูง ประมาณ 21 มิลลิเมตร)

4. เลือก general purpose ⟶ next

5. เลือก Compose to limit ⟶ finish

6. เลือก Preload = 0

7. เลือก Speed = 60 มิลลิเมตร/นาที

8. เลือก Stop at 17 มิลลิเมตร

9. การ save ข้อมูลเลือก edit ⟶ data poit export to สร้างกราฟใน excell เลือก 200 จุด

10. นำตัวอย่างโยเกิร์ตไปวางบนเครื่องวัด เช็คโหลดเซลล์ก่อนการวัด ต้องใช้โหลดเซลล์ขนาด 50 N ในการวัดทุกครั้ง

ภาพผนวกที่ 3 การทำงานของเครื่อง Rheometer

- การศึกษาโครงสร้างทางโมเลกุลของโยเกิร์ตนมแพะเสริมด้วยแป้ง

การเตรียมตัวอย่างโยเกิร์ตนมแพะสำหรับศึกษาด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องทะลุผ่าน (TEM) JEOL รุ่น JEM – 1230

ผสมโยเกิร์ตนมแพะกับ 3 เปอร์เซ็นต์ วุ้นเหลว รอจนวุ้นแข็ง
ตัดเป็นชิ้นขนาด 1x2x1 ตารางมิลลิเมตร

↓

คงสภาพของตัวอย่างด้วยสารเคมีขั้นแรก
(pre fix) ด้วย 5% glutaraldehyde

↓

rinse ด้วย buffer solution

↓

คงสภาพของตัวอย่างด้วยสารเคมีขั้นที่สอง
(post fix) ด้วย 1% osmium tetroxide

↓

rinse ด้วย buffer solution

↓

ดึงน้ำออกจากตัวอย่าง (dehydrate) ด้วย alcohol
หรือ acetone series

↓

ฝังตัวอย่าง (embed) ใน Spurr's resin หรือ Epon resin ตัดตัวอย่างให้เป็นแผ่นบาง
(ultra-thin section) ด้วย ultra-microtome

↓

เก็บ thin section บนกริดทองแดง (copper grid)

↓

ย้อมสีตัวอย่าง แบบ positive staining ด้วย uranyl acetate และ lead solution

↓

ศึกษาด้วย TEM

ภาพผนวกที่ 4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องทะลุผ่าน (TEM) JEOL รุ่น JEM – 1230

ภาคผนวก ง

การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

Yoghurt						
Name	Date					
	Sample number					
Criticisms						
Flavor (range 1-10)						
1.bitter						
2. cooked						
3. foreign						
4. high acetaldehyde						
5. high acid						
6. lacks freshness						
7. low acid						
8. old ingredient						
9. oxidized						
10. rancid						
11. unclean						
Body and Texture (range 1-5)						
1. gel - like						
2. grainy						
3. ropy						
4. too firm						
5. weak						
Appearance and Color (range 1-5)						
1. atypical color						
2. free whey						
3. lumpy						
4. shrunken						
5. high viscous						

ภาพผนวกที่ 5 แบบสอบถามสำหรับประเมินทางประสาทสัมผัส

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายพิศักดิ์ พัดทอง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	เกียรตินิยมอันดับ 1
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	1. ทุนสนับสนุนงานวิจัยบัณฑิตวิทยาลัยสำหรับตีพิมพ์งานวิจัยระดับชาติ/นานาชาติ 2. ทุนสนับสนุน โครงการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม โครงการทุนสนับสนุนนักวิจัยใหม่ วท. ประจำปี 2549