



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดจากสตาร์ชมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนน
Product Development of Corn Pudding from Tapioca Starch and Kappa-Carrageenan

นามผู้วิจัย นางสาวสลิลดา เศรษฐา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์เทพกัญญา หาญศิลป์, ป.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดจากสตาร์ชมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนน

Product Development of Corn Pudding from Tapioca Starch and Kappa-Carrageenan

โดย

นางสาวสลิลดา เศรษฐา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2558

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถิลดา เศรษฐา 2558: การพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดจากสตาร์ชมันสำปะหลังและแคปปา-
คาร์ราจีแนน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)
สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์เทพกัญญา หาญศีลวัต, ประ.ด. 138 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดจากสตาร์ชมันสำปะหลังและแคปปา -
คาร์ราจีแนน เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่มีปัญหาจากอาการไม่ย่อยแลคโทสในนม จากการ
สำรวจพบว่าผู้บริโภคมีความสนใจผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีส่วนผสมจากนมโค รสชาติข้าวโพดหวาน และการใช้สารให้
ความหวานในผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาผลของความเข้มข้นรวมของ พอลิแซ็กคาไรด์ ทั้งหมด (ร้อยละ 2 และ 3
โดยน้ำหนัก) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ส่งผลให้ ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดต่ำสุด ค่าความ
แตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด และค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เมื่อ
พิจารณาผลของอัตราส่วน สตาร์ช มันสำปะหลังต่อแคปปา -คาร์ราจีแนน (10:0, 9.5:0.5 และ 9:1) พบว่า
อัตราส่วนคาร์ราจีแนนที่มากขึ้นส่งผลให้ ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความแตกต่างระหว่างค่าความ
หนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด และค่าความหนืดสุดท้าย ลดลง ($p \leq 0.05$) การเติมซูโครสร้อยละ 10 ส่งผลให้
สมบัติเพสติ่งทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) และส่งผลให้ค่าสี L^* ลดลง แต่ a^* b^* Chroma เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$)
นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ ทั้งหมด การทดแทนสตาร์ชด้วยแคปปา -คาร์ราจีแนน และการเติม
ซูโครสส่งผลให้ค่าความแข็งของเจลเพิ่มขึ้นและเกิดการแยกน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ลดลง ($p \leq 0.05$) จากการ
ทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า สูตรที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ สูตรที่มีอัตราส่วนของสตาร์ชมันสำปะหลัง
ต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ 9:1 สูตรที่พัฒนาได้ ประกอบด้วย น้ำข้าวโพดหวานร้อยละ 86.9 ซูโครสร้อยละ 10
สตาร์ชมันสำปะหลัง ร้อยละ 2.7 แคปปา-คาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.3 และ เกลือ ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก จาก
การศึกษาผลของพอลิเด็กซ์โทรสในตัวอย่างที่ใช้สารให้ความหวาน พบว่า เมื่อปริมาณพอลิ เด็กซ์โทรสเพิ่มขึ้นมี
ผลให้สมบัติเพสติ่งทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ค่าสี L^* และ Hue ลดลง แต่ a^* b^* Chroma และความ
แข็งของเจลเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่าง สูตรที่ใช้สารให้ความหวานที่
ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ สูตรที่มีพอลิเด็กซ์โทรสร้อยละ 10 สูตรที่พัฒนาได้ประกอบด้วย น้ำข้าวโพดหวาน
ร้อยละ 86.9 พอลิเด็กซ์โทรส ร้อยละ 10 สตาร์ชมันสำปะหลังร้อยละ 2.7 แคปปา-คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.3 และ
เกลือร้อยละ 0.1 และ ซูคราโลส ร้อยละ 0.0167 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีปริมาณความชื้นร้อยละ
79.64-80.06 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 15.76-16.39 เส้นใยร้อยละ 1.89-2.10 โปรตีนร้อยละ 1.26 ไขมันร้อยละ
0.43-0.44 และไขมันร้อยละ 0.38-0.39 ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้ 10 วัน ที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส
โดยมีปริมาณจุลินทรีย์และยีสต์ร่ายงอยู่ ในเกณฑ์ที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนด ผู้บริโภคร้อยละ 91 ให้
การยอมรับเมื่อทราบข้อมูลด้านดีของผลิตภัณฑ์

Salinda Sedtha 2015: Product Development of Corn Pudding from Tapioca Starch and Kappa-Carrageenan. Master of Science (Agro-Industrial Product Development),
Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development.
Thesis Advisor: Mrs. Thepkunya Harnsilawat, Ph.D. 138 pages.

This research aimed to develop the corn pudding from tapioca starch (TS) and kappa-carrageenan (kCAR) as a new lactose-free product for people who affected by lactose intolerance. According to the product survey and consumer survey, consumers interested in lactose-free product, sweet corn flavour and the use of sweetener in the product. The study of the effect of total polysaccharides (2 and 3 %w/w) showed that when total polysaccharide increased, peak viscosity, trough, breakdown and final viscosity values were also increased ($p \leq 0.05$). Considering the effect of TS and kCAR ratio (10:0, 9.5:0.5 and 9:1), it found that the higher content of kCAR in the ratio resulted in the decrease of peak viscosity, trough, breakdown and final viscosity values ($p \leq 0.05$). The addition of 10 % sucrose increased all pasting property values ($p \leq 0.05$) and also decreased L^* but increased a^* , b^* and Chroma ($p \leq 0.05$). Moreover, the increasing of total polysaccharides, the substitution of TS by kCAR and the addition of sucrose increased the gel strength and decreased the syneresis of product ($p \leq 0.05$). The sensory analysis showed that the most preferred formula was the formula that consisted of TS:kCAR in 9:1 ratio. The developed formula consisted of 86.9 %w/w sweet corn juice, 10 %w/w sucrose, 2.7 %w/w TS, 0.3 %w/w kCAR and 0.1 %w/w salt. The effect of polydextrose in the sugar-free formula was studied and found that the increasing of polydextrose increased all the pasting property values ($p \leq 0.05$), decreased L^* , Hue but increased a^* , b^* and Chroma and also increased in gel strength ($p \leq 0.05$) but no significantly affected in syneresis. The most preferred sugar-free formula was the 10% polydextrose added. The formula consisted of 86.9 %w/w sweet corn juice, 10 %w/w polydextrose, 2.7 %w/w TS, 0.3 %w/w kCAR, 0.1 %w/w salt and 0.0167 %w/w sucralose. The chemical compositions are as follow; 79.64-80.06% moisture, 15.76-16.39% carbohydrate, 1.89-2.10% fiber, 1.26% protein, 0.43-0.44% ash, and 0.38-0.39% fat. Products could store for 10 days at 0-4 °C which the total microbial and total yeast/mold were under the Thai Community Product Standards. Developed products were accepted by 91% of informed consumers.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. เทพกัญญา หาญศีลวัต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ได้ช่วยเหลือ รวมทั้งให้คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ อย่างละเอียด จนสำเร็จ สมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ รศ. อนุวัตร แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และขอกราบขอบพระคุณ คุณผอ. อาจารย์ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บริษัท รามาโปรดักชั่น จำกัด และโครงการ KU-TURPIF ร่วมกับ บริษัท เจริญภัณฑ์ เบเกอรี่ จำกัด ที่ได้ให้ทุนและวัสดุอุปกรณ์เพื่อสนับสนุนในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ๊แอน เจ้ปุ่น น้องกิ๊ก น้องแอม น้องเบงค์ สมาชิกห้อง 229 ที่คอยให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือในรูปแบบต่างๆ รวมทั้งเพื่อน พี่ ปริญญาโทและรุ่นพี่ ปริญญาเอกทุกท่าน ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำที่ดีมากมาย และภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ คุณพ่อ และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ กำลังใจ และความเข้าใจ ข้าพเจ้าขอมอบส่วนดีของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้แก่อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้เพียงผู้เดียว

สลิลดา เศรษฐา

ธันวาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	42
สรุปผลการทดลอง	91
ข้อเสนอแนะ	94
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	95
ภาคผนวก	107
ภาคผนวก ก ผลการสำรวจผลิตภัณฑ์ คำถามและขั้นตอนการอภิปรายกลุ่ม และแบบสอบถาม	108
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์สมบัติเฟสดี	124
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	127
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์	135
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	138

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ประเภทของผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง และลักษณะเนื้อสัมผัส	5
2	คุณลักษณะทั่วไปของสตาร์ชมันสำปะหลัง	7
3	ลักษณะการเกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ	11
4	ระดับความหวานของสารให้ความหวานชนิด bulk sweetener	18
5	ระดับความหวานของสารให้ความหวานชนิด intense sweetener	19
6	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2	26
7	สูตรพื้นฐานผลิตภัณฑ์พุดดิ้งนม	36
8	สูตรพื้นฐานผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด	36
9	ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม	44
10	ข้อมูลพฤติกรรมของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล	46
11	คะแนนและระดับความสำคัญต่อปัจจัยต่างๆ ในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์	48
12	จำนวนองค์ประกอบ ค่าไอเกน ร้อยละของความแปรปรวน และร้อยละของความแปรปรวนสะสมของระดับความสำคัญต่อปัจจัยต่างๆ ในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์	49
13	ปัจจัยและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หลังหมุนแกน (Rotated Component Matrix)	50
14	ความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์	51
15	คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเมล็ดและน้ำข้าวโพดหวาน	53
16	ค่าสีของตัวอย่างผสมสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ซูโครสร้อยละ 0 และร้อยละ 10	58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ค่าความแข็งของเจลของตัวอย่างผสมสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ที่ซูโครสร้อยละ 0 และร้อยละ 10	60
18	ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างผสมสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ที่ซูโครสร้อยละ 0 และร้อยละ 10	63
19	ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างผสมสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ที่ซูโครสร้อยละ 0 และร้อยละ 10	64
20	คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด	65
21	คะแนนความพอดีของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด	66
22	ผลของพอลิเด็กซ์โทรสต่อค่าสีของตัวอย่างผสมในน้ำข้าวโพดหวานที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9:1	69
23	ผลของพอลิเด็กซ์โทรสต่อค่าความแข็งของเจลของตัวอย่างผสมในน้ำข้าวโพดหวานที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับ ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9:1	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	ผลของพอลิเด็กซ์โทรส ต่อปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่าง ของตัวอย่างผสมในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา - คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9:1 เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน ที่อุณหภูมิ ต่ำเย็น (0-4 องศาเซลเซียส)	71
25	คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดที่มี ปริมาณพอลิเด็กซ์โทรสระดับร้อยละ 0, 5, 10 และ 15	72
26	คะแนนความพอดีของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด ที่ระดับพอลิเด็กซ์โทรส ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก	73
27	คุณภาพทางกายภาพและเคมีของพุดดิ้งข้าวโพด	75
28	คุณภาพทางจุลินทรีย์ของพุดดิ้งข้าวโพดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น เป็น เวลา 22 วัน	77
29	ค่าสีของพุดดิ้งข้าวโพดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น เป็นเวลา 13 วัน	78
30	ค่าความแข็งของเจลของพุดดิ้งข้าวโพดที่เก็บรักษา เป็นเวลา 13 วัน	80
31	ปริมาณน้ำที่แยกออกจากพุดดิ้งข้าวโพดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 13 วัน	81
32	คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านต่างๆ ของพุดดิ้งข้าวโพดที่เก็บรักษา เป็น เวลา 13 วัน	82
33	การยอมรับในผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 13 วัน	83
34	ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามต่อผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง ข้าวโพดสูตรปกติ	84
35	คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรปกติ	85
36	การยอมรับและความสนใจในการซื้อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรปกติ	86
37	พฤติกรรมผู้บริโภคต่อการยอมรับและความสนใจในการซื้อผลิตภัณฑ์พุด ดิ้งข้าวโพดสูตรปกติหลังได้รับข้อมูลของผลิตภัณฑ์	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
38	ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรใช้สารให้ความหวาน	88
39	คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรใช้สารให้ความหวาน	89
40	การยอมรับและความสนใจในการซื้อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรใช้สารให้ความหวาน	90
41	พฤติกรรมผู้บริโภคต่อการยอมรับและความสนใจในการซื้อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดหลังได้รับข้อมูลของผลิตภัณฑ์	90
ตารางผนวกที่		
ก1	ผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่จำหน่ายในท้องตลาด	109
ข1	สมบัติเพสติ้งของตัวอย่างผสมของ สตาร์ชมันสำปะหลัง: แคลปา-คาร์ราจีแนน ในน้ำข้าวโพดหวานที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด ร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคลปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ที่ซูโครสร้อยละ 0 และร้อยละ 10	125
ข2	สมบัติเพสติ้งของตัวอย่างผสมของ สตาร์ชมันสำปะหลัง: แคลปา-คาร์ราจีแนน ในน้ำข้าวโพดหวานที่ระดับพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก	126

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างอะไมโลส	8
2	โครงสร้างอะไมโลเพกติน	8
3	โครงสร้างทางเคมีของคาร์ราจีแนนชนิด แคปปา, แลมดา และ ไอโอตา	14
4	โครงสร้างทางเคมีของพอลิเด็กซ์โทรส	22
5	ความถี่ประชากรโลกที่ยังมีถิ่นที่สามารถผลิตเอนไซม์แลคเตสได้	24
6	ขั้นตอนการเตรียมน้ำข้าวโพดหวาน	34
7	วิธีการเตรียมตัวอย่างพุดดิ้งข้าวโพด	37
8	สมบัติเพสติ้งของสตาร์ชมันสำปะหลัง และแคปปา -คาร์ราจีแนนในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด ร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ที่ซูโครส ร้อยละ 0 และ 10	56
9	สมบัติเพสติ้งของพุดดิ้งข้าวโพด ที่ระดับพอลิเด็กซ์โทรส ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 (ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา -คาร์ราจีแนน เท่ากับ 9:1)	68
10	ลักษณะของพุดดิ้งข้าวโพดที่พัฒนาได้ สูตรปกติ และสูตรใช้สารให้ความหวาน	74

การพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดจากสตาร์ชมันสำปะหลัง และแคปปา-คาร์ราจีแนน

Product Development of Corn Pudding from Tapioca Starch and Kappa-Carrageenan

คำนำ

ผลิตภัณฑ์พุดดิ้งเป็นขนมหวานที่มีลักษณะกึ่งแข็ง กึ่งเหลว โดยอาจมีส่วนประกอบของโปรตีนจากนม ไฮโดรคอลลอยด์ และสตาร์ช พุดดิ้งนมเป็นขนมหวานที่ได้รับความนิยมบริโภคในกลุ่มเด็กจนถึงกลุ่มผู้สูงอายุ (Ares *et al.*, 2009) เนื่องจากปัจจุบัน ความนิยมในการบริโภคอาหารที่ดีต่อสุขภาพมีปริมาณมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงานต่ำ ลดการใช้เกลือ หรือน้ำตาล รวมถึงการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีแนวโน้มเป็นที่ต้องการของตลาดมากยิ่งขึ้น

สตาร์ชมันสำปะหลังเป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมแปรรูปทางการเกษตรหลักของประเทศ และมีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างไรก็ตาม สตาร์ชมันสำปะหลังถือว่ามีความถูกเมื่อเทียบกับสตาร์ชชนิดอื่นๆ ในตลาดโลก (กฤติกา, 2550; Chaisawang and Supphantharika, 2006) ไฮโดรคอลลอยด์ถูกนำมาใช้ร่วมกับสตาร์ชเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติด้านเนื้อสัมผัส การแยกน้ำออกจากตัวอย่าง ความหนืด ความคงตัว เป็นต้น ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานส่วนใหญ่ มักใช้เจลาตินเป็นสารก่อเจล ซึ่งเจลที่ได้จะมีความเหนียวและยืดหยุ่น แต่เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ เช่น กระดูกและหนังของปลาหรือสุกร (Badii and Howell, 2006) จึงมีข้อจำกัดสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่นับถือศาสนาอิสลาม และผู้ที่บริโภคเจหรือมังสวิรัต ในขณะที่ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น เช่น คาร์ราจีแนนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสาหร่าย ซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อทดแทนเจลาตินได้ (Lim and Narsimha, 2006)

พุดดิ้งโดยส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมของนมโคเป็นส่วนประกอบหลัก แต่พบว่ามากกว่าร้อยละ 70 ของประชากรทั่วโลกมีภาวะพร่องเอนไซม์ย่อยนม (lactose-intolerant) โดยอาจขึ้นอยู่กับเชื้อชาติและวัย (Messia, 2007) ทำให้ไม่สามารถบริโภคผลิตภัณฑ์จากนมปริมาณมากได้

ปัจจุบันได้มีผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองหรือธัญพืชอื่นๆ ทดแทนผลิตภัณฑ์จากนมในท้องตลาด แต่ยังมีจำหน่ายเพียงจำกัดและไม่หลากหลาย น้ำข้าวโพดหวานจึงถูกนำมาใช้เป็น ส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เพื่อทดแทนการใช้นมโค เนื่องจากข้าวโพดหวานเป็นพืชเศรษฐกิจ ให้รสชาติที่ดี และยังปราศจากแลคโตส นอกจากนี้เมื่อความต้องการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อ สุขภาพมีมากขึ้น อิทธิพลของซูโครส สารให้ความหวานและสารเพิ่มปริมาณ เช่น ซูคราโลส และ พอลิเดกซ์โทรส จึงถูกนำมาศึกษาาร่วมด้วย เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์พุดดิ้งเพื่อสุขภาพที่มีรสชาติ และเนื้อสัมผัสที่ดี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบความต้องการและพฤติกรรมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล
2. เพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ พุดดิ้งข้าวโพดโดยใช้สตาร์ชมันสำปะหลัง ไฮโดรคอลลอยด์ และสารให้ความหวาน
3. เพื่อทราบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พุดดิ้งข้าวโพดที่พัฒนาได้ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา
4. เพื่อศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

การตรวจเอกสาร

พุดดิ้ง

ขนมหวานเป็นอาหารที่แพร่หลายอยู่ทั่วโลกและทุกวัฒนธรรม โดยส่วนใหญ่จะบริโภคเป็นขั้นตอนสุดท้ายของมื้ออาหาร หรือเป็นอาหารว่าง (Alija and Talens, 2012) การบริโภคขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลนั้นพบได้ในทุกประเทศและมีหลากหลายชนิด วัตถุดิบชนิดต่างๆ สามารถนำมาแปรรูปจนเกิดเจลในรูปแบบต่างๆ กันไป ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ได้แก่ วุ้น เยลลี่ (jelly) พุดดิ้ง (pudding) เต้าฮวย (soybean curd) ฟลาน (flan) มูส (mousse) กัมมี่ (gummy) เป็นต้น ซึ่งเจลคือ ลักษณะของวัตถุที่แข็งกึ่งเหลวหรือลักษณะที่มีสมบัติคล้ายของแข็งของระบบคอลลอยด์ที่มีความคงตัวอยู่ได้ภายในเวลาที่กำหนดโดยที่ไม่แสดงการไหล (Saha and Bhattacharya, 2010)

พุดดิ้ง คือ ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบไปด้วยสตาร์ชหรืออัญพีช นม ไข่ หรือผลไม้ หรือส่วนผสมอื่นๆ ซึ่งผ่านการต้ม นึ่ง หรือ อบ มีลักษณะที่อ่อนนุ่มมีความคงตัว นิยมบริโภคเป็นขนมหวานหรือใช้เป็นส่วนประกอบในขนมอื่นๆ ชนิดของพุดดิ้งอาจจำแนกได้ตามลักษณะของเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายตั้งแต่เนื้อสัมผัสนิ่มเหลว เนื้อสัมผัสเบา เนื้อสัมผัสคล้ายคัสตาร์ด เป็นเจลอ่อนนุ่ม เนื้อสัมผัสเป็นครีมข้นจนถึงเนื้อสัมผัสแน่นและหนัก ดังแสดงในตารางที่ 1 ผลิตภัณฑ์อาจมีชื่อเรียกและลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ละท้องถิ่น เช่น ยอร์คเชียร์พุดดิ้งที่ทำจากขนมปัง หรืออาจหมายถึงกระบวนการผลิตอาหารคาวบางชนิด เช่น ไส้กรอก ที่ทำการบรรจุเนื้อบดลงในถุงหรือหนังจากสัตว์ แต่ในสหรัฐอเมริกาจะเป็นที่เข้าใจกันดีว่าพุดดิ้ง คือ อาหารหรือขนมหวานที่มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว ส่วนใหญ่มีเนื้อสัมผัสข้นหนืดและอาจไม่ได้มีลักษณะเป็นเจล มีการใช้กัมหรือสตาร์ช เช่น สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชมันสำปะหลัง เป็นส่วนประกอบหลักให้เกิดความข้นหนืด และการใช้ส่วนผสมประเภทโปรตีน เช่น นม หรือ ไข่ ซึ่งมีผลต่อความคงตัวของพุดดิ้ง (Anonymous, 2003; Anonymous, 2009; Early, 1998) ผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายได้แก่ พุดดิ้งนม โดยมีวัตถุดิบหลัก ได้แก่ นมหรือผลิตภัณฑ์จากนม สตาร์ช กัม สารให้ความหวาน สารปรุงแต่งสี หรือกลิ่น และสารปรุงแต่งอื่นๆ เป็นต้น (Nunes *et al.*, 2003; Quinchia *et al.*, 2010; Tarrega *et al.*, 2004)

ตารางที่ 1 ประเภทของผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง และลักษณะเนื้อสัมผัส

ระดับการผลิต	ชนิด	ลักษณะเนื้อสัมผัส
ระดับครัวเรือน	Cooked puddings, Flan	เนื้อครีมข้นหนัก (heavy) ไปจนถึง เป็นครีมเนื้อเบา (light) และอาจมีลักษณะเป็นเจลแข็ง
ระดับอุตสาหกรรม	Instant puddings	เจลอย่างอ่อน และมีเนื้อสัมผัสที่ข้นเหนียว
	Gellified milk flan	เจลคงรูป และมีเนื้อสัมผัสตั้งแต่ เป็นเจลแข็งไปจนถึงลักษณะเป็นครีม
	Creamy dessert custard	ครีมข้นหนักไปจนถึงเป็นครีมเนื้อเบา
	Multi-layered dessert	มีหลายชั้น มีเนื้อสัมผัสเป็นครีม จนถึงเป็นเจลอาจมีทอปปิ้ง แทรกอยู่ระหว่างชั้น

ที่มา: Early (1998)

ส่วนประกอบสำคัญในผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง

1. สตาร์ช (Starch)

สตาร์ช (starch) เป็นองค์ประกอบสำคัญในผลิตภัณฑ์ขนมหวานหลายชนิด สตาร์ชที่นิยมนำมาใช้มีทั้งสตาร์ชดิบ (native starch) และสตาร์ชดัดแปร (modified starch) ซึ่งสตาร์ชดัดแปรจะมีสมบัติที่ทนต่อการบวนการแปรรูปได้ดีกว่าสตาร์ชดิบ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นั้นอาจขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ชและปริมาณสตาร์ชที่ใช้ (Zhang *et al.*, 2013) โดยทั่วไปนิยมใช้สารให้ความคงตัวชนิดอื่นร่วมกับสตาร์ชเพื่อให้เกิดเนื้อสัมผัสที่ต้องการ

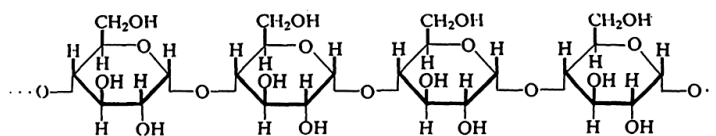
มันสำปะหลังเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ มีถิ่นกำเนิดมาจากอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ มีชื่อเรียกต่างกันในภาษาต่างๆ เช่น Cassava, Mandioca, Yucca, Tapioca และ Manioc โดยมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Manihot esculenta* Crantz. (Breuninger *et al.*, 2009) เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชเขตร้อนที่ปลูกได้ง่ายตลอดปี ทนแล้งได้ดี และให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ประเทศที่นิยมปลูกมันสำปะหลังจึงได้แก่ บราซิล อินโดนีเซีย ไทย และประเทศในทวีปแอฟริกา ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกมันสำปะหลังสูงเป็นอันดับที่ 3 ของโลก และมีปริมาณการผลิตเป็นอันดับที่ 4 ของปริมาณผลผลิตทางการเกษตรภายในประเทศ โดยมีปริมาณการส่งออกสูงถึง 22.5 ล้านตัน มูลค่าการส่งออกประมาณ 2 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (FAO, 2012) ผลผลิตมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นพื้นฐานก่อนนำไปบริโภคหรือส่งต่อไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ โดยผลิตภัณฑ์หลัก คือ สตาร์ชมันสำปะหลัง เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหรือนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น กระดาษ สิ่งทอ และยารักษาโรค เป็นต้น และมันสำปะหลังเส้นหรืออัดเม็ด สำหรับนำไปใช้ต่อในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ หรือนำไปผลิตแอลกอฮอล์สำหรับบริโภค หรือเพื่อเป็นพลังงานทดแทน เป็นต้น (สุจิตและคณะ, 2554) สตาร์ชมันสำปะหลังมีประโยชน์มากในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ให้ความข้นหนืด ทำให้อาหารมีความหนืดสูง ให้ลักษณะปรากฏที่ใส และมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชชนิดอื่น สตาร์ชมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ลักษณะเด่น คือ มีความบริสุทธิ์สูง (มีสตาร์ชมากกว่าร้อยละ 95) มีปริมาณโปรตีนและไขมันค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 1) มีฟอสฟอรัสน้อยกว่าร้อยละ 0.04 (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546) คุณลักษณะทั่วไปของสตาร์ชมันสำปะหลัง 100 กรัม แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทั่วไปของสตรัซมันส์สำหรับ

คุณลักษณะ	ค่าโดยประมาณ
ความชื้น (ร้อยละ อย่างมาก)	13
ปริมาณสตรัซ (ร้อยละ อย่างมาก)	85
เถ้า (ร้อยละ)	0.2
ความเป็นกรด-ด่าง	5.0-7.0
ความขาว (Kett scale, อย่างน้อย)	90
ความหนืด (BU, Barbender unit) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักแห้ง	600
ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ppm, อย่างมาก)	30
ปริมาณไซยาไนด์	0
ลักษณะปรากฏ	ขาว ไม่มีจุดดำ

ที่มา: Breuninger *et al.* (2009)

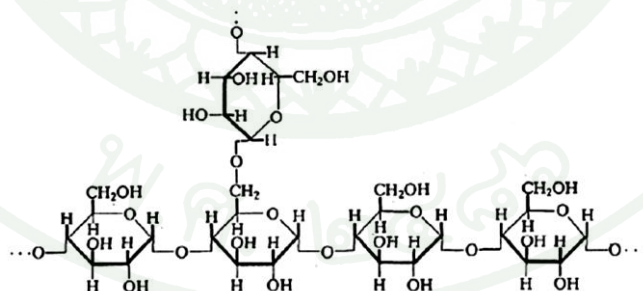
ในเม็ดสตรัซประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพคติน อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น ประกอบด้วยหน่วยของ α -D-glucopyranosyl ที่เชื่อมด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิด α -1, 4 (ภาพที่ 1) ซึ่งมีโมเลกุลของอะไมโลสจำนวนมากที่มีโครงสร้างแบบกึ่งเป็นองค์ประกอบ แต่พบในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนของพันธะทั้งหมด ส่วนโครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2546; Dziedzic and Kearsley, 1995)



ภาพที่ 1 โครงสร้างอะไมโลส (amylose)

ที่มา: Dziedzic and Kearsley (1995)

อะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาของพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นจะเชื่อมต่อด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 6 (ภาพที่ 2) หน่วยกลูโคสที่มีพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 6 มีประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพคตินทั้งหมด ซึ่งมีโครงสร้างเป็นกิ่งประกอบด้วยสายโซ่ 3 ชนิด คือ สายที่ประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ เรียกว่า c-chain ถ้ามีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นจำนวนมาก เรียกว่า b-chain และถ้าเชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อ เรียกว่า a-chain (กล้านรงค์ และเกื้อกูล, 2546; Dziedzic and Kearsley, 1995)



ภาพที่ 2 โครงสร้างอะไมโลเพคติน (amylopectin)

ที่มา: Dziedzic and Kearsley (1995)

สตาร์ชมันสำปะหลังเป็นสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำคือประมาณร้อยละ 18-23 เม็ดสตาร์ชส่วนใหญ่มีขนาดปานกลางคืออยู่ในช่วง 3-40 ไมโครเมตร และมีขนาดเฉลี่ย 12-15 ไมครอน ธรรมชาติของเม็ดสตาร์ชจะแขวนลอยเมื่อกระจายตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง แต่เมื่อมีปริมาณน้ำที่มากพอและมีการให้ความร้อนร่วมด้วย พลังงานความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างเม็ดสตาร์ช โมเลกุลน้ำสามารถเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระของเม็ดสตาร์ชได้ เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัว และเกิดเจลลิ่งที่เพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 58-70 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งจะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพของเพสต์ (paste) มีสภาพคล้ายแป้งเปียกที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก สตาร์ชมันสำปะหลังให้ลักษณะเพสต์ที่มีความหนืดสูงและใส และเกิดเป็นเจลเมื่อเย็นตัวลง (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546; Breuninger *et al.*, 2009)

ในงานวิจัยต่างๆ พบว่า เพสต์ของสตาร์ชซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของขนมหวานจำพวกพุดดิ้งสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพและพฤติกรรมการไหลได้ โดยสตาร์ชและไฮโดรคอลลอยด์ช่วยปรับปรุงให้ได้ลักษณะของเนื้อสัมผัสที่ต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นที่ใช้ (Keetel, 1996; Shi and BeMiller, 2002; Tarrega *et al.*, 2005; Verbeken *et al.*, 2006)

2. ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids)

ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) เป็นคำศัพท์ที่มาจากคำว่า hydro ซึ่งเป็นภาษากรีกที่แปลว่า น้ำ รวมกับภาษาฝรั่งเศส col แปลว่า กาว และ oid แปลว่า เหมือน โดยคอลลอยด์ (colloid) คือ สารขนาดเล็กมากที่กระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอในของเหลวใดๆ ระบบของคอลลอยด์ประกอบออกเป็นสองส่วน คือ เฟสที่กระจายตัว (dispersed phase) และเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) ไฮโดรคอลลอยด์บางชนิดสามารถทำให้เกิดเจล (gelling agent) หรือยังคงเป็นของเหลวแต่มีลักษณะที่หนืดขึ้น (thickening agent) หรือทำให้อาหารมีความคงตัว (stabilizing agent) เช่น ป้องกันการแยกชั้นของเหลว หรือป้องกันการสูญเสียกลิ่นรส เป็นต้น (Saha and Bhattacharya, 2010; Stephen, 1995)

ในอุตสาหกรรมอาหารได้นำไฮโดรคอลลอยด์มาใช้ประโยชน์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารตามสมบัติของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิด ที่นิยมใช้กันมาก คือ ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความคงตัว สารเพิ่มความหนืด สารช่วยให้เกิดโฟม อิมัลซิไฟเออร์ และสารที่ทำให้เกิดฟิล์ม เป็นต้น การ

เลือกใช้ไฮโดรคอลลอยด์ต้องพิจารณาสมบัติเชิงหน้าที่และคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะความรู้สึกเมื่ออาหารอยู่ในปาก ลักษณะปรากฏ กระบวนการผลิต และสภาพเก็บรักษา นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาส่วนผสมอื่นๆ เช่น เกลือ โปรตีน ไขมัน หรือองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรคอลลอยด์ได้ คุณค่าทางอาหาร ราคา และอายุการเก็บรักษาร่วมด้วย (Thomas, 1997) ไฮโดรคอลลอยด์จะมีสมบัติแตกต่างกันตามลักษณะโครงสร้าง คือ

- โครงสร้างพอลิเมอร์แบบเชิงเส้น (linear) เมื่อกระจายตัวในน้ำจะให้ความหนืดสูง ส่วนใหญ่เกิดเจลและเกิดการคั่นตัวได้ง่าย เช่น อะการ์ อัลจีเนต เพคติน และเซลลูโลส เป็นต้น
- โครงสร้างพอลิเมอร์แบบเชิงเส้นที่มีสายกิ่งก้าน (linear with side chains) เมื่อกระจายตัวในน้ำจะให้ความหนืดสูง โดยปกติจะไม่เกิดเจล แต่จะสามารถเกิดเจลได้เมื่ออยู่ร่วมกับสารประกอบอื่นในสภาวะที่เหมาะสม เช่น กัวร์กัมและโลคัสทีนกัม
- โครงสร้างพอลิเมอร์แบบที่มีกิ่งก้าน (branched chains) เมื่อกระจายตัวในน้ำจะให้ความหนืดต่ำ ไม่เกิดเจล เช่น กัมอะราบิก

รูปแบบการเกิดเจล (gelation) สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบหลัก คือ การเกิดเจลโดยอาศัยการเย็นตัวลง การเกิดเจลโดยอาศัยความร้อน และการเกิดเจลโดยอาศัยไอออน การเกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์เกี่ยวข้องกับลำดับของโครงสร้าง ส่วนมากจะเกิดจากการรวมตัวของโครงสร้างหลักภายใน เกิดเป็นการเชื่อมต่อเป็น “junction zones” ก่อให้เกิดโครงสร้างตาข่ายแบบสามมิติ ปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ไอออน และโครงสร้างตามธรรมชาติของไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อการจัดเรียงตัวตามธรรมชาติของ junction zones ภายในโครงสร้างได้ (Burey *et al.*, 2008; Phillips and Williams, 2009) ทั้งนี้การแบ่งชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดเจล แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ทำให้เกิดเจลแบบคืนตัวกลับได้ด้วยความร้อน (thermo-reversibie gel) และไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดเจลชนิดคืนตัวกลับไม่ได้ด้วยความร้อน (thermo-irreversibie gel) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะการเกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ

ไฮโดรคอลลอยด์	กลไกการเกิดเจล	การนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์
1) ไฮโดรคอลลอยด์ที่เกิดเจลแบบคืนตัวกลับได้ด้วยความร้อน (thermo-reversible gel)		
อะการ์ (agar) และ อะกาโรส (agarose)	เกิดเจลเมื่อสารละลายร้อนเย็นตัวลง	ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เยลลี่
แคปปา-คาร์ราจีแนน (kappa-carrageenan)	เกิดเจลเมื่อสารละลายร้อนเย็นตัวลง และเมื่อรวมตัวกับสารอื่นๆ ได้แก่ เกลือโพแทสเซียม แคปปา-เคซีน (kappa-casein) โลคัสبینกัม (locust bean gum) แซนแทนกัม (xanthan gum)	พุดดิ้ง มิลค์เชค (Milkshake) เต้าหู้
ไอโอตา-คาร์ราจีแนน (iota-carrageenan)	เกิดเจลเมื่อสารละลายร้อนเย็นตัวลง และเมื่อมีเกลือร่วมด้วย ได้แก่ แคลเซียม	พุดดิ้ง มิลค์เชค (Milkshake) เต้าหู้
เจลแลนกัม (gellan gum)	เกิดเจลเมื่อสารละลายร้อนเย็นตัวลง และมีเกลือร่วมด้วย แต่ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือสูงจะกลายเป็นเจลที่ไม่คืนตัวกลับด้วยความร้อน	เยลลี่ผลไม้ เยลลี่มะนาว
ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิล เซลลูโลส (hydroxypropyl methyl cellulose, HPMC) และ เมทิล เซลลูโลส (methyl cellulose, MC)	เกิดเจลในระหว่างที่ได้รับความร้อน	น้ำสลัด เค้ก เครื่องดื่ม วิปทอปปิ้ง
โลคัสبینกัม (locust bean gum)	ละลายได้ดีในน้ำร้อน ตามปกติทำหน้าที่เป็นสารให้ความข้นหนืด แต่เกิดเจลได้และคืนตัวกลับได้ด้วยความร้อน เมื่อรวมตัวกับไฮโดรคอลลอยด์อื่นๆ ได้แก่ อะการ์ (agar) แคปปา-คาร์ราจีแนน (kappa-carrageenan) แซนแทนกัม (xanthan)	ผลิตภัณฑ์จากนม รวมถึงไอศกรีม ซอสมะเขือเทศ น้ำผลไม้ พุดดิ้งผง สำเร็จรูป เค้ก

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ไฮโดรคอลลอยด์	กลไกการเกิดเจล	การนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์
โลว์เมธอกซิล เพคติน (low methoxyl pectin)	เกิดเจลเมื่อมี pH ต่ำ และเมื่อมีเกลือร่วมด้วย ได้แก่ แคลเซียม	แยม เยลลี่ เกลซเคิลือบผิวขนม ขนมหวานที่มีนมเป็นส่วนประกอบ
2) ไฮโดรคอลลอยด์ที่เกิดเจลแบบคืนตัวกลับไม่ได้ด้วยความร้อน (thermo-irreversible gel)		
อัลจีเนต (alginate)	เกิดเจลเมื่อเติมสารละลายที่มีขั้ว (polyvalent cations) อาจเป็นสารละลายแคลเซียม หรือเกิดเจลได้ที่ pH ต่ำกว่า 4	อาหารหรือเบเกอรี่ที่ต้องผลิตโดยใช้อุณหภูมิต่ำ
ไฮเมธอกซิล เพคติน (high methoxyl pectin)	เกิดเจลเมื่อมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูง (เช่น น้ำตาลร้อยละ 50) ที่ pH ต่ำกว่า 3.5	แยม เยลลี่
คอนยัคแมนแนน (konjac mannan)	เกิดเจลเมื่อเติมด่าง	เยลลี่ นูก้อน
โลคัสบีนแกม (locust bean gum)	นิยมใช้เป็นสารให้ความหนืด ไม่คืนตัวกลับด้วยความร้อน หลังจากการแช่แข็ง	ไอศกรีม

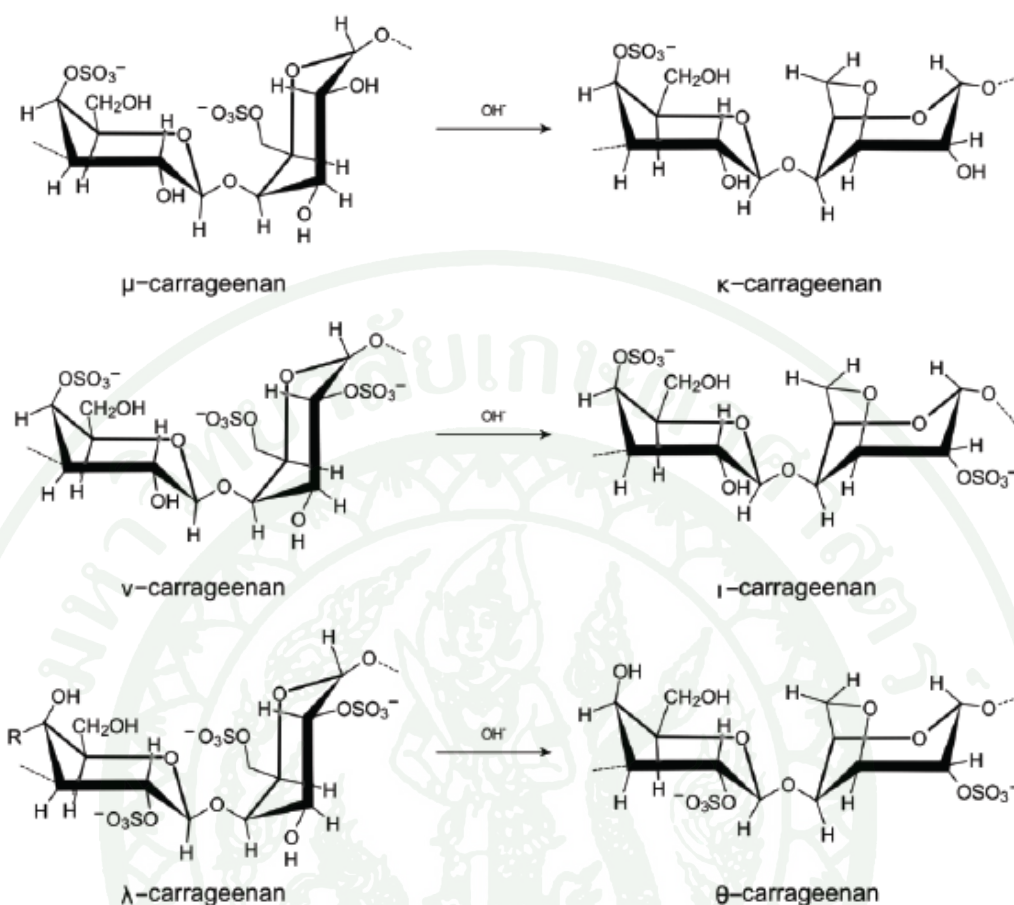
ที่มา: ดัดแปลงจาก Phillips and Williams (2009) และ Saha and Bhattacharya (2010)

คาร์ราจีแนน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ซัลเฟต (polysaccharide sulfate) ชนิดหนึ่งที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง คลาส Rhodophyceae ซึ่งพบได้มากในมหาสมุทรแอตแลนติกบริเวณใกล้สหราชอาณาจักร ยุโรป และอเมริกาเหนือ เมื่อนำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร มีรหัส EU additive E-number คือ E407 หรือ E407a คาร์ราจีแนนถูกนำมาใช้เพื่อทำให้เกิดเจล ให้ความหนืดหรือเป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอาหาร และไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ มีโครงสร้างหลักคือ กาแลคโตส เชื่อมด้วยพันธะไกลโคซิดิก ซึ่งคาร์ราจีแนนแบ่งเป็นชนิดย่อยตามจำนวนและตำแหน่งของกลุ่มเอสเทอร์ซัลเฟตและจำนวน 3,6 anhydro-galactose (3,6-AG) ร่วมกับ α -1,3 and β -1,4-glycosidic linkage. ได้แก่ แคปปา-คาร์ราจีแนน (κ ; kappa), ไอโอตา-คาร์ราจีแนน (ι ; iota), และแลมดา-คาร์ราจีแนน (λ ; lambda) (Necas and Bartosikova, 2013; Thomas, 1997)

แคปปา-คาร์ราจีแนน ประกอบด้วย 1,3-linked galactoside มีกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6 anhydro-D-galactose (3,6-AG) โดยมีสารตั้งต้นเป็น mu-carrageenan ดังแสดงในภาพที่ 3 ถ้ามีปริมาณ anhydride จากการปัดวงเป็น 3,6-AG มากถึงร้อยละ 28-35 จะมีผลทำให้ไวต่อโพแทสเซียมและมีความสามารถในการเกิดเจล ถึงแม้จะมีการดัดแปรให้มี 3,6-AG สูงที่สุด แต่อาจมีความแตกต่างกันที่จำนวนของซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 4 ใน 1,3-linked galactoside และกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 หรือ 6 ใน 1,4-linked galactoside จะทำให้แคปปา-คาร์ราจีแนนมีสมบัติแตกต่างกันไป

ไอโอตา-คาร์ราจีแนน ประกอบด้วย 1,3-linked galactoside มีกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 4 และ 1,4-linked 3,6-AG มีกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 มีสารตั้งต้นเป็น nu-carrageenan ความแตกต่างระหว่าง anhydride ในคาร์ราจีแนนชนิดแคปปาและไอโอตา คือ จำนวนกลุ่มซัลเฟต ที่ตำแหน่งที่ 2 ใน 1,4-linked galactoside ของไอโอตาจะมีมากกว่าแคปปา-คาร์ราจีแนน ประมาณร้อยละ 25-50 ความไวต่อโพแทสเซียมลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้ได้เจลที่มีลักษณะเหนียว ยืดหยุ่น แต่ถ้ามีซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 มากถึงร้อยละ 80 จะทำให้ไวต่อแคลเซียม ดังแสดงในภาพที่ 3

แลมดา-คาร์ราจีแนน ประกอบด้วย 1,3-linked galactoside ซึ่งมีกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 2 ประมาณร้อยละ 70 และ 1,4-linked galactoside มีกลุ่มซัลเฟตที่ตำแหน่งที่ 6 ซึ่งทำให้คาร์ราจีแนนชนิดนี้จะไม่เกิดการปัดวงเป็น 3,6-AG จึงมีผลทำให้ไม่เกิดเจล



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของคาร์ราจีแนนชนิด แคปปา, แลมดา และ ไอโอตา

ที่มา: Necas and Bartosikova (2013)

ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการความหนืดมักเลือกใช้แลมดา-คาร์ราจีแนน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้เกิดเจลจะเลือกใช้แคปปาหรือไอโอตา-คาร์ราจีแนน ซึ่งทำให้เกิดเจล แบบคืนตัวกลับได้ด้วยความร้อน (thermo-reversibie gel) และสามารถเกิดปฏิกิริยาร่วมกับโปรตีนได้ การเติมไอออนจะมีผลต่อการเกิดเจล เช่น การเติมโพแทสเซียมไอออนลงในแคปปา-คาร์ราจีแนน จะเกิดเจลที่มีเนื้อสัมผัสแข็ง เกิดรูปทรงได้ง่าย ส่วนการเติมแคลเซียมไอออนจะทำให้ไอโอตา-คาร์ราจีแนนเกิดเจลที่มีความเหนียว ยืดหยุ่น แคปปา-คาร์ราจีแนนมีสมบัติที่ละลายได้เพียงเล็กน้อยในน้ำเย็น แต่ละลายได้ดีในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 120 องศาฟาเรนไฮต์ (ประมาณ 48.89 องศาเซลเซียส) แคปปาและไอโอตา-คาร์ราจีแนนจะเกิดเจลที่แตกต่างกันไปในช่วงอุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส (Necas and Bartosikova, 2013; Thomas, 1997)

คาร์ราจีแนนที่อยู่ในรูปสารละลายในน้ำ เป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลเป็นสาย (random coil) เมื่อเย็นตัวลงจะจับกันเป็นเกลียวคู่ (double helix) เกิดเป็นโครงร่างสามมิติ พอลิเมอร์แต่ละสายจะมารวมตัวทำให้เกิด junction point ซึ่งทำให้เกิดเจล (Tecante and Santiago, 2012) โดยเจลของไอโอตา-คาร์ราจีแนนจะมีความยืดหยุ่น ส่วนแคปปา-คาร์ราจีแนนจะมีลักษณะ แข็ง และเปราะแตกง่าย แคปปา-คาร์ราจีแนนสามารถใช้ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ เช่น โลคัสป็นกัม คอนยัคแมนแนน เพื่อใช้ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล (Necas and Bartosikova, 2013; Nussinovitch, 1997; Piculell, 1995)

3. ชูโครส

ชูโครสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด คือ กลูโคส และ ฟรุกโตส มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{12}H_{22}O_{11}$ และมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 342 ดาลตัน ชูโครสมีสมบัติให้ความหวานที่ถูกกำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานมีค่าเท่ากับ 100 หน่วย (สารละลายน้ำตาลร้อยละ 20) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลชนิดอื่นๆ ที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิเดียวกัน (Baek *et al.*, 2004) ชูโครสเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมากในอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากจะเป็นสารให้ความหวานแล้ว ยังมีหน้าที่อื่นๆ ที่หาสารอื่นทดแทนไม่ได้ ทั้งนี้เพราะชูโครสมีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น ความหนืด ความแวมนั้น เป็นต้น (กล้าณรงค์, 2542) ในขนมหวานที่มีสตาร์ชและไฮโดรคอลลอยด์เป็นส่วนประกอบ น้ำตาลที่เติมลงในอาหารยังมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของอาหารด้วย เช่น การเกิดเจลาติไนเซชัน การเกิดรีโทรเกรเดชัน เป็นต้น โดยสมบัติต่างๆ จะขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ช ไฮโดรคอลลอยด์ และน้ำตาล ดังนั้นจึงมีการศึกษาผลของสตาร์ชผสมไฮโดรคอลลอยด์และน้ำตาลเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ปรับปรุงคุณภาพและความคงตัวของขนมหวานที่มีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบ (Krüger *et al.*, 2003; Pongsawatmanit *et al.*, 2002; Torley and Molen, 2005)

Pongsawatmanit *et al.* (2002) ศึกษาผลของชูโครสต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชมันสำปะหลังโดยศึกษาที่ความเข้มข้นของสตาร์ชมันสำปะหลังร้อยละ 5-15 โดยน้ำหนัก และชูโครสร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนัก จากการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (RVA) พบว่า ความเข้มข้นของชูโครสและปริมาณสตาร์ชมีผลในการเพิ่มค่าความหนืด ลดการเกิดผลึกน้ำแข็ง ลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี (water activity, a_w) และลดการแยกของน้ำออกจากเจล

Sudhakar *et al.* (1995) ศึกษาผลของซูโครสต่อสมบัติทางกายภาพของการใช้สตาร์ช ข้าวโพดผสมแซนแทนกัม และสตาร์ชข้าวโพดผสมกัวร์กัม โดยใช้เครื่อง Brabender Amylograph จากการผสมสตาร์ชข้าวโพด (ร้อยละ 5 โดยปริมาตร) กับแซนแทนกัม (ร้อยละ 0-0.25 โดยปริมาตร) และการผสมสตาร์ชข้าวโพดกับกัวร์กัม (ร้อยละ 0-0.2 โดยปริมาตร) ในสารละลาย น้ำตาล (ร้อยละ 0-30 โดยปริมาตร) และให้ความร้อน ผลที่ได้พบว่า การเติมไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดทำให้อุณหภูมิเจลลิ่งในเซชันมีค่าลดลงและความหนืดของเพสต์ขณะเย็น (cold paste viscosity) มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมซูโครสกับสตาร์ชโดยไม่เติมไฮโดร-คอลลอยด์ร่วมด้วยทำให้อุณหภูมิเจลลิ่งในเซชันสูงขึ้น โดยผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น พุดดิ้งที่มีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งตัวอย่างผสมระหว่างสตาร์ช ไฮโดรคอลลอยด์ และซูโครสสามารถช่วยให้เกิดความคงตัวและยับยั้งการแยกของน้ำออกจากเจล (syneresis) ได้

Chantaro และ Pongsawatmanit (2010) ศึกษาอิทธิพลของซูโครสและไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชมันสำปะหลัง โดยศึกษาผลของซูโครส (ร้อยละ 0-30) ต่อสมบัติทางความร้อนและด้านความหนืดของตัวอย่างผสมระหว่างสตาร์ชมันสำปะหลังกับแซนแทนกัม (ร้อยละ 5) พบว่า การเติมซูโครสทำให้อุณหภูมิเจลลิ่งในเซชันและค่าเอนทัลปีของสตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมสูงขึ้น ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature), ความหนืดสูงสุด (peak viscosity), ความหนืดสุดท้าย (final viscosity), ค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) และค่าผลต่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (setback) ของตัวอย่างผสมระหว่างสตาร์ชมันสำปะหลังกับแซนแทนกัมสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซูโครส ($p \leq 0.05$)

4. สารให้ความหวาน (sweeteners)

ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น โดยมีการนำสารให้ความหวานมาใช้เพื่อลดหรือควบคุมปริมาณการบริโภคน้ำตาล สารให้ความหวานถูกจัดจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

4.1 สารให้ความหวานชนิด bulk sweetener

เป็นสารให้ความหวานที่ใช้ในปริมาณใกล้เคียงกับซูโครสหรือมีค่าความหวานใกล้เคียงกับซูโครส (ตารางที่ 4) ส่วนใหญ่จะให้พลังงานใกล้เคียงหรือน้อยกว่าซูโครสเพียงเล็กน้อย สารให้ความหวานชนิด bulk sweetener ที่เป็นที่นิยม ได้แก่ ซอร์บิทอล ไซลิทอล มอลทิทอล และอีริทริทอล (ADA Report, 2004; Saulo, 2005)

4.2 สารให้ความหวานชนิด intense sweetener

สารให้ความหวานชนิดระดับความหวานสูงมีความหวานมากกว่าซูโครสหลายเท่า (ตารางที่ 5) ซึ่งใช้เติมในอาหารปริมาณน้อยมาก ดังนั้นจึงไม่มีสมบัติในด้านอื่นๆ เหมือนซูโครส และไม่ให้พลังงาน จัดเป็นสารที่มีคุณค่าทางการแพทย์เนื่องจากใช้ทดแทนน้ำตาลซึ่งผู้ป่วยโรคเบาหวานใช้ไม่ได้ หรือใช้เป็นสารปรุงแต่งรสหวานในยา นอกจากนั้นยังใช้เป็นเครื่องปรุงรสอาหารสำหรับผู้เป็นโรคอ้วนและใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหารเพื่อลดต้นทุนการผลิต สารให้ความหวานที่ได้รับความนิยมมาก ได้แก่ แอสพาร์เทม อะซีซัลเฟม-เค สารสกัดจากหญ้าหวาน (stevioside) และชุกราโลส เป็นต้น (ADA Report, 2004; Saulo, 2005)

ตารางที่ 4 ระดับความหวานของสารให้ความหวานชนิด bulk sweetener

สารให้ความหวาน	ระดับความหวานความหวาน (กำหนดให้ซูโครสมีค่าความหวานเท่ากับ 1)
ซูโครส (sucrose)	1
กลูโคส (glucose)	0.6
ฟรุกโตส (fructose)	2 (1.3)
แลคโตส (lactose)	0.3
กาแลคโตส (galactose)	0.6
ซอร์บิทอล (sorbitol)	0.6
แมนนิทอล (mannitol)	0.6
ไซลิตอล (xylitol)	1
แลคติทอล (lactitol)	0.4
มอลติทอล (maltitol)	0.9
ไอโซมอล (isomalt)	0.5

ที่มา: ADA Report (2004)

ซูคราโลสเป็นสารให้ความหวานชนิด intense sweetener เกิดจากการรวมตัวกันของ ซูโครสและคลอรีน โดยการคัดเลือกและแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลซูโครสด้วยคลอรีน 3 อะตอม เกิดเป็น 1,6-dichloro-1,6-dideoxy-beta-D-fructofuranosyl-1-4-chloro-4-deoxy-alpha-D-galacto pyranoside มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ไม่มีกลิ่น ให้รสชาติหวานคล้าย น้ำตาล มีระดับความหวานสูงกว่าซูโครสประมาณ 600 เท่า สามารถละลายน้ำได้ประมาณ 28.2 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลวที่ 125 องศาเซลเซียส ซูคราโลสให้รสชาติหวานที่ปราศจากรสขมตกค้าง หรือกลิ่นรสโลหะ แต่จะมีรสชาติดก้าง ภายในปากยาวนานกว่าซูโครส การนำซูคราโลสมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถนำมาใช้ร่วมกับ สารให้ความหวานชนิดอื่น โดยสามารถส่งเสริมรสหวานเมื่อใช้ซูคราโลสร่วมกับไซคลาเมต อะซี- ซัลเฟม-เค และซัคคารีน หรือในสารให้ความหวานที่ให้พลังงานอื่น เช่น ฟรุกโตส เป็นต้น (Molinary and Quinlan, 2006)

ตารางที่ 5 ระดับความหวานของสารให้ความหวานชนิด intense sweetener

สารให้ความหวาน	ระดับความหวานความหวาน (กำหนดให้ซูโครสมีค่าความหวานเท่ากับ 1)
ไซคลาเมต (cyclamates)	30
อะซีซัลเฟม-เค (acesulfame K)	200
แอสพาร์เทม (aspartame)	200
ซัคคารีน (saccharin)	300
ซูคราโลส (sucralose)	600
อะลิเทม (alitame)	2000
ทัวมาติน (thaumatin)	2500
มอนเนลลิน (monellin)	3000
กรดซูโครโนนิก (sucrononic acid)	200,000

ที่มา: ADA Report (2004)

การใช้สารให้ความหวานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้น นอกจากสมบัติในด้านรสหวานแล้ว ยังมีผลต่อสมบัติด้านอื่นๆ ในอาหารอีก เช่น เนื้อสัมผัส ปริมาตร อายุการเก็บรักษา สี คุณภูมิเยือกแข็ง เป็นต้น การนำสารให้ความหวานชนิดอื่นมาใช้ทดแทนซูโครสต้องคำนึงถึงผลกระทบต้อปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ด้วย

จากงานวิจัยของ Bayarr *et al.* (2003) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารให้ความหวานสองชนิดคือ ซูโครส (ร้อยละ 10 และ 15 โดยปริมาตร) และ แอสพาร์เทม (ร้อยละ 0.08 และ 0.12 โดยปริมาตร) ต่อสมบัติแรงต้านการกดของเจลไฮโดรคอลลอยด์สองชนิดคือ แคปปา-คาร์ราจีแนนและเจลแลนกัน (ร้อยละ 0.3 และ 0.9 โดยปริมาตร) และต่อสมบัติการรับรสหวานของเจลทั้งสองชนิด ในการศึกษาพบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างเจลมีผลต่อการรับรสหวานของมนุษย์ โดยตัวอย่างเจลที่เติมซูโครสมีค่าความแข็งของเจลมากขึ้น ที่ความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์มากกว่าจะส่งผลให้การรับรู้รสสัมผัสเป็นไปได้น้อย ซึ่งในการศึกษานี้พบว่า การรับรสหวานของเจลแลนกันมีมากกว่าแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ระดับความหวานเท่ากัน และ Bayarri *et*

al. (2004) ได้ศึกษาผลของสารให้ความหวานต่อสมบัติ viscoelasticity ของเจลโดยการเติมซูโครส ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก และแอสพาร์เทมร้อยละ 0.08 และ 0.16 โดยน้ำหนัก ไฮโดร-คอลลอยด์ที่ใช้ได้แก่ แคปปา-คาร์ราจีแนน พบว่า ผลค่า Complex modulus (G^*) ที่วัดได้ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคปปา-คาร์ราจีแนน โดยซูโครสมีผลให้ค่า G^* เพิ่มขึ้นในตัวอย่างเจลชนิดที่ นิ่มกว่าแต่ไม่มีผลในตัวอย่างเจลชนิดแข็ง ขณะที่ตัวอย่างที่เติมแอสพาร์เทมแทบไม่แสดงสมบัติ แตกต่างจากเจลที่ไม่ได้เติมน้ำตาล

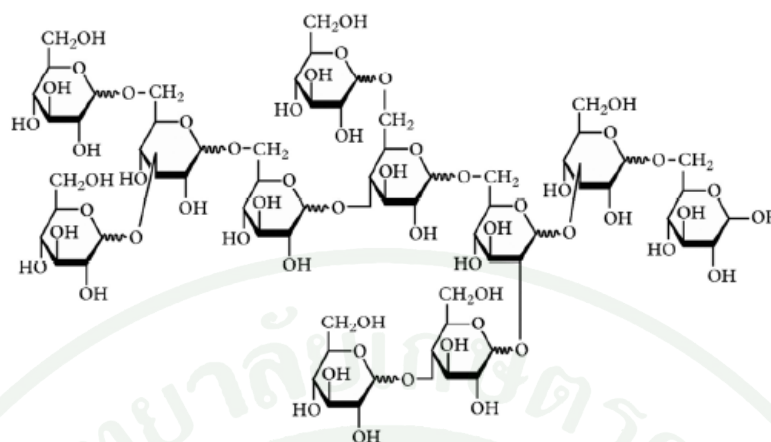
ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหรืออาหารเหลวบางชนิด การใช้สารให้ความหวานชนิดที่มีระดับความหวานสูงทดแทนซูโครสสามารถใช้เป็นสารทดแทนปริมาณได้โดยตรง แต่ในอาหารที่มีเนื้อสัมผัสแข็งหรือกึ่งแข็ง การลดปริมาณซูโครสต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์และต้องพิจารณาสมบัติของสารเพิ่มปริมาณที่นำมาใช้ทดแทนส่วนของซูโครสด้วย

5. สารเพิ่มปริมาณ

สารเพิ่มปริมาณ (Bulking agent) อาจเรียกว่า filler หมายถึง วัตถุเจือปนอาหารที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มเนื้อในอาหาร (ยกเว้น อากาศ และน้ำ) โดยไม่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (Alonso and Setser, 1994) ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซูโครสเป็นวัตถุ癖ที่นอกจากจะให้รสหวานแล้วยังมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของอาหารด้วย เช่น การเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส การเกิดเจลในเซชัน การเกิดรีโทรเกรเดชัน เป็นต้น การใช้สารให้ความหวานชนิดระดับความหวานสูง (intense sweetener) ในผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว เช่น กาแฟ หรือน้ำอัดลม สามารถนำมาใช้ทดแทนซูโครสได้โดยตรงและทดแทนปริมาตรด้วยน้ำ ขณะที่ในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นของแข็งนั้นไม่สามารถใช้น้ำเพื่อทดแทนปริมาณได้ จำเป็นต้องมีการเติมสารเพิ่มปริมาณชนิดอื่น เพื่อชดเชยปริมาณของแข็งที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในปัจจุบันเป็นการยากที่สารเพิ่มปริมาณหรือสารให้ความหวานเพียงชนิดเดียวจะสามารถทดแทนสมบัติต่างๆ ของซูโครสได้ทั้งหมด ดังนั้นวิธีการใช้สารเพิ่มปริมาณร่วมกันหลายชนิดจึงอาจเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด สารเพิ่มปริมาณส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ คือ สารประเภทคาร์โบไฮเดรตในกลุ่มที่ร่างกายย่อยไม่ได้ เช่น โอลิโกแซคคาไรด์ หรือพอลิแซคคาไรด์ ซึ่งมีแคลอรีน้อยกว่าน้ำตาลและอาจมีสมบัติเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นสารพรีไบโอติกได้ด้วย พอลิแซคคาไรด์ชนิดที่มีขนาดใหญ่ (น้ำหนักโมเลกุล, $MW > 5000$ Da) สามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณได้แต่ไม่สามารถนำมาใช้แทนที่น้ำตาลได้โดยตรง เนื่องจากสมบัติการละลายที่ต่ำและมีความหนืดสูง สารกลุ่มนี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

รวมถึงไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน กัมมิวซีเลจ และ ลิกนิน เป็นต้น (Auerbach *et al.*, 2006)

พอลิเดกซ์ทริน คือ พอลิแซ็กคาไรด์โมเลกุลต่ำที่จับตัวกันอย่างแน่นของกลูโคส ให้พลังงานต่ำเท่ากับ 1 กิโลแคลอรีต่อกรัม เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชัน (ปฏิกิริยาที่โมเลกุลขนาดเล็กของสารถูกกำจัดออกระหว่างกระบวนการ) ของกลูโคส ซอร์บิทอล และกรด ในระบบสุญญากาศและลดความดัน มีพันธะกลูโคไซด์ที่เชื่อมกับ anomeric carbon ของกลูโคส ดังนี้: α และ β 1-2, 1-3, 1-4 และ 1-6 ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยมีค่าเฉลี่ย DP (degree of polymerisation) ประมาณ 12 แต่มีช่วงจากโมโนเมอร์ที่เหลือถึง DP>100 (น้ำหนักโมเลกุล, MW>2000 Da) โดยพอลิเดกซ์ทรินมีสมบัติที่ละลายในน้ำได้มากกว่าร้อยละ 80 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ละลายได้น้อยในเอทานอลและไม่ละลายในพอร์พิลินไกลคอล นอกจากนี้ยังสามารถทนความเป็นกรดและอุณหภูมิสูงได้ดีกว่าพอลิเมอร์สายตรงชนิดอื่น เช่น ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Auerbach *et al.*, 2006; Putaala, 2013) พอลิเดกซ์ทรินเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในหลายประเทศโดยจัดอยู่ในกลุ่มของใยอาหารที่ละลายน้ำ จากการที่พอลิเดกซ์ทรินถูกย่อยได้น้อยในระบบทางเดินอาหารจึงสามารถทำหน้าที่เป็นพรีไบโอติกได้ นอกจากนี้ พอลิเดกซ์ทรินยังมีค่าดัชนีไกลซีมิกต่ำ (low glycemic index) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับกลูโคสในระบบโลหิตน้อยผู้ป่วยเบาหวานจึงสามารถบริโภคได้ ด้วยเหตุนี้พอลิเดกซ์ทรินจึงถูกใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารประเภทขนมขบเคี้ยว ลูกกวาด ขนมปัง ผลิตภัณฑ์จากนม ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ หรือ เครื่องดื่ม (Auerbach *et al.*, 2006; Craig *et al.*, 2000)



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเดกซ์โทรส (ในภาพ R อาจหมายถึง ไฮโดรเจน (H), ซอร์บิทอล, สายซอร์บิทอลหรือสายพอลิเดกซ์โทรส)

ที่มา: Putaala (2013)

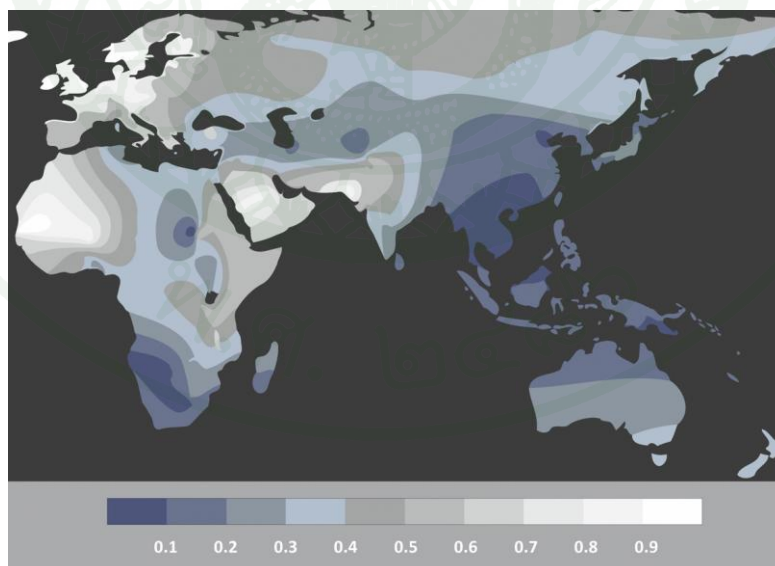
จากการทบทวนการศึกษาทางคลินิกของ Flood *et al.* (2004) และ Raninen *et al.* (2011) ถึงปริมาณและการใช้พอลิเดกซ์โทรสในอาหารต่อร่างกาย เนื่องจากพอลิเดกซ์โทรสมีสมบัติคล้ายคลึงกับใยอาหารชนิดอื่นๆ ซึ่งเมื่อบริโภคในปริมาณมากสามารถนำไปสู่อาการข้างเคียง เช่น การเกิดแก๊สในระบบย่อยอาหารได้ จากการศึกษาในเด็กและผู้ใหญ่พบว่า การบริโภคพอลิเดกซ์โทรสสามารถลดการเกิดอาการดังกล่าวได้มากกว่าคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้น้อยชนิดอื่นๆ (เช่น พอลิแอล) เนื่องมาจากน้ำหนักโมเลกุลที่มากกว่าและความสามารถในการทนการย่อยในลำไส้ใหญ่ ซึ่งนำไปสู่การลดโอกาสในการเกิดอาการท้องเดินและยังทำให้ระดับกลูโคสในเลือดและระดับคอเลสเตอรอลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า นอกจากนี้ the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) และ the European Commission Scientific Committee for Food (EC/SCF) ได้กำหนดให้พอลิเดกซ์โทรสสามารถบริโภคได้ถึง 90 กรัมต่อวัน (1.3 กรัมต่อน้ำหนักร่างกาย 1 กิโลกรัม) หรือ 50 กรัมต่อการบริโภค 1 ครั้ง (Craig *et al.*, 2000)

ปัจจุบันมีการนำพอลิเด็กซ์โทรสมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น เช่น จากการศึกษาของ Attia *et al.* (1993) โดยใช้พอลิเด็กซ์โทรสร่วมกับอะซีซัลเฟม-เคและแอสพาร์เทมในผลิตภัณฑ์เค้กพลังงานต่ำ พบว่า ความเข้มข้นของเนื้อเค้กมีค่าเพิ่มขึ้น สามารถเพิ่มปริมาตรและน้ำหนักของตัวอย่างได้แต่ยังไม่เทียบเท่ากับตัวอย่างควบคุมที่ใช้ซูโครส หรือการใช้พอลิเด็กซ์โทรสร่วมกับซูคราโลสในผลิตภัณฑ์มัทพินลดน้ำตาล (Martinez-Cervera *et al.*, 2012) จากการใช้ซูคราโลสต่อพอลิเด็กซ์โทรส (1:1012) ซึ่งทำการแทนที่ซูโครสในสูตร (ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100) พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสที่การแทนที่ระดับร้อยละ 50 ได้รับการยอมรับที่ใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐานขณะที่การแทนที่ร้อยละ 100 ได้รับการยอมรับน้อยที่สุด เช่นเดียวกับ Schirmer *et al.* (2012) ที่ทำการศึกษากการใช้พอลิเด็กซ์โทรสในผลิตภัณฑ์เค้กปอนด์โดยทดแทนปริมาณซูโครสในสูตรด้วยพอลิเด็กซ์โทรส (ร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100) พบว่าตัวอย่างที่ใช้พอลิเด็กซ์โทรสจะมีความไวต่อแรงเฉือนและความหนืดของเบทเทอร์สูงกว่า ให้เนื้อเค้กที่มีค่าความแน่นเนื้อและสมบัติทางเนื้อสัมผัสอื่นๆ ใกล้เคียงกับสูตรที่ใช้ซูโครสปกติ Srisuvor *et al.* (2013) ศึกษาการเติมพอลิเด็กซ์โทรสในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตไขมันต่ำเปรียบเทียบกับการใช้อินูลิน ซึ่งใช้ในปริมาณ 1, 2 และ 3 กรัม ต่อ 100 มล. พบว่า พอลิเด็กซ์โทรสส่งผลต่อจำนวนของจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่มีชีวิตตลอดอายุการเก็บรักษา โดยทำหน้าที่เป็นโพรไบโอติกและสารทดแทนไขมัน นอกจากนี้ยังสร้างพันธะไฮโดรเจนร่วมกับน้ำในสูตร ช่วยลดปัญหาการเกิดการแยกน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ (syneresis) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่หนืด แต่เมื่อทำการเก็บรักษานานขึ้น ค่าความหนืดจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา

6. น้ำนมโคและสภาวะไม่ย่อยนม

โดยปกติแล้วในผลิตภัณฑ์พุดดิ้งนั้นนิยมใช้น้ำนมโคเป็นวัตถุดิบหลัก ในน้ำนมโคประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลคู่ คือ แลคโตส ซึ่งจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์แลคเตสในลำไส้ส่วนดูโอดินัมจนแตกตัวออกเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ กลูโคส กับ กาแลคโตส ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทั่วไปรวมถึงมนุษย์จะมีการผลิตเอนไซม์แลคเตสลดลงหลังจากพ้นช่วงการหย่านม ซึ่งเมื่อร่างกายมีสภาวะไม่ย่อยนม การบริโภคนมหรืออาหารที่มีนมเป็นส่วนประกอบจะทำให้เกิดกระบวนการย่อยโดยแบคทีเรียในลำไส้ นำไปสู่การเกิดกรดไขมัน และแก๊สโดยเฉพาะแก๊สไฮโดรเจน เป็นผลให้มีการดึงน้ำเข้ามาในโพรงลำไส้ทำให้มีอาการไม่พึงประสงค์ เช่น ท้องอืด ปวดท้อง ท้องเสีย รวมถึงมีลมในท้อง เรียกว่า ภาวะพร่องเอนไซม์ย่อยนม หรือภาวะพร่องแลคเตส (Lactase Deficiency,

Lactose Intolerance) หรือเรียกว่า อาการไม่ย่อยแลคโตสในนม หากมีการดื่มนมต่อเนื่อง ร่างกายจะสร้างเอนไซม์แลคเตสขึ้นมาทำให้สามารถดื่มนมได้เป็นปกติ แต่เมื่อหยุดดื่มนมไปนาน แล้วกลับมาดื่มนมใหม่อาการแพ้แลคโตสในนมจะเกิดขึ้นซ้ำอีก มีเพียงร้อยละ 35 ของประชากรบนโลกเท่านั้นที่สามารถดื่มนมได้โดยปราศจากอาการดังกล่าว เนื่องจากร่างกายยังคงสามารถผลิตเอนไซม์แลคเตสได้แม้พ้นวัยหย่านมแล้ว โดยยังคงพบได้ในกลุ่มประชากรในภูมิภาคทวีปยุโรป บริเวณตะวันตกเฉียงเหนือ เช่น อังกฤษ หรือ สแกนดิเนเวีย (ความถี่ 0.89-0.96) ขณะที่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอเมริกันพื้นเมืองจะพบได้น้อยมาก ดังแสดงในภาพที่ 5 (Leonadi *et al.*, 2012; Ingram *et al.*, 2009; Itan *et al.*, 2010) ในประเทศไทยนั้น ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการไม่ย่อยแลคโตสในนมโค โดยในปี ค.ศ. 2004 พบว่า คนไทยจำนวนมากสามารถย่อยและดูดซึมน้ำตาลแลคโตสได้ถึงเกือบ ร้อยละ 50 ซึ่งต่างจากการศึกษาในอดีตที่มีภาวะพร่องเอนไซม์ย่อยนมถึงร้อยละ 90-100 ซึ่งอาจเป็นผลจากการเข้าถึงการบริโภคผลิตภัณฑ์จากนํ้านมโคที่มากขึ้น (Densupsoontorn *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตามปัญหาภาวะพร่องเอนไซม์ย่อยนมดังกล่าวยังเป็นปัญหาสำคัญต่อการบริโภคนมและผลิตภัณฑ์จากนมโคในประเทศและทั่วโลก การพัฒนาเครื่องดื่มนมจากธัญหารชนิดอื่นๆ เช่น นํ้านมถั่วเหลือง นํ้านมข้าว นํ้านมอัลมอนต์ นํ้าข้าวโพด เป็นต้น เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกทดแทนการบริโภคนํ้านมโคจึงมีมากขึ้น



ภาพที่ 5 ความถี่ประชากรโลกที่ยังมีเอ็นที่ผลิตเอนไซม์แลคเตสได้

ที่มา: Leonadi *et al.* (2012)

6. ข้าวโพดหวาน

ข้าวโพดหวาน (sweet corn) หมายถึง ข้าวโพดที่มีความหวานโดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids) ไม่น้อยกว่า 9 องศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$) ในลักษณะทั้งฝักที่มีหรือไม่มีเปลือกหุ้มเมล็ดติดกับชัง ข้าวโพดหวานเป็นพืชที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays L.* จัดอยู่ในวงศ์ (Family) Poaceae (สำนักงานมาตรฐานเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2554) ข้าวโพดหวานต่างจากข้าวโพดไร่เนื่องจากสะสมน้ำตาลไว้ในเมล็ดเป็นปริมาณสูงเพื่อใช้ในการผลิตเป็นสตาร์ช ข้าวโพดหวานที่มีคุณภาพดีเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคต้องมีเปลือกเมล็ดบางและมีปริมาณน้ำตาลสูง (Schenck, 1992) ข้าวโพดหวานเป็นผลิตผลที่มีการเสียหายจากการเสื่อมสภาพเร็วมาก ทั้งนี้เพราะข้าวโพดหวานมีปฏิกิริยาการเปลี่ยนน้ำตาลที่สะสมอยู่ภายในเมล็ดให้เป็นสตาร์ชได้รวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวโพดหวานธรรมดาที่มียีนซูการ์รี (Sugari) ข้าวโพดหวานพิเศษหรือ super sweet มีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูงและมีอัตราการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นสตาร์ชต่ำกว่าข้าวโพดหวานธรรมดาดังสามารถเก็บได้นานกว่าปกติ แต่อย่างไรก็ตามข้าวโพดหวานก็ยังเป็นพืชผลที่ต้องเก็บเกี่ยวเมื่อถึงเวลาจะทิ้งไว้กับต้นนานกว่ากำหนดเก็บเกี่ยวไม่ได้ ในกรณีที่เป็นอาจจะปล่อยไว้ได้ 1-2 วัน แต่นานกว่านั้นคุณภาพจะลดลง โดยข้าวโพดหวานจะมีราคาสูงในช่วงเดือน ม.ค.-พ.ค. เพราะเป็นการปลูกโดยอาศัยการชลประทานและอากาศร้อนทำให้ได้ผลผลิตไม่ดี (ทวีศักดิ์, 2540)

ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 เป็นข้าวโพดหวานลูกผสมเดี่ยวที่เกิดจากการผสมระหว่างสายพันธุ์แท้ SSWI 114 กับ KSei 14004 ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ให้น้ำหนักฝักสดทั้งเปลือก 2,097-2,430 กก./ไร่ และน้ำหนักฝักสดเปลือกเปลือกที่ 1,371-1,422 กก./ไร่ สูงกว่าพันธุ์อินทรี 1 ถึง 5.7 และ 9.0% ตามลำดับ ให้เมล็ดที่ตัดได้ร้อยละ 34.17 และความหวาน 15.0 องศาบริกซ์ เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม เมล็ดไม่ยุบตัวอยู่ได้ 2-3 วัน ฝักสีเหลือง ทรงกระบอก แฉกเมล็ดเรียงตัวสม่ำเสมอ ใหม่มีสีอ่อน ฝักยาว 17 เซนติเมตร กว้าง 4.5 เซนติเมตร มี 14-16 แถว มีอายุวันออกไหมร้อยละ 50 ประมาณ 48 วันและมีความสูงต้นและฝักปานกลาง (198 และ 106 เซนติเมตรตามลำดับ) องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 แสดงดังตารางที่ 6 ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติได้เผยแพร่พันธุ์อินทรี 2 สู่เกษตรกรและโรงงานแปรรูปตั้งแต่วันที่ พ.ศ. 2542 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวานจะแตกต่างกันไปเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น อายุการเก็บเกี่ยว สายพันธุ์ สภาพแวดล้อมการปลูก เป็นต้น (โชคชัย, 2556)

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2

สมบัติทางเคมี	ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ผักสด (ร้อยละ)
ความชื้น	76.37
โปรตีน	3.78
ไขมัน	1.28
เถ้า	0.73
คาร์โบไฮเดรต	17.84

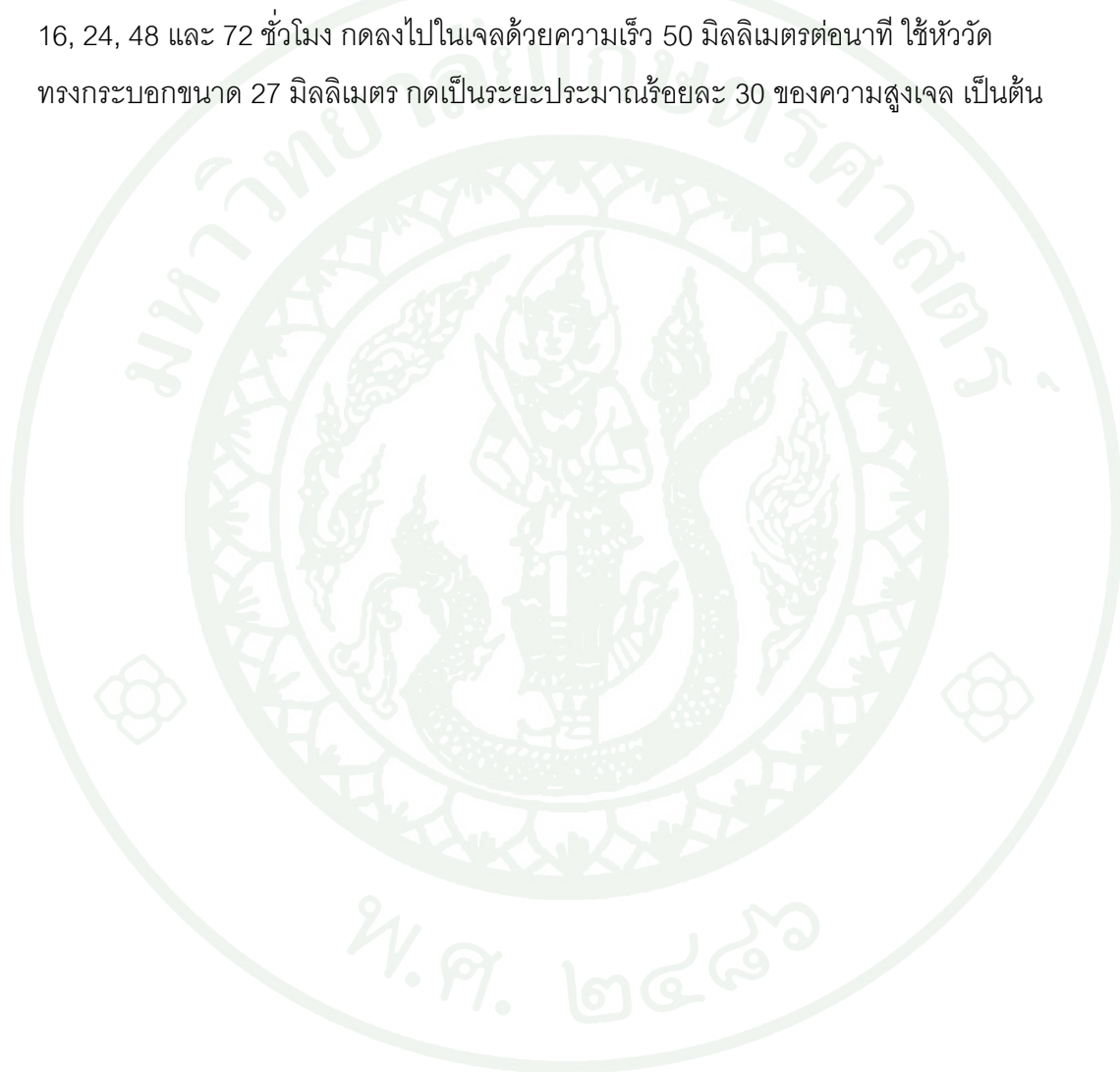
ที่มา: ไชคชัย (255)

จากการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำข้าวโพดของสโรชาและคณะ (2548) ซึ่งพบว่า กระบวนการผลิตน้ำข้าวโพดหวานมีผลต่อค่าคุณภาพด้านต่างๆของน้ำข้าวโพด โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 และการใช้อัตราส่วนข้าวโพดหวานต่อน้ำในอัตราส่วน 1:3 และ 1:4 เปรียบเทียบกับน้ำข้าวโพดจากไร่สุวรรณซึ่งมีอัตราส่วน 1:2.5 พบว่ามีค่าแตกต่างในด้านของปริมาณโปรตีน ไขมัน ค่าทางกายภาพอื่นๆ เช่น ค่าสีเหลือง (b^*) ความสว่าง และด้านความหนืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจากกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนสองรอบเพื่อฆ่าเชื้อด้วยวิธีการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ส่งผลต่อการฟองตัวของเม็ดสตาร์ชภายในน้ำข้าวโพด ซึ่งเจลาทีไนซ์ที่ 62-72 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน และอัตราส่วนของเมล็ดข้าวโพดต่อน้ำ ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำข้าวโพดหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง นอกจากอิทธิพลของวัตถุดิบ เช่น สตาร์ช ไขมัน โปรตีน หรือชูโครส แล้ว ปัจจัยของกระบวนการแปรรูปก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ขนมหวานประเภทพุดดิ้งเช่นกัน (Lim and Narsimhan, 2006) พุดดิ้งชนิด Boiled pudding เป็นพุดดิ้งที่ได้รับความนิยม เนื่องจากความสะดวกในการเตรียม โดยนิยมให้ความร้อนจนเดือดแทนการปรุงสุกด้วยวิธีอื่น เนื่องจากปัจจัยจากวัตถุดิบที่ใช้ เช่น ชนิดและ/หรือปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ สารให้ความหวาน ปริมาณของโปรตีน ปริมาณไขมัน และกระบวนการผลิต เช่น การกวนผสม อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องล้วนส่งผลต่อสมบัติต่างๆ รวมถึงปัจจัยด้านเนื้อสัมผัส ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคในอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Arcia *et al.* 2010; Gonzalez-Tomas *et al.* 2006) การศึกษาอิทธิพลของกระบวนการจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับอิทธิพลของวัตถุดิบ เช่น Lim and Narsimhan (2006) ศึกษาสมบัติรีโอโลยีของโปรตีนถั่วเหลืองและสตาร์ชในผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง โดยศึกษาค่า Consistency index (K) ในช่วงระหว่าง 6.57-18.63 (Pa s^n) และ flow behavior index (n) ในช่วง 0.4192-0.6558 ซึ่งพบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับพุดดิ้งในท้องตลาด และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในอุณหภูมิต่ำ เช่น ภายในตู้เย็นเป็นเวลา 2 สัปดาห์มีผลให้ค่า G' และ G'' มีค่าเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ การทดสอบค่าความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบสมบัติของเจลในระหว่างกระบวนการ การผลิต และการบริโภคอาหาร ซึ่งการทดสอบด้วยวิธี Large-strain โดยนิยมศึกษาสมบัติด้านการแตกหัก (fracture) มากกว่าด้านการไหล (flow) ซึ่งวิเคราะห์จากการที่ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนรูปร่างไปจนถึงสภาวะที่ไม่สามารถคืนตัวกลับได้ แรงกระทำดังกล่าว เช่น แรงเฉือน (shear) แรงกด (compression) และแรงดึง (tension) สามารถนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจล เป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้ควบคู่ไปกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว การทดสอบด้วยวิธีการเจาะนั้นเป็นวิธีการพื้นฐานที่ง่ายที่สุดเพื่อให้ได้ค่าความเค้น-ความเครียด เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์อาหารที่มีเนื้อสัมผัสแข็งหรือกึ่งแข็ง กระบวนการทดสอบทำได้โดยการกดหัววัดลงไปในตัวอย่างจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาตีความในรูปของค่าความแข็งของเจล (gel strength) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงที่กระทำหารด้วยระยะความลึกที่กด (Tabilo-Munizaga and Barbosa-Canovas, 2005) ตัวอย่างการศึกษาที่ใช้กระบวนการทดสอบด้วยวิธีการนี้ ได้แก่ Nunes *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของโปรตีนจากผักชนิดต่างๆ ต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง โดยทำการทดสอบด้วยวิธีการเจาะ (penetration)

โดยเตรียมตัวอย่างในภาชนะทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร สูง 3.5 เซนติเมตร ใช้หัววัดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 มิลลิเมตร ทำการเจาะทะลุลงไปที่ความลึก 10 มิลลิเมตร ความเร็วในการกด 2 มิลลิเมตร/วินาที ผลที่ได้รายงานเป็นค่า Firmness หรือ Hardness (N/m^2) หรือ Alamprese and Mariotti (2011) ทำการเตรียมตัวอย่างประมาณ 30 กรัม ทำการทดสอบด้วยวิธีการเจาะ (penetration) หลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง กดลงไปในเจลด้วยความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้หัววัดทรงกระบอกขนาด 27 มิลลิเมตร กดเป็นระยะประมาณร้อยละ 30 ของความสูงเจล เป็นต้น



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 ข้าวโพดหวานฝักสดพันธุ์อินทรี 2 (ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ จังหวัดนครราชสีมา, ประเทศไทย)
- 1.2 สตาร์ชมันสำปะหลัง (บริษัท Siam Quality Starch จำกัด, ประเทศไทย)
- 1.3 แคปปา-คาร์ราจีแนน (Gelcerin XP 3370, FMC Biopolymer, USA) lot no. F090617779
- 1.4 น้ำตาลทราย (บริษัท มิตรผล จำกัด, ประเทศไทย)
- 1.5 ซูโครส (Fisher Scientific, UK)
- 1.6 ซูคราโลส (บริษัท รามาโปรดักชั่น จำกัด, ประเทศไทย)
- 1.7 พอลิเด็กซ์โทรส (Litesse I, บริษัท ดูปองท์ จำกัด, ประเทศไทย) lot no. 06k13# 1922031150
- 1.8 น้ำปราศจากไอออน

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

- 2.1 เครื่องแก้ว
- 2.2 เครื่องครัว
- 2.3 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (adventurer™ OHAUS, Ohaus, USA)
- 2.4 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ED 224S, Sartorius, Germany)
- 2.5 เครื่องปั่นแยกกาก (NC-5195, Nesco, USA)
- 2.6 นาฬิกาจับเวลา
- 2.7 เทอร์โมมิเตอร์
- 2.8 Hot plate stirrer (MS-H-S, Dragonlab, China)
- 2.9 แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
- 2.10 ตู้เย็น (MR-F26D-SL, Mitsubishi, Japan)

3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

3.1 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

3.1.1 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (RVA-4, Newport Scientific Instruments & Engineering, Australia)

3.1.2 เครื่องวัดสี (CM-3500d, Minolta, Japan)

3.1.3 เครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ (H-80R, Kokusan, Japan)

3.1.4 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-500, Lloyd, UK)

3.2 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.2.1 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (N3, ATAGO, Japan)

3.2.2 ตู้อบแบบลมร้อนควบคุมอุณหภูมิได้ (FD115, Binder, Germany)

3.2.3 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl apparatus, Buchi, Switzerland)

3.2.4 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Soxtec 2050, Foss, USA)

3.2.5 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ (M1020, Foss, USA)

3.2.6 เตาเผาเถ้า (Muffle Furnace, STUART, UK)

3.2.7 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.3 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

3.3.1 เครื่องแก้ว

3.3.2 ตู้บ่มเชื้อควบคุมอุณหภูมิได้ (FD115, Binder, Germany)

3.3.3 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อความดันสูง (3850M, Tuttnauer, USA)

3.3.4 เครื่องตีปั่นอาหาร (BA7021, Stomacher lab-blender 400, UK)

3.4 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.4.1 ห้องปฏิบัติการทางประสาทสัมผัสพร้อมอุปกรณ์

3.4.2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

4. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

4.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

4.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows version 12.0 (SPSS Inc., Thailand)

4.3 โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ XLSTAT® version 2012

วิธีการ

1. การสำรวจตลาดและ ความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล

1.1 สำรวจผลิตภัณฑ์พุดdingที่จำหน่ายในท้องตลาด

สำรวจตราสินค้า ลักษณะเด่น ส่วนประกอบ ขนาดบรรจุภัณฑ์ที่มีจำหน่าย ราคาต่อบรรจุภัณฑ์ และบริษัทที่ผลิต ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึง 30 พฤศจิกายน 2555 บริเวณห้างสรรพสินค้าและร้านค้าทั่วไป ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

1.2 ศึกษาความต้องการของผู้บริโภคด้วยวิธีการอภิปรายกลุ่ม (Focus group discussion)

ดำเนินการศึกษาความต้องการของผู้บริโภคด้วยวิธีการอภิปรายกลุ่ม (Focus group discussion) กับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย คือ กลุ่มผู้บริโภคที่ชอบรับประทานพุดding จำนวน 3 กลุ่ม กลุ่มละ 8-12 คน อายุระหว่าง 18-40 ปี สอบถามข้อมูลทางประชากรศาสตร์ ปัจจัยการเลือกซื้อ พฤติกรรมการบริโภคขนมหวาน ปัญหา และความต้องการของผู้บริโภค เพื่อนำผลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสอบถาม จากนั้นทำการทดสอบแบบสอบถามเบื้องต้นโดยใช้ผู้ทดสอบอย่างน้อย 10 คน เพื่อให้ทราบถึงข้อบกพร่องของแบบสอบถามก่อนนำไปปรับปรุงแบบสอบถามให้สมบูรณ์ (เพ็ญขวัญ, 2549)

1.3 ศึกษาความต้องการของผู้บริโภคโดยวิธีการใช้แบบสอบถาม

ทำการออกแบบสอบถามโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจท้องตลาดและการอภิปรายกลุ่ม จากข้อ 1.1 โดยผู้กรออกแบบสอบถาม คือ ผู้ทดสอบกลุ่มเป้าหมาย 138 คน ได้จากการหาค่าสัดส่วนของประชากร โดยการคำนวณจากสูตรการแจกแจงค่าสัดส่วนตัวอย่าง (Cooper and Schindler, 2008) คือ

$$n = pq/\sigma_p^2 = (0.9)(0.1)/(0.02551)^2 \quad (1)$$

โดยที่

p = สัดส่วนของประชากรที่คาดว่าจะสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ จากการสำรวจขั้นต่ำเบื้องต้น 30 คน (Frankel *et al.*, 2012)

$$q = 1-p$$

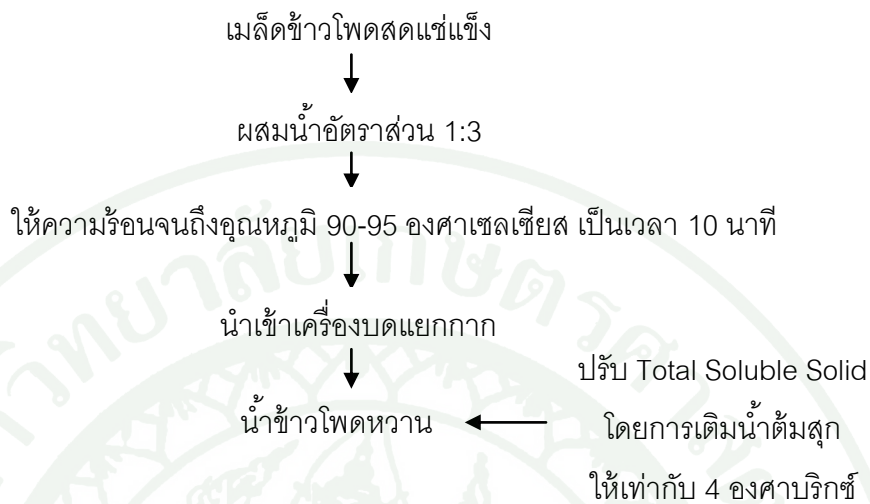
$$1.96 \sigma_p = \text{ความเชื่อมั่นที่กำหนด (ร้อยละ 95)} = 0.05$$

$$\sigma_p = 0.02551 = \text{ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้เกิดขึ้นได้ร้อยละ 5}$$

2. การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดโดยใช้สตาร์ชมันสำปะหลัง ไฮโดรคอลลอยด์ และสารให้ความหวาน

2.1 การเตรียมน้ำข้าวโพดหวาน

นำฝักข้าวโพดหวานสดพันธุ์อินทรี 2 ฝักผ่าเอาเฉพาะเมล็ด บรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน ชั่งน้ำหนักถุงละ 500 กรัม เก็บในสภาพแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลอง นำเมล็ดข้าวโพดหวานที่เก็บไว้มาผลิตน้ำข้าวโพดหวานดังกรรมวิธีการผลิตในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการเตรียมน้ำข้าวโพดหวาน

ที่มา: ดัดแปลงจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบโครงการผลิตน้ำข้าวโพดหวาน ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ

นำน้ำข้าวโพดหวานที่เตรียมได้มาทำการวิเคราะห์ค่าคุณภาพดังต่อไปนี้

1) คุณภาพด้านกายภาพ

- ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Spectrophotometer (CM-3500d, Minolta, Japan) วัดค่าแสงสะท้อน (Reflectance) เตรียมตัวอย่างน้ำข้าวโพดลงใน Petri dish สำหรับทำการวิเคราะห์ค่าสี ทำการชั่งน้ำหนักแต่ละซ้ำให้ใกล้เคียงกันที่ประมาณ 5 กรัม ใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัด 5 ครั้ง ค่าที่วัดได้แก่ ค่าสี L^* a^* b^* โดยค่า L^* บ่งบอกถึงค่าความสว่างของตัวอย่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 (มืด-สว่าง) ค่า a^* บ่งบอกค่าความเป็นสีเขียวและสีแดง โดยค่าที่เป็นลบ หมายถึง สีเขียว และค่าที่เป็นบวก หมายถึง สีแดง ค่า b^* บ่งบอกค่าความเป็นสีน้ำเงินและเหลือง โดยค่าที่เป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน และค่าที่เป็นบวก หมายถึง สีเหลือง (Martinez-Cervera *et al.*, 2012)

2) คุณภาพด้านเคมี

- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้ Hand Refractometer
- ปริมาณโปรตีน เส้นใยหยาบ ตามวิธี AACC (2000) ไขมัน โดยวิธี Soxtec Method คาร์โบไฮเดรตทั้งหมดโดยวิธี AOAC (2006) ซึ่งแสดงในภาคผนวก ข

2.2 การศึกษาผลของสตาร์ชมันสำปะหลัง, แคปปา-คาร์ราจีแนน และซูโครสต่อสมบัติต่างๆ ของพุดดิ้งข้าวโพด

นำผลการศึกษาที่ได้จากแบบสอบถามในข้อ 1 มาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ทำการคัดเลือกสูตรพื้นฐานโดยพิจารณาจากส่วนประกอบที่ใกล้เคียงกับส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งนมที่ดัดแปลงสูตรจากชาดาและแสงโสม (2545) ดังตารางที่ 7 ทำการปรับสูตรดังกล่าวโดยใช้น้ำข้าวโพดหวานทดแทนนมโค สตาร์ชมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนน ทดแทนแป้งข้าวโพดและเจลาตินในสูตร ก่อนทำการปรับปริมาณให้ได้เนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐาน ดังตารางที่ 8 จากการศึกษาคูณภาพด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งในเบื้องต้นพบว่า ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดที่เหมาะสมในการนำมาผลิตอยู่ที่ระดับร้อยละ 2 และ ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จึงทำการวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล ศึกษาปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ 2 ระดับ คือ ร้อยละ 2 และ 3 อัตราส่วนของสตาร์ชมันสำปะหลัง (TS) ต่อแคปปา-คาร์ราจีแนน (kCAR) 3 ระดับ คือ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ในน้ำข้าวโพด ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทำการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (ANOVA) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test เลือกผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคะแนนความชอบของผู้ทดสอบมากที่สุดเพื่อคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุด

ตารางที่ 7 สูตรพื้นฐานผลิตภัณฑ์พุดดิ้งนม

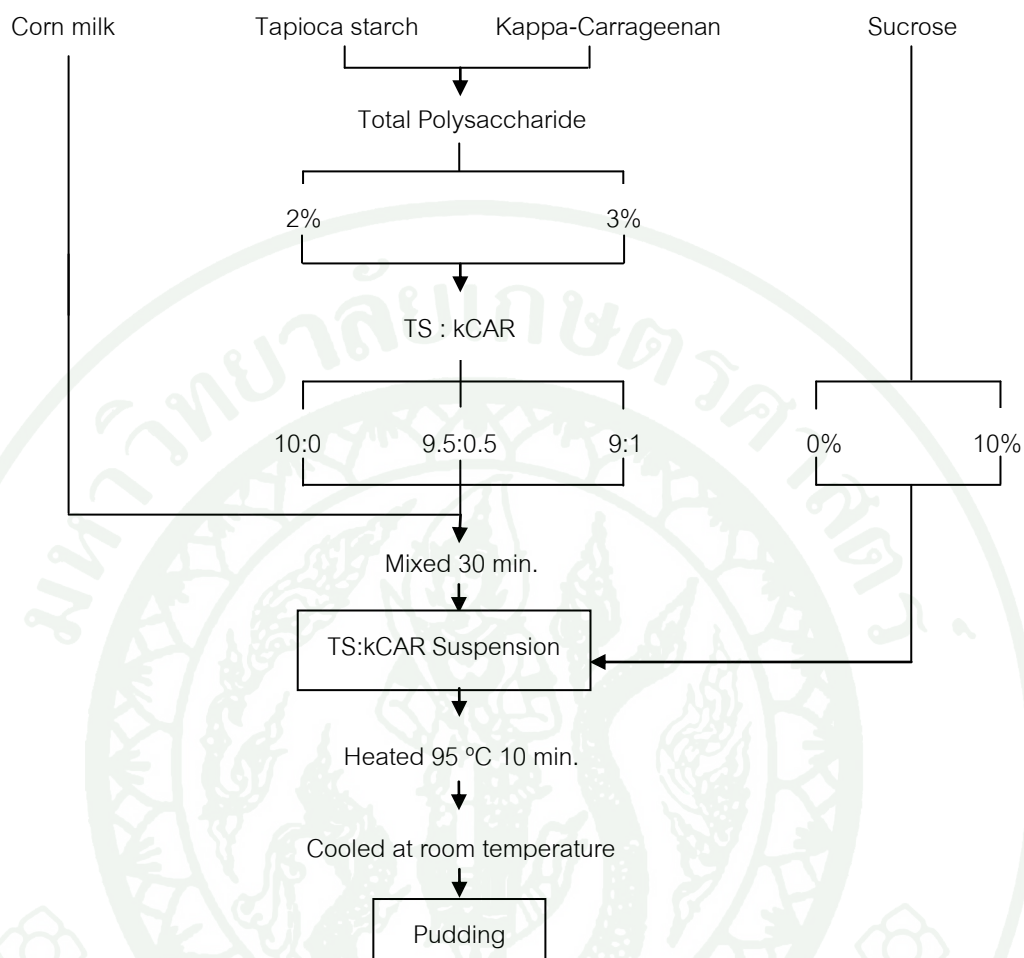
ส่วนประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
นมโค	87.5
แป้งข้าวโพด	1.7
เจลาติน	0.7
ชูโครส	10.0
เกลือ	0.1

ที่มา: ซาดาและแสงโสม (2545)

ตารางที่ 8 สูตรผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
น้ำข้าวโพดหวาน	87.9
สตาร์ชมันสำปะหลัง	1.8
แคปปา-คาร์ราจีแนน	0.2
ชูโครส	10.0
เกลือ	0.1

ทำการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัส โดยกระจายส่วนผสมแห้ง ได้แก่ สตาร์ชมันสำปะหลัง หรือสตาร์ชมันสำปะหลังผสมคาร์ราจีแนนลงในน้ำข้าวโพดหวานโดยให้มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 2 หรือ 3 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนที่ต่างกัน (สตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนน เท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1) ทั้งให้แคปปา-คาร์ราจีแนน และสตาร์ชมันสำปะหลัง กระจายตัวโดยการกวนผสมต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง เติมชูโครสร้อยละ 0 หรือ 10 โดยน้ำหนัก ก่อนทำการให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อนและกวนผสมต่อเนื่องจนกระทั่งอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที ปลดปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (0-4 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1 คืน จะได้ตัวอย่างสำหรับนำไปทำการวิเคราะห์ต่อไป ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 วิธีการเตรียมตัวอย่างพุดดิ้งข้าวโพด

1) สมบัติเพสตั้งของตัวอย่างผสม เตรียมตัวอย่างสตาร์ชมันสำปะหลังผสมแคปปา-คาร์ราจีแนนลงในน้ำข้าวโพดให้มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ในอัตราส่วนที่ต่างกัน (สตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนน เท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1) เตรียมตัวอย่างใน RVA can ปิดด้วยพาราฟิล์ม โดยให้น้ำหนักสุดท้ายทั้งหมดเท่ากับ 28 กรัม ทิ้งให้กระจายตัวเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง ทำการหมุนใบกวนพลาสติกใน RVA can ต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 15-30 วินาที ก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์ค่าเพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของสตาร์ช วิเคราะห์สมบัติเพสตั้งของตัวอย่างผสมโดยใช้ Rapid Visco-Analyser (Model RVA-4, Newport Scientific Pty, Ltd.) ทำการวิเคราะห์โดยใช้ Profile standard 2 มี อุณหภูมิเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที อัตราการให้ความร้อนและทำให้

เย็นของตัวอย่างอยู่ที่ 6 องศาเซลเซียสต่อหน้าที่ คงอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 5 นาที และ ลดลงไปที่ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการวิเคราะห์ค่าทั้งหมดรวม 23 นาที ความเร็วรอบในการหมุนของใบกวนคือ 960 รอบต่อนาที ในช่วง 10 วินาทีแรกและครั้งที่ 160 รอบต่อนาทีในเวลาต่อมา (Anonymous, 1995)

2) ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Spectrophotometer (CM-3500d, Minolta, Japan) โดยวัดค่าแสงสะท้อน (Reflectance) โดยเตรียมตัวอย่างผสมประมาณ 5 กรัม ลงใน Petri dish สำหรับทำการวิเคราะห์ค่าสี ใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 มุมผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำวัด 5 ครั้ง ค่าที่วัดได้แก่ ค่าสี L^* a^* b^* โดยค่า L^* บ่งบอกถึงค่าความสว่างของตัวอย่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 (มืด-สว่าง) ค่า a^* บ่งบอกค่าความเป็นสีเขียวและสีแดง โดยค่าที่เป็นลบหมายถึง สีเขียว และค่าที่เป็นบวกหมายถึง สีแดง ค่า b^* บ่งบอกค่าความเป็นสีน้ำเงินและเหลือง โดยค่าที่เป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน และค่าที่เป็นบวก หมายถึง สีเหลือง (ดัดแปลงจากวิธีการของ Martinez-Cervera *et al.*, 2012)

3) ค่าความแข็งของเจล (ดัดแปลงจากวิธีของ Nunes *et al.*, 2003 และ Yoshimura *et al.*, 1997) โดยเตรียมตัวอย่างตามวิธีในภาพที่ 7 เทตัวอย่างขณะร้อนลงในภาชนะบรรจุทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร สูงประมาณ 30 มิลลิเมตร ทิ้งให้เย็นแล้ว จึงปิดฝาให้สนิท นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิตู้เย็น (0-4 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1 คืนก่อนนำไปทดสอบโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-500, Lloyd, UK) ด้วยวิธีทดสอบแบบเจาะ (Penetration) โดยใช้หัววิเคราะห์ทรงกระบอก (cylinder probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร กำหนดระยะทางที่กดเท่ากับร้อยละ 30 ของความสูงตัวอย่าง ใช้ความเร็วของหัววิเคราะห์ขณะกดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที

4) ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่าง (ดัดแปลงจากวิธีของ Verbeken *et al.*, 2006) โดยเตรียมตัวอย่างตามวิธีในภาพที่ 7 บรรจุตัวอย่างขณะร้อนลงในหลอดเซนตริฟิวก์ ปล่อยให้เกิดเจลในบรรจุภัณฑ์ ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (0-4 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 1, 4, 7 และ 10 วัน การวัดปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างทำโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง บันทึกค่าที่แน่นอนก่อน แล้วนำตัวอย่างไปทำการหมุนเหวี่ยงที่ 6300 g เป็นเวลา 30 นาที ทำการดูดส่วนของน้ำที่แยกออกมาและชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ รายงานในรูปร้อยละของน้ำที่แยกออกมา (syneresis)

5) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ใช้แผนการทดลองแบบ 2x3 factorial in CRD โดยวิธีการ 9-Points Hedonic scale ในคุณลักษณะต่างๆ เช่น สีเหลือง กลิ่นรสข้าวโพด รสหวาน ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความนุ่ม ความชอบโดยรวม และคะแนนความพอดี (Just About Right) โดยเตรียมตัวอย่างในภาชนะมีฝาปิดขนาดประมาณ 30 กรัม และเสิร์ฟขณะเย็น ประมาณ 8-12 องศาเซลเซียส ติดหมายเลขสุ่มสามหลักบนถ้วยตัวอย่างก่อนจัดเสิร์ฟตามตารางสุ่มสมบูรณ์ ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ทำการคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุด (ดัดแปลงจากวิธีการของ Arcia *et al.*, 2012)

2.3 การศึกษาผลของซูโครสและพอลิเดกซ์โทรสต่อพุดังข้าวโพด

ทำการทดแทนปริมาณซูโครสในสูตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3 ด้วยซูโครโลส และใช้พอลิเดกซ์โทรสเป็นสารเพิ่มปริมาณ เนื่องจากซูโครโลสที่ใช้มีความหวานมากกว่าซูโครส 600 เท่า ปริมาณซูโครโลสที่ใช้จึงเท่ากับร้อยละของน้ำตาลทรายในสูตรหารด้วย 600 และใช้พอลิเดกซ์โทรสเป็นสารทดแทนปริมาณ ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก โดยทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ดังนี้

- 1) สมบัติเพสตั้ง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (RVA) ตามวิธีในข้อ 2.2
- 2) ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (CM-3500d, Minolta, Japan) ตามวิธีในข้อ 2.2 โดยพิจารณา L^* a^* b^* Chroma และ Hue
- 3) วัดค่าความแข็งของเจล ตามวิธีการในข้อ 2.2
- 4) ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่าง (syneresis) ตามวิธีในข้อ 2.2
- 5) คุณภาพ ทางประสาทสัมผัส ทำการทดสอบความชอบด้วย วิธี 9-Points Hedonic scale ตามวิธีในข้อ 2.2

3. การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดที่พัฒนาได้ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

3.1 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดที่พัฒนาได้

ทำการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดที่เตรียมและเก็บไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็น (0-4 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1 ค่ำ มาทำการวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้

1) ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (CM-3500d, Minolta, Japan) ตามวิธีในข้อ 2.2 โดยพิจารณา L^* a^* b^* Chroma และ Hue

2) วัดค่าความแข็งของเจล ตามวิธีการในข้อ 2.2

3) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ โปรตีน และ เส้นใยหยาบ ตามวิธีการของ AACC (2000) ไขมัน ด้วยวิธี Soxtec Method ความชื้นและเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (2006) ดังที่แสดงในภาคผนวก ค

3.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (0-4 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 22 วัน โดยทำการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบทุก 3 วัน คือ ในวันที่ 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19 และ 22 ประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยทดสอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด BAM (2001) และปริมาณยีสต์และรา ตามวิธีการของ AOAC (2006) ดังแสดงในภาคผนวก ค

2) ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (CM-3500d, Minolta, Japan) ตามวิธีในข้อ 2.2 โดยพิจารณา L^* a^* b^* Chroma และ Hue

3) วัดค่าความแข็งของเจล ตามวิธีการในข้อ 2.2

4) ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่าง (syneresis) ตามวิธีในข้อ 2.2

5) คุณภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อความชอบโดยวิธีการ 9-Points Hedonic scale ในคุณลักษณะต่างๆ เช่น สีเหลือง กลิ่นรสข้าวโพด รสหวาน ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้านความนุ่ม ความชอบโดยรวม การพบสิ่งผิดปกติ และการยอมรับ โดยใช้ผลิตภัณฑ์ในช่วงการเก็บรักษาที่ผ่านเกณฑ์การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์และปริมาณยีสต์และราทั้งหมดเท่านั้น โดยเตรียมตัวอย่างในภาชนะมีฝาปิดขนาดประมาณ 30 กรัม และเสิร์ฟขณะเย็น ประมาณ 8-12 องศาเซลเซียส ติดหมายเลขสุ่มสามหลักบนถ้วยตัวอย่างก่อนจัดเสิร์ฟตามตารางสุ่มสมบูรณ์ ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน (ดัดแปลงจากวิธีการของ Arcia *et al.*, 2012)

4. การศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

ทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่ได้รับการพัฒนาแล้วกับผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน โดยวิธี Central location test (CLT) และให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างพร้อมตอบแบบสอบถาม ประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9-Points Hedonic Scale (คะแนน 1 ไม่ชอบมากที่สุด ถึง คะแนน 9 ชอบมากที่สุด) ในปัจจัยด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติโดยรวม เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พร้อมตอบแบบสอบถามซึ่งแสดงในภาคผนวก ก ณ บริเวณโรงอาหารกลาง 1 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 20-21 มกราคม 2557 (ดัดแปลงจากวิธีการของ Arcia *et al.*, 2012)

ผลและวิจารณ์

จากการดำเนินงานสำรวจผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายอยู่ก่อนแล้วในท้องตลาด ภายในเขต กรุงเทพมหานคร เพื่อศึกษาถึงโอกาสทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ และสำรวจถึงความต้องการของผู้บริโภค ทำให้ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. พฤติกรรมความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล

1.1 ผลการสำรวจผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลที่จำหน่ายในท้องตลาด

จากการสำรวจผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด เกี่ยวกับตราสินค้า ขนาดบรรจุภัณฑ์ที่มีจำหน่าย ราคาต่อบรรจุภัณฑ์ บริษัทที่ผลิตและบริษัทจัดจำหน่าย ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2555 ถึง 30 พฤศจิกายน 2555 บริเวณห้างสรรพสินค้าและร้านค้าทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า มีผลิตภัณฑ์จำหน่าย 9 ยี่ห้อ โดยส่วนใหญ่บรรจุในถ้วยพลาสติกแบ่งได้เป็น 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ (200-420 กรัม) ราคาประมาณ 50-120 บาท ขนาดกลาง (55-100 กรัม) และขนาดเล็ก (30-35 กรัม บรรจุห่อละ 15-20 ถ้วย) ราคาประมาณ 15-40 บาท เนื้อสัมผัสมีหลากหลายรูปแบบ คือ ตั้งแต่เนื้อสัมผัสนุ่มจนถึงเป็นเจลแข็ง คล้ายวุ้น มีนมเป็นส่วนประกอบตั้งแต่ร้อยละ 1.15-84 น้ำตาลร้อยละ 8-22 มีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ เช่น คาร์ราจีแนน แชนแทนกัม โลคัสปีนกัม ที่ระดับร้อยละ 0.5-1.5 และใช้สตาร์ชตัดแปรรูปหรือสตาร์ชข้าวโพดเป็นสารให้ความคงตัว สินค้าส่วนใหญ่เป็นสินค้านำเข้ามาจัดจำหน่ายจากต่างประเทศ สถานที่จัดจำหน่ายมักจะอยู่ในแหล่งชุมชนและห้างสรรพสินค้าทั่วไป ดังรายละเอียดใน ตารางผนวก ก1

1.2 ผลการศึกษาความต้องการของผู้บริโภคด้วยวิธีการอภิปรายกลุ่ม (Focus group discussion)

จากการอภิปรายกลุ่มเพื่อทราบพฤติกรรมและทัศนคติการบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล พบว่า ลักษณะของขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลที่ผู้ร่วมการอภิปรายกลุ่มเคยบริโภคคือ เยลลี่หรือพุดดิ้ง โดยส่วนใหญ่นิยมบริโภคขนมหวานที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นแบบเจลที่มีความยืดหยุ่น และมีผู้ร่วมการอภิปรายกลุ่มเพียงส่วนน้อยที่เคยรับประทานขนมหวาน

ที่มีเนื้อสัมผัสแบบนุ่มและเหลว โดยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีรสชาติของผลไม้ นม หรือรสชาติปรุงแต่ง เช่น ช็อคโกแลต ชาเขียว เป็นต้นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการเลือกซื้อคือ รสชาติ ราคา ลักษณะเนื้อสัมผัส ความสะดวกในการหาซื้อ รวมถึงความสวยงามของบรรจุภัณฑ์ และความสะดวกในการรับประทาน ในการเลือกซื้อแต่ละครั้งผู้ร่วมการอภิปรายกลุ่มนิยมซื้อผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดประมาณ 80-100 กรัม และในราคาไม่เกิน 30-40 บาท ผู้ร่วมการอภิปรายส่วนใหญ่มีพฤติกรรมในการบริโภคขนมหวานโดยตรงจากภาชนะบรรจุแบบถ้วยบีบหรือใช้ช้อนตัก และวิธีในการบริโภคที่ผู้ร่วมการอภิปรายกลุ่มให้ความสนใจในด้านความสะดวก คือ วิธีการดูด มีผู้ร่วมการอภิปรายเพียงบางส่วนที่ใช้วิธีการเปลี่ยนจากภาชนะบรรจุใส่ภาชนะอื่นก่อนนำมารับประทาน สถานที่ที่นิยมซื้อผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ร้านสะดวกซื้อ ร้านเบเกอรี่ ตลาดนัด ซูเปอร์มาร์เก็ตและไฮเปอร์มาร์เก็ต ปัญหาที่พบ ได้แก่ ความยากในการเปิดบรรจุภัณฑ์ ปัญหาการหกเลอะเทอะระหว่างการรับประทาน รสชาติที่หวานหรือปริมาณน้ำตาลที่มากเกินไปซึ่งให้ความรู้สึกที่ไม่ดีต่อสุขภาพ กลิ่นรสที่เปลี่ยนเนื่องจากภาชนะบรรจุปนเปื้อน ราคาที่แพงเกินไป และการเสื่อมเสียที่เร็วกว่าวันหมดอายุที่กำหนดในฉลาก

ด้านแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้ร่วมการอภิปรายกลุ่มส่วนใหญ่ให้ความสนใจในปัญหาการแพ้นมโค และผลิตภัณฑ์ที่ครอบคลุมถึงกลุ่มผู้บริโภคมังสวิรัติ โดยสนใจในรสชาติของผลไม้หรือรสชาติของธัญพืช และให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติหวานน้อย มีเนื้อสัมผัสที่หลากหลาย เช่น เนื้อสาคุ วุ้นมะพร้าว เนื้อธัญพืช รวมถึงการเสริมสารอาหารอื่นๆ เช่น วิตามิน คอลลาเจนหรือใยอาหาร นอกจากนี้ยังมีผู้ร่วมการอภิปรายบางคนที่สนใจในผลิตภัณฑ์ประเภทปราศจากไขมันหรือไขมันต่ำ เนื้อสัมผัสควรจะมีเหนียว คงตัวดี ไม่หกเลอะเทอะ หรือไหลออกจากช้อนตักได้ง่าย ในด้านการใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาล พบว่า ผู้ร่วมการอภิปรายกลุ่มส่วนใหญ่ให้ความสนใจเนื่องจากเชื่อว่าช่วยลดการบริโภคพลังงานและเชื่อว่ามีดีต่อสุขภาพ ขณะที่ยังมีความกังวลเกี่ยวกับรสชาติที่ตกค้างในปากและผลกระทบต่อสุขภาพจากการใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลบางชนิด ผู้ร่วมการอภิปรายกลุ่มให้ความสนใจในรูปแบบภาชนะบรรจุที่เป็นถ้วยพลาสติกใสที่สามารถดื่มรับประทานได้จนหมดภายในครั้งเดียว หรือในรูปของบรรจุภัณฑ์แบบซองดูด มีฉลากและคุณค่าทางโภชนาการ มีรูปภาพประกอบที่ชัดเจนสอดคล้องกับรสชาติของผลิตภัณฑ์ และไม่ใช้สารกันเสีย ข้อมูลที่ได้จากการอภิปรายถูกนำมาพิจารณาเพื่อออกแบบแบบสอบถาม (ภาคผนวก ก) ต่อไป

1.3 ผลการศึกษาค้นหาความต้องการของผู้บริโภคโดยวิธีการใช้แบบสอบถาม

1.3.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์

จากการสำรวจศึกษาค้นหาความต้องการของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่รู้จักและเคยรับประทานผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาก่อน จำนวน 138 คน พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 73 และเป็นเพศชายร้อยละ 27 ผู้ตอบแบบสอบถามมีอายุอยู่ในช่วง 15-24 ปี และ 25-34 ปี มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 40 การศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 68 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอาชีพนักเรียน/นิสิต/นักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 44 รองลงมาคือ พนักงานบริษัทเอกชน คิดเป็นร้อยละ 25 และมีรายได้ต่อเดือนส่วนใหญ่คือ 10,001-20,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 34 รองลงมาคือ 20,001-30,000 บาท และมีรายได้น้อยกว่า 10,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 22 และ 21 ตามลำดับ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		จำนวน	ความถี่ (ร้อยละ)
เพศ	ชาย	37	27
	หญิง	101	73
อายุ	น้อยกว่า 15 ปี	6	4
	15-24 ปี	55	40
	25-34 ปี	55	40
	35 – 44 ปี	14	10
	45 ปีขึ้นไป	8	6
ระดับการศึกษาสูงสุด	ต่ำกว่าปริญญาตรี	22	16
	ปริญญาตรี	94	68
	สูงกว่าปริญญาตรี	22	16

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		จำนวน	ความถี่ (ร้อยละ)
อาชีพ	นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา	60	44
	ธุรกิจส่วนตัว / ค้าขาย	18	13
	ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ	18	13
	พนักงานบริษัทเอกชน	35	25
	แม่บ้าน/พ่อบ้าน	1	1
	อื่นๆ	6	4
รายได้ต่อเดือน	ต่ำกว่า 10,000 บาท	29	21
	10,001-20,000 บาท	47	34
	20,001-30,000 บาท	31	22
	30,001-40,000 บาท	20	15
	มากกว่า 40,001 บาท	11	8

1.3.2 ข้อมูลพฤติกรรมของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล

จากการสำรวจพฤติกรรมของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายพบว่า โอกาสในการบริโภคของผู้บริโภคส่วนใหญ่คือ ช่วงเวลาดูโทรทัศน์หรือฟังเพลงมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 59 รองลงมาคือ ช่วงเวลาอาหารว่างและขณะเล่นอินเทอร์เน็ตหรือใช้คอมพิวเตอร์ร้อยละ 54 และ 44 ตามลำดับ วิธีการที่ชอบใช้ในการรับประทานคือ การใช้ช้อนตักคิดเป็นร้อยละ 46 รองลงมาคือ การดูดและวิธีการบีบคิดเป็นร้อยละ 18 เท่ากัน ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบในการบริโภคคือ บรรจุก้นที่เปื่อยยาก คิดเป็นร้อยละ 75 รองลงมาคือ การหกเลอะเทอะระหว่างบริโภคคิดเป็นร้อยละ 57 และมีรสชาติที่หวานเกินไปคิดเป็นร้อยละ 40 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 10

นอกจากนี้ ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมซื้อผลิตภัณฑ์จากร้านสะดวกซื้อมากที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละ 84 รองลงมาคือ ไฮเปอร์มาร์เก็ตและซูเปอร์มาร์เก็ต มีค่าเท่ากันคือ คิดเป็นร้อยละ 51

ตารางที่ 10 ข้อมูลพฤติกรรมของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล

ข้อมูลสำรวจ	จำนวน	ความถี่จากจำนวนคำตอบ (ร้อยละ)
โอกาสในการรับประทานผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
เดินทาง	53	38
อ่านหนังสือ	54	39
ทำงาน	28	20
เล่นเกมส์	38	28
ดูโทรทัศน์หรือฟังเพลง	81	59
สังสรรค์กับเพื่อนฝูงหรือครอบครัว	36	26
เวลาอาหารว่าง	75	54
หลังมื้ออาหาร	46	33
ขณะใช้อินเตอร์เน็ตหรือคอมพิวเตอร์	61	44
อื่นๆ	3	2
วิธีการที่ชอบที่สุดในการบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล		
ทานจากถ้วยโดยใช้ช้อนตัก	63	46
ทานจากถ้วยโดยวิธีบีบ	25	18
ทานโดยวิธีการดูด	25	18
ทานลักษณะเป็นชิ้น ขนาดพอดีคำ	20	14
ถ่ายใส่ถ้วยหรือจัดใส่จาน	4	3
อื่นๆ	1	1
ปัญหาที่พบในการรับประทานผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
ไม่เคยพบปัญหา	5	4
บรรจุภัณฑ์เปิดยาก	103	75
หกละอะเทอะระหว่างรับประทาน	78	57
รสชาติหวานเกินไป	55	40
รู้สึกว่าเป็นสิ่งที่ไม่ดีต่อสุขภาพ	43	31
มีกลิ่นรสที่ไม่เป็นธรรมชาติ	34	25
มีกลิ่นรสแปลกปลอม	34	25

จากการวิเคราะห์ทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาตัดสินใจเลือกซื้อพุดดิ้งด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักโดยให้คะแนนความสำคัญจาก 1-5 (1 คือ สำคัญน้อยที่สุด และ 5 คือ สำคัญมากที่สุด) โดยมีหลักการคำนวณค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก และการกำหนดระดับความสำคัญ (Gelman, 2007) คือ

การคำนวณค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก

$$\text{ค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก} = \frac{\text{ผลรวมของ (น้ำหนักความสำคัญ} \times \text{ความถี่)}}{\text{ผลรวมของความถี่}}$$

การกำหนดระดับความสำคัญ

$$\begin{aligned} \text{ช่วงระดับคะแนนเฉลี่ย} &= \frac{(\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด})}{\text{จำนวนชั้น}} \\ &= (5-1)/5 \\ &= 0.8 \end{aligned}$$

คะแนนเฉลี่ยช่วง

1.00 – 1.80	หมายถึง	มีความสำคัญน้อยที่สุด
1.81 – 2.60	หมายถึง	มีความสำคัญน้อย
2.61 – 3.40	หมายถึง	มีความสำคัญปานกลาง
3.41 – 4.20	หมายถึง	มีความสำคัญมาก
4.21 – 5.00	หมายถึง	มีความสำคัญมากที่สุด

นำค่าที่คำนวณได้มาแบ่งระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆในการรับประทานผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลดังที่แสดงในตารางที่ 11 จากข้อมูลในตารางพบว่า ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส ความสะอาดของผลิตภัณฑ์ ความสะดวกของบรรจุภัณฑ์ และราคาที่เหมาะสมต่อคุณภาพ โดยเป็นปัจจัยที่ได้รับคะแนนความสำคัญเฉลี่ยสูงสุด

ตารางที่ 11 คะแนนและระดับความสำคัญต่อบัณฑิตต่างๆ ในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์

ปัจจัย	คะแนนความสำคัญเฉลี่ย	ความสำคัญ
สีของผลิตภัณฑ์	3.59	มาก
กลิ่นของผลิตภัณฑ์	3.59	มาก
รสชาติ	4.62	มากที่สุด
เนื้อสัมผัส	4.28	มากที่สุด
ความหลากหลายของเนื้อสัมผัส	3.78	มาก
การใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ	4.08	มาก
ความสะอาดของผลิตภัณฑ์	4.73	มากที่สุด
ปริมาณไขมันต่ำ	3.83	มาก
ปริมาณน้ำตาลต่ำ	3.86	มาก
มีการเสริมคุณค่าทางอาหาร	3.67	มาก
ไม่ใช้วัตถุกันเสีย	3.93	มาก
บรรจุภัณฑ์สะดวกต่อการบริโภค	4.24	มากที่สุด
บรรจุภัณฑ์มีความน่าสนใจ	4.16	มาก
บรรจุภัณฑ์ใส มองเห็นเนื้อผลิตภัณฑ์	4.11	มาก
อายุการเก็บรักษานาน	3.36	ปานกลาง
สามารถเก็บรักษาได้โดยไม่ต้องแช่เย็น	3.46	มาก
ฉลาก	3.70	มาก
ชื่อเสียงและภาพลักษณ์ของยี่ห้อสินค้า	3.85	มาก
ความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์	3.91	มาก
ความสะดวกในการหาซื้อ	4.07	มาก
ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ	4.35	มากที่สุด
เครื่องหมายรับรองคุณภาพ	4.18	มาก

จากการนำข้อมูลที่ได้มาทำการทดสอบความสำคัญของปัจจัยต่างๆ และปัจจัยแฝงโดยใช้วิธี Factor Analysis เริ่มจากตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรโดยใช้สถิติ KMO (Kaiser-Meyer Olkin Measure of Sampling Adequacy) และ Bartlett's test of Sphericity เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้เทคนิค Factor Analysis เมื่อทดสอบสมมติฐานด้วย Bartlett's test of Sphericity พบว่าตัวแปรแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กันจึงสามารถใช้เทคนิค Factor Analysis ได้ จากนั้นทำการสกัดองค์ประกอบ (Factor Extraction) โดยวิธีเน้นองค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis) ค่าไอเกน (Eigen Value) ค่าร้อยละของความแปรปรวนและร้อยละของความแปรปรวนสะสม ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 จำนวนองค์ประกอบ ค่าไอเกน ร้อยละของความแปรปรวน และร้อยละของความแปรปรวนสะสมของระดับความสำคัญต่อปัจจัยต่างๆ ในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์

องค์ประกอบที่	ค่าไอเกน (Eigen Value)	ร้อยละของ ความแปรปรวน	ร้อยละของ ความแปรปรวนสะสม
1	6.925	31.476	31.476
2	1.941	8.823	40.298
3	1.542	7.008	47.306
4	1.318	5.989	53.295
5	1.220	5.547	58.842
6	1.037	4.711	63.554

เมื่อพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบที่มีค่าไอเกนมากกว่า 1 จึงได้ 6 องค์ประกอบ โดยสามารถอธิบายความแปรปรวนสะสมได้ร้อยละ 4 ของความแปรปรวนทั้งหมด และเพื่อให้แปลความหมายได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงทำการหมุนแกนองค์ประกอบแบบออร์โธโกนอล (Orthogonal Rotation) ด้วยวิธีแวนิแมกซ์ (Varimax) และพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อจัดกลุ่มตัวแปรแต่ละตัวว่าควรอยู่ในองค์ประกอบใด โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่ามากกว่า 0.40 ขึ้นไป (ไม่พิจารณาค่าความเป็นจำนวนบวกหรือลบ) ได้องค์ประกอบดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปัจจัยและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หลังหมุนแกน (Rotated Component Matrix)

ปัจจัย	องค์ประกอบที่					
	1	2	3	4	5	6
ปริมาณไขมันต่ำ	0.861					
ปริมาณน้ำตาลต่ำ	0.850					
การใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ	0.726			0.246		
ไม่ใช่วัตถุดิบเสีย	0.719	0.265	0.228			
มีการเสริมคุณค่าทางอาหาร	0.701	0.203	0.254			
ความหลากหลายของเนื้อสัมผัส	0.441		0.377		0.329	
ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ		0.775				
ความสะดวกในการหาซื้อ		0.765				
บรรจุภัณฑ์ที่มีความน่าสนใจ		0.664	0.230			
เครื่องหมายรับรองคุณภาพ	0.313	0.605	0.231			
ความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์		0.537			0.378	0.363
บรรจุภัณฑ์สะดวกต่อการบริโภค	0.362	0.516	0.202			
อายุการเก็บรักษานาน	0.279	0.236	0.740			
สามารถเก็บรักษาได้โดยไม่ต้องแช่เย็น	0.278	0.227	0.683			0.213
บรรจุภัณฑ์ใส มองเห็นเนื้อผลิตภัณฑ์		0.274	0.615	0.261		
รสชาติ				0.740	0.234	
เนื้อสัมผัส			0.388	0.679		
ความสะดวกของผลิตภัณฑ์	0.317	0.298		0.632	-0.223	
กลิ่นของผลิตภัณฑ์		0.240			0.786	-0.203
สีของผลิตภัณฑ์				0.390	0.615	0.233
ชื่อเสียงและภาพลักษณ์ของยี่ห้อสินค้า		0.210				0.847
ฉลาก	0.355	0.300	0.367	0.223		0.448

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบแต่ละด้าน พบว่า ด้านที่มีระดับความสำคัญมาก คือ องค์ประกอบที่ 1 มีค่าร้อยละของความแปรปรวนเท่ากับ 31.476 โดยตัวแปรปริมาณไขมันต่ำ (คะแนนความสำคัญเฉลี่ย = 3.83) ปริมาณน้ำตาลต่ำ (คะแนนความสำคัญเฉลี่ย = 3.86) การใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ (คะแนนความสำคัญเฉลี่ย = 4.08) ไม่ใช่วัตถุดิบเสีย (คะแนนความสำคัญเฉลี่ย = 3.93) มีการเสริมคุณค่าทางอาหาร (คะแนนความสำคัญเฉลี่ย = 3.67) และความ

หลากหลายของเนื้อสัมผัส (คะแนนความสำคัญเฉลี่ย = 3.78) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอยู่ในกลุ่มที่สูงที่สุดจึงจัดเป็นปัจจัยแฝงที่ควรให้ความสำคัญเมื่อทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

1.3.3 ข้อมูลความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล พบว่า ผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่ไม่มีส่วนผสมจากสัตว์ และนมโค รสชาติข้าวโพดหวานร้อยละ 90 และ สนใจการใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ร้อยละ 88 และเห็นว่าควรมีการเติมน้ำข้าวโพดหวานร้อยละ 89 (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์

ข้อมูลสำรวจ	จำนวน	ความถี่ (ร้อยละ)
การพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่ไม่มีส่วนผสมจากสัตว์ และนมโคโดยมีรสชาติข้าวโพดหวาน		
สนใจ	124	90
ไม่สนใจ	14	10
การใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์		
สนใจ	121	88
ไม่สนใจ	17	12
การเติมน้ำข้าวโพดลงในผลิตภัณฑ์		
ไม่ต้องการเติม	15	11
ควรมีการเติมน้ำข้าวโพดหวาน	123	89
อื่นๆ	0	0

จากการพิจารณาผลสำรวจพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลโดยวิธีการใช้แบบสอบถาม ทำให้ได้แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามความสนใจของผู้บริโภคในปัจจุบัน พบว่า ผู้บริโภคมีแนวโน้มสนใจใน

ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาจึงควรมีแนวทางดังต่อไปนี้ คือ เป็น ผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่ไม่มีส่วนผสมจากสัตว์และนมโค มีรสชาติข้าวโพดหวาน มีปริมาณไขมันต่ำ น้ำตาลต่ำ โดยอาจใช้สารให้ความหวานเพื่อทดแทนการใช้ชูโครส ควรใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ไม่ใช้วัตถุกันเสีย มีการเสริมคุณค่าทางอาหาร และ มีความหลากหลายของเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ยัง ควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาด้าน รสชาติ เนื้อสัมผัส ความสะอาดของผลิตภัณฑ์ ความ สะดวกของบรรจุภัณฑ์ และราคาที่เหมาะสมต่อคุณภาพ ปัจจัยดังกล่าวจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ควร พิจารณาเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรในขั้นตอนต่อไป

2. ผลการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ขนมหวานโดยใช้สตาร์ชมันสำปะหลัง แคปปา-คาร์รา- จีแนนและสารให้ความหวาน

ในการทดลองในขั้นที่ 2 ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของวัตถุดิบได้แก่ สตาร์ชมันสำปะหลัง แคปปา-คาร์ราจีแนน และสารให้ความหวาน เช่น ชูโครส ชูคราโลสและปริมาณพอลิเดกซ์โทรสต่อ คุณภาพของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งน้ำข้าวโพดหวาน โดยทำการแสดงผลการศึกษาออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.1 คุณภาพของเมล็ดและน้ำข้าวโพดหวาน

เมล็ดและน้ำข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 มีเมล็ดสีเหลืองอ่อน ได้ผลผลิตเมล็ด ข้าวโพดหวานที่ตัดแล้วร้อยละ 37.9 ± 3.6 จากการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี พบว่า น้ำข้าวโพดหวานที่ได้มีลักษณะสีเหลืองอ่อน ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 1.53, 0.53, 4.17 และ 4 องศาบริกซ์ตามลำดับ (ตาราง ที่ 15)

จากตารางที่ 15 พบว่า คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำข้าวโพดหวานมีค่าแตกต่างจากเมล็ดข้าวโพดหวาน อาจเนื่องมาจากปริมาณและขนาดของอนุภาค และ/หรือความสามารถในการละลายน้ำขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวาน จากสมมติฐานเบื้องต้น ค่าคุณภาพทางเคมีของน้ำข้าวโพดหวาน เช่น ปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด อาจส่งผลต่อค่าความหนืด สมบัติเพสติ้ง ค่าความแข็ง หรือค่าสี ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำข้าวโพดหวานเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากการเกิดเจลาทีไนซ์ของเม็ดสตาร์ชในน้ำข้าวโพด ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 62-72 องศาเซลเซียส (กล้าณรงค์, 2546)

ตารางที่ 15 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเมล็ดและน้ำข้าวโพดหวาน

ค่าคุณภาพ		เมล็ดข้าวโพดหวาน	น้ำข้าวโพดหวาน
ค่าคุณภาพทางกายภาพ			
ค่าสี	L*	72.34±0.27	74.71±0.40
	a*	8.92±0.16	1.59±0.13
	b*	41.15±1.10	47.22±1.18
ค่าคุณภาพทางเคมี			
ความชื้น (ร้อยละ)		76.37 ¹	-
ของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)		-	6.34±0.38
ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)		15	4±1
โปรตีน (ร้อยละ)		3.78 ¹	1.53±0.20
ไขมัน (ร้อยละ)		1.28 ¹	0.53±0.07
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)		17.84 ¹	4.17±0.51

ที่มา: ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ (2555)

2.2 ผลของซูโครสต่อสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปπα-คาร์ราจีแนนในน้ำข้าวโพดหวาน

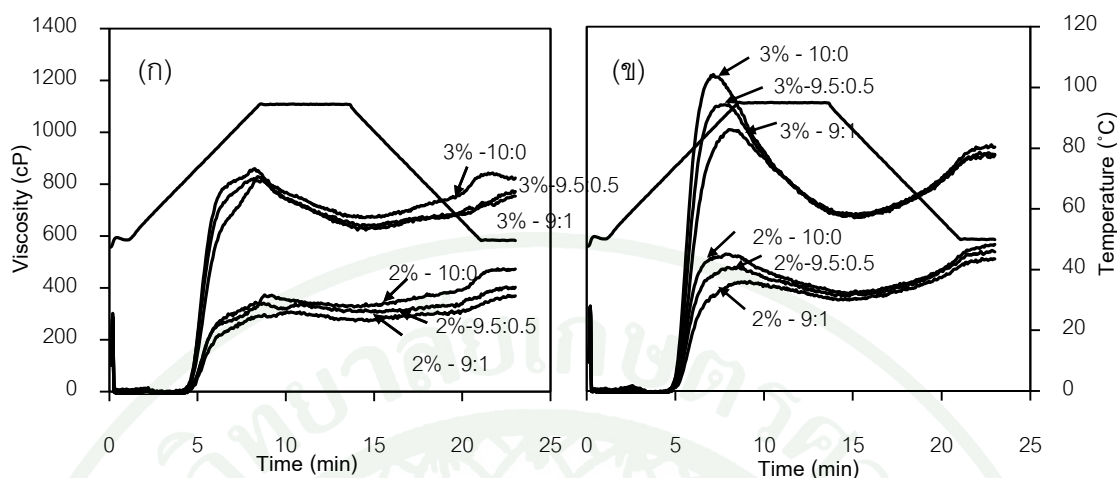
จากแบบสอบถามในข้อ 1.2 ได้แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้ คือ เป็นผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่ไม่มีส่วนผสมจากสัตว์และนมโค มีรสชาติข้าวโพดหวาน มีปริมาณไขมันและน้ำตาลต่ำโดยอาจใช้สารให้ความหวานเพื่อทดแทนการใช้ซูโครส ควรใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ไม่ใช้วัตถุกันเสีย มีการเสริมคุณค่าทางอาหาร และมีความหลากหลายของเนื้อสัมผัส มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสูตรพื้นฐาน โดยดัดแปลงสูตรจากซาตาและแสงโสม (2545) ดังตารางที่ 7 และ 8 ทำการเตรียมตัวอย่างและศึกษาคุณภาพด้านกายภาพของตัวอย่างผสมในเบื้องต้น พบว่าปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดที่เหมาะสมอยู่ที่ร้อยละ 2-3 โดยน้ำหนัก จึงทำการวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล $2 \times 3 \times 2$ ศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ 2 ระดับ คือ ร้อยละ 2 และ 3 อัตราส่วนของสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปπα-คาร์ราจีแนน 3 ระดับ คือ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ในน้ำข้าวโพดหวาน และจากการเติมและไม่เติมซูโครสร้อยละ 10

จากการวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (RVA) ดังแสดงในภาพที่ 8 และตารางผนวก ข1 พบว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดจากร้อยละ 2 เป็นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (trough) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าระยะเวลาที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุด (peak time) และ ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) มีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของพอลิแซคคาไรด์ส่งผลให้สัดส่วนของน้ำในระบบลดลง ปริมาณเม็ดสตาร์ชที่เกิดการพองตัวเมื่อให้ความร้อนในระบบมีจำนวนมาก ส่งผลให้โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเกิดการยึดเกาะกันอย่างหนาแน่นขึ้น ทำให้ความหนืดของตัวอย่างมีค่าสูงขึ้น (Chen and Ramaswamy, 1999; Song *et al.*, 2006)

เมื่อพิจารณาผลของแคปπα-คาร์ราจีแนน พบว่า การแทนที่สตาร์ชมันสำปะหลังด้วยอัตราส่วนแคปπα-คาร์ราจีแนนมากขึ้น มีผลให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (trough) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าผลต่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (setback) ลดลง แต่ไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด

(pasting temperature) เนื่องจากการแทนที่สตาร์ชด้วยแคปปา-คาร์ราจีแนนมีผลให้ปริมาณสตาร์ชมันสำปะหลังในสิ่งทดลองมีน้อยลง ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Shi and BeMiller (2002) ซึ่งพบว่า ไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลให้ความหนืดเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสุดท้าย พบว่า ความหนืดสุดท้ายมีค่าลดลงเมื่อปริมาณแคปปา-คาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากการทดลองเป็นการศึกษาสมบัติเพสติงโดยสภาวะของเครื่องมือจะกำหนดอุณหภูมิต่ำสุดไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส หากมีการลดอุณหภูมิลงต่ำกว่าที่กำหนด สิ่งทดลองที่มีแคปปา-คาร์ราจีแนนจะกลายเป็นเจลที่แข็งกว่า (ผลค่าความแข็งของเจล ตารางที่ 17) (Gonzalez-Tomas *et al.*, 2005; Verbeken *et al.*, 2006)

เมื่อพิจารณาผลของซูโครส พบว่า การเติมซูโครสส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด (breakdown) และค่าผลต่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (Setback) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) มีค่าสูงขึ้น การเติมซูโครสทำให้ปริมาณน้ำในสูตรลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลที่ในเซชันของสตาร์ชนั้นสูงขึ้น เพราะระบบต้องการพลังงานมากขึ้นเพื่อให้เกิดการเจลที่ในเซชันบริเวณหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง Equatorial (equatorial hydroxyl groups) (Ravisharm *et al.*, 2009; Sudhakar *et al.*, 1995; Zhang *et al.*, 2013)



ภาพที่ 8 สมบัติพลวัตของสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ที่ซูโครสร้อยละ 0 (ก) และ 10 (ข)

เมื่อทำการศึกษาผลของปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดและอัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนต่อค่าสี ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่าง (syneresis) และค่าความแข็งของเจล (gel strength) พบว่า อัตราส่วนของสตาร์ชต่อแคปปา-คาร์ราจีแนน และปริมาณของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดมีผลต่อค่าสี ค่าปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่าง และค่าความแข็งของเจลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ค่าสี พบว่า ความแตกต่างของปริมาณของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดที่ร้อยละ 2 และ 3 ไม่มีผลต่อค่า L^* a^* และ Hue แต่มีผลต่อค่าสี b^* และ Chroma ของผลิตภัณฑ์ ค่า b^* คือ ค่าที่บอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน ถ้าค่า b^* มีค่าเป็นบวกแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มไปทางสีเหลืองและค่าที่เป็นลบแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มไปทางสีน้ำเงินตามลำดับ ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วง 41.29-42 แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มไปทางสีเหลือง ค่า Chroma แสดงถึงค่าความเข้มของสีตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 41.30-42.56 โดยคำนวณจาก $\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ ซึ่งมีผลสอดคล้องตามค่า b^* แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างมีค่าสีเหลืองเข้มชัดเจน และสีเหลืองของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิแซคคาไรด์ ค่า Hue angle คือ สมบัติที่ระบุความเป็นสีแท้จริงที่ปรากฏให้เห็น และมีความแตกต่างจากสีอื่น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360

องศา คำนวณจาก $Hue = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ ที่ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับ ร้อยละ 2 อัตราส่วน 10:0 มีค่า Hue ประมาณ 88.81 ± 0.14 แสดงค่าแตกต่างจากตัวอย่างที่อัตราส่วน 9.5:0.5 และ 9:1 ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับที่ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 88.59-88.81 ซึ่งค่าที่อยู่ระหว่าง 45-90 องศา แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง โดยรวม นั้นไม่มีความแตกต่างกันในกลุ่ม ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 16

การเติมซูโครสส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าสีแตกต่างกับตัวอย่างที่ปราศจากซูโครสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสตาร์ชและแคปปา-คาร์ราจีแนนในตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการเติมซูโครสไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) แต่เมื่อทำการเติมซูโครสร้อยละ 10 แสดงให้เห็นว่า ค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลง ค่า a^* และ b^* มีค่าเพิ่มขึ้น จากการพิจารณาทางสถิติพบว่า ซูโครส เป็นตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสี (L^*) และค่าแสดงความเป็นสีเหลือง (b^*) และ ค่าความเข้มสี (Chroma) มากที่สุด ตัวแปรหลักที่มีผลต่อค่า a^* คือ ซูโครส และ ปริมาณของแคปปา-คาร์ราจีแนนที่มากขึ้น ขณะที่ตัวแปรหลักที่มีผลต่อค่า b^* คือ ซูโครส และ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของพอลิแซคคาไรด์กับปริมาณของแคปปา-คาร์ราจีแนนที่มากขึ้น ค่า Chroma แสดงถึง ค่าความเข้มของสีตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 41.30-48.48 ซึ่งแสดงผลสอดคล้องตามค่า b^* แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างมีค่าสีเหลืองเข้มขึ้นชัดเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าสีดังกล่าวน่าจะเป็นอิทธิพลมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning) โดยปราศจากเอนไซม์ เนื่องจากปริมาณของซูโครสที่เพิ่มขึ้นและอิทธิพลของสารฟีนอลิกที่มีอยู่เดิมในข้าวโพดหวาน ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดสีที่เข้มขึ้นเมื่อมีการให้ความร้อนร่วมในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ (Kroh, 1994.; Raid *et al.*, 2003)

ตารางที่ 16 ค่าสีของตัวอย่างผสมสสารไขมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด ร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสสารไขมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ชูโครสร้อยละ 0 และร้อยละ 10

พอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด (ร้อยละ)	ชูโครส (ร้อยละ)	อัตราส่วน (TS:kCAR)	L*	a*	b*	Chroma	Hue
2	0	10:0	72.09±1.67 ^{aA}	0.88±0.11 ^{bDE}	42.16±0.38 ^{bDE}	42.17±0.38 ^{bDE}	88.81±0.14 ^{aAB}
		9.5:0.5	72.76±1.40 ^{aA}	1.05±0.12 ^{bCDE}	42.44±0.48 ^{bDE}	42.56±0.44 ^{bDE}	88.59±0.15 ^{aAB}
		9:1	72.66±1.53 ^{aA}	1.03±0.15 ^{bCDE}	42.27±0.22 ^{bDE}	42.28±0.22 ^{bDE}	88.61±0.19 ^{aAB}
	10	10:0	67.56±0.71 ^{cCD}	0.59±0.13 ^{bE}	44.04±1.11 ^{bCD}	44.04 ±1.10 ^{bCD}	89.23±0.17 ^{aA}
		9.5:0.5	68.26±0.54 ^{cC}	1.92±1.40 ^{aE}	46.36±3.80 ^{aB}	46.41±3.85 ^{aAB}	87.74±1.54 ^{bDE}
		9:1	69.69±1.30 ^{bB}	2.11±0.16 ^{aA}	46.84±0.27 ^{aAB}	46.89±0.36 ^{aAB}	87.47±0.19 ^{bE}
3	0	10:0	71.93±1.30 ^{aA}	0.91±0.16 ^{bCDE}	41.53±0.27 ^{cE}	41.63±0.36 ^{cE}	88.68±0.19 ^{aAB}
		9.5:0.5	72.45±1.33 ^{aA}	0.95±0.11 ^{bCDE}	41.29±0.24 ^{cE}	41.30±0.24 ^{cE}	88.69±0.15 ^{aAB}
		9:1	72.10±1.10 ^{aA}	1.03±0.08 ^{abCDE}	41.86±0.41 ^{cDE}	41.56±0.27 ^{cE}	88.75±0.22 ^{aAB}
	10	10:0	65.40±1.34 ^{cE}	1.52±0.83 ^{aBC}	48.45±4.61 ^{aA}	48.48±4.63 ^{aA}	88.27±0.85 ^{aBC}
		9.5:0.5	66.90±0.41 ^{bD}	1.46±0.63 ^{aBCD}	45.36±2.40 ^{bBC}	45.39±2.42 ^{bBC}	88.19±0.72 ^{aBC}
		9:1	67.26±0.31 ^{bCD}	1.48±0.73 ^{aBCD}	45.16±2.79 ^{bBC}	45.18±2.81 ^{bBC}	88.17±0.84 ^{aBC}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ปริมาณชูโครสร้อยละ 0 และ 10
- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสิ่งทดลองทั้งหมด

ค่าความแข็งของเจล (gel strength) นิยามได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงที่ได้จากการเจาะทะลุที่แสดงในเวลาที่แน่นอน และระดับความลึกที่หัววัดกระทำการเจาะเข้าไปภายใน ตัวอย่างในเวลาเดียวกัน (Ferrari *et al.*, 1995) การเพิ่มความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ในสูตร จากร้อยละ 2 เป็นร้อยละ 3 และเมื่อแทนที่สตาร์ชมันสำปะหลังด้วยแคปปา-คาร์ราจีแนนใน อัตราส่วนเพิ่มขึ้น มีผลให้ลักษณะของเนื้อสัมผัสของสิ่งทดลองมีการเปลี่ยนแปลงในด้านความแข็ง มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จนมีลักษณะที่คล้ายเจลแข็ง (ตารางที่ 17)

ที่ความเข้มข้นพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ค่าความแข็งของ เจลของตัวอย่างที่มีการแทนที่สตาร์ชมันสำปะหลังด้วยแคปปา-คาร์ราจีแนนในอัตราส่วน 9.5:0.5 และ 10:0 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเนื้อสัมผัสที่ได้มีลักษณะไม่แข็งตัว เมื่อแทนที่ด้วยคาร์ราจีแนนมากขึ้นที่อัตราส่วน 9:1 เจลมีความแข็งมากขึ้นจนมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขณะที่ระดับความเข้มข้นพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างที่อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9.5:0.5 และ 9:1 มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นแปรตามปริมาณของแคปปา-คาร์ราจีแนนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งค่าความแข็งของเจลที่สูงขึ้นและเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงไปดังกล่าวเกิดจากอิทธิพล ของปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่เพิ่มขึ้นร่วมกับอิทธิพลจากลักษณะการเกิดเจลของแคปปา-คาร์รา- จีแนนที่ให้เจลที่มีความแข็งเปราะ ความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ที่มากขึ้นทำให้มีปริมาณเม็ด สตาร์ชมากขึ้นในตัวอย่างซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการจับตัวกับน้ำเมื่อสตาร์ชเกิดการเจลาทิ-ไนซ์ (Gonzalez-Tomas *et al.*, 2005; Huang *et al.*, 2007)

ตารางที่ 17 ค่าความแข็งของเจล (gel strength) ของตัวอย่างผสมสตาร์ชมันสำปะหลังต่อ
 แคปลา-คาร์ราจีแนนในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์
 ทั้งหมดร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปลา-
 คาร์ราจีแนนเท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ที่ซูโครสร้อยละ 0 และร้อยละ 10

พอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด (ร้อยละ)	อัตราส่วน (TS:kCAR)	ซูโครส (ร้อยละ)	
		0	10
2	10:0	0.10±0.02 ^{cA}	0.11±0.02 ^{dA}
	9.5:0.5	0.11±0.02 ^{cA}	0.11±0.02 ^{dA}
	9:1	0.17±0.03 ^{bA}	0.18±0.03 ^{cA}
3	10:0	0.12±0.03 ^{cA}	0.13±0.03 ^{dA}
	9.5:0.5	0.19±0.03 ^{bB}	0.24±0.04 ^{bA}
	9:1	0.31±0.06 ^{aB}	0.37±0.04 ^{aA}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่าง
 กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสิ่งทดลองทั้งหมด ที่ปริมาณซูโครสร้อย
 ละ 0 หรือร้อยละ 10
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ความ
 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างปริมาณซูโครสร้อยละ 0
 และ 10

เมื่อทำการเติมซูโครสร้อยละ 10 ลงในสูตร พบว่า ซูโครสมีผลต่อค่าความแข็งของเจล
 การเติมซูโครสทำให้อัตราส่วนของน้ำในสูตรลดลง ปริมาณของแข็งในสูตรมีมากขึ้น โครงร่างพอลิ-
 เมอร์เกิดการจับตัวกันได้แน่น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chantaro and Pongsawatmanit
 (2010), Sudhakar *et al.* (1995) และ Zhang *et al.* (2013) เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทาง
 สถิติ พบว่า ซูโครสเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งของเจลเพียงเล็กน้อย
 เมื่อเปรียบเทียบกับอิทธิพลของสตาร์ชมันสำปะหลังและแคปลา-คาร์ราจีแนน ดังนั้นปัจจัยที่มีผล

ต่อการปรับคุณภาพของเนื้อสัมผัส และความแข็งแรงของเจล คือ ปัจจัยจากความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ และอัตราส่วนของสตาร์ชต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเป็นหลัก

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดต่อปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่าง (Syneresis) ของเจลผสมในน้ำข้าวโพด ที่ปริมาณของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก พบว่า มีปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างมากกว่าที่ระดับพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ปริมาณของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนของสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9.5:0.5 และ 9:1 มีปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำเก็บรักษาต่อเนื่องจนถึงวันที่ 10 ซึ่งน้อยกว่าสูตรที่ไม่ได้ทำการแทนที่ด้วยแคปปา-คาร์ราจีแนน (10:0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 18

ที่ปริมาณของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ในสูตรที่ไม่มีแคปปา-คาร์ราจีแนน (10:0) อัตราส่วนของสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9.5:0.5 มีปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเพิ่มขึ้นเมื่อทำเก็บรักษาต่อเนื่องจนถึงวันที่ 10 ขณะที่อัตราส่วน 9:1 มีปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างน้อยกว่าและไม่มีการเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 19 จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สิ่งทดลองที่มีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดมากกว่าและมีปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างน้อยกว่า ซึ่งที่ความเข้มข้นของแคปปา-คาร์ราจีแนน สตาร์ช ปริมาณน้ำ อัตราการพองตัวของสตาร์ช และอุณหภูมิการเก็บรักษา ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของเจล อัตราการเกิดเจลหรือเกิดรีโทรเกรด และปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่าง โดยที่เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นสตาร์ชที่มากขึ้น เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัวและจับกับน้ำได้มากกว่า ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงและมีปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างลดลง (BeMiller, 2008; Self *et al.*, 1990; Verbeken *et al.*, 2006)

เมื่อพิจารณาผลของสูตรต่อปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างของเจลผสมสตาร์ชมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนนในน้ำข้าวโพด พบว่า การเติมสูตรร้อยละ 10 ลงในสูตรที่มีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ทำให้ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างมีค่าลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการเติมสูตร พบว่า มีค่าไม่แตกต่าง

กันในวันที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น น้ำที่แยกออกจากตัวอย่างมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนมีความแตกต่างกันระหว่างตัวอย่างที่ใช้สตาร์ชมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว (10:0) กับที่อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ระดับต่างๆ (9.5:0.5 และ 9:1) ในวันที่ 4, 7 และ 10 ขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดเป็นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อทำการเติมซูโครสร้อยละ 10 ลงในสูตรทำให้ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างที่แยกออกมาในวันที่ 1 ถึงวันที่ 10 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากการเติมซูโครสทำให้ปริมาณน้ำในสูตรลดลง มีผลให้ปริมาณของแข็งในสูตรมีมากขึ้น เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด คาร์ราจีแนน และซูโครส มีผลต่อการลดการเกิดการแยกของน้ำออกจากตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดรีโทรเกรเดชันและความสามารถในการอุ้มน้ำของไฮโดรคอลลอยด์ (Ferrero *et al.*, 1993)

ตารางที่ 18 ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างผสมสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนน ในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ที่ซูโครสร้อยละ 0 และร้อยละ 10

วันที่	อัตราส่วน (TS:kCAR)	ซูโครส (ร้อยละ)	
		0	10
1	10:0	28.18±4.03 ^{deA}	15.46±2.76 ^{cB}
	9.5:0.5	20.93±3.01 ^{fA}	15.62±1.82 ^{cA}
	9:1	23.62±1.92 ^{efA}	16.74±3.16 ^{bcB}
4	10:0	36.14±1.67 ^{cA}	20.54±1.24 ^{bcB}
	9.5:0.5	26.46±1.45 ^{deA}	18.05±1.85 ^{bcB}
	9:1	27.15±2.44 ^{deA}	17.04±1.81 ^{bcB}
7	10:0	40.00±2.78 ^{abA}	22.62±2.60 ^{bB}
	9.5:0.5	26.69±5.10 ^{deA}	17.88±4.11 ^{bcA}
	9:1	26.09±2.53 ^{deAf}	17.02±2.13 ^{bcB}
10	10:0	41.87±4.17 ^{aA}	27.80±2.50 ^{aB}
	9.5:0.5	30.07±2.04 ^{dA}	20.35±5.72 ^{bcA}
	9:1	29.25±2.82 ^{deA}	20.47±3.69 ^{bcB}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสิ่งทดลองทั้งหมด ที่ปริมาณซูโครสร้อยละ 0 หรือร้อยละ 10
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างปริมาณซูโครสร้อยละ 0 และ 10

ตารางที่ 19 ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างผสมสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนน ในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ที่ซูโครสร้อยละ 0 และร้อยละ 10

วันที่	อัตราส่วน (TS:kCAR)	ซูโครส (ร้อยละ)	
		0	10
1	10:0	8.01±2.09 ^{cA}	0.09±0.08 ^{aB}
	9.5:0.5	1.54±0.90 ^{dA}	0.36±0.15 ^{aA}
	9:1	1.22±0.49 ^{dA}	1.06±1.62 ^{aA}
4	10:0	10.26±3.70 ^{bcA}	0.43±0.28 ^{aB}
	9.5:0.5	2.60±1.33 ^{dA}	0.61±0.73 ^{aA}
	9:1	1.29±0.58 ^{dA}	0.74±0.27 ^{aA}
7	10:0	14.27±5.14 ^{abA}	0.39±0.20 ^{aB}
	9.5:0.5	6.14±2.71 ^{cdA}	0.79±0.95 ^{aB}
	9:1	1.53±0.16 ^{dA}	1.12±0.45 ^{aA}
10	10:0	18.48±4.51 ^{aA}	1.17±1.27 ^{aB}
	9.5:0.5	11.01±3.70 ^{bcA}	0.45±0.38 ^{aB}
	9:1	1.78±0.16 ^{dA}	1.02±0.41 ^{aB}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสิ่งทดลองทั้งหมด ที่ปริมาณซูโครสร้อยละ 0 หรือร้อยละ 10
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างปริมาณซูโครสร้อยละ 0 และ 10

จากการนำสิ่งทดลองที่ใช้ศึกษาที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด 2 ระดับ และอัตราส่วนของสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนน 3 ระดับ และทำการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9-Points Hedonic scale) และความพอดี (Just about right) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 20 และ 21 พบว่า ปริมาณของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดและอัตราส่วนของสตาร์ชต่อคาร์ราจีแนนมีผลต่อคะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านรสหวาน ความนุ่ม และความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีเหลืองและกลิ่นรสข้าวโพด โดยตัวอย่างที่ใช้ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชต่อคาร์ราจีแนนที่ 9:1 ได้รับคะแนนความชอบในด้านต่างๆ ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) จากการทดสอบความพอดีด้วยวิธี Just about right พบว่า คุณภาพเนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) ในสูตรที่ใช้ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 2 อัตราส่วนสตาร์ชต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ 9:1 และสูตรที่ใช้ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 3 อัตราส่วนสตาร์ชต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ 9.5:0.5 และ 9:1 อยู่ในเกณฑ์พอดีคิดเป็นร้อยละ 63.33-71.67

ตารางที่ 20 คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด

ปริมาณพอลิ แซคคาไรด์ ทั้งหมด (ร้อยละ)	อัตราส่วน (TS:kCAR)	คุณลักษณะ				
		สีเหลือง	รสหวาน	กลิ่นรส ข้าวโพด	ความนุ่ม	ความชอบ รวม
2	10:00	7.2±0.9 ^a	6.5±1.2 ^c	6.8±1.1 ^a	5.1±1.7 ^c	5.5±1.3 ^c
	9.5:0.5	7.2±0.8 ^a	6.8±1.0 ^{abc}	6.8±1.0 ^a	5.9±1.5 ^b	6.2±1.2 ^b
	9:1	7.4±0.8 ^a	7.0±1.2 ^{ab}	6.9±1.1 ^a	6.4±1.6 ^{ab}	6.9±1.2 ^a
3	10:00	7.3±0.8 ^a	6.8±1.0 ^{abc}	6.8±1.2 ^a	6.1±1.3 ^b	6.2±1.1 ^b
	9.5:0.5	7.3±0.8 ^a	6.6±1.2 ^{bc}	6.7±1.3 ^a	6.3±1.4 ^{ab}	6.1±1.1 ^b
	9:1	7.3±0.8 ^a	7.1±0.9 ^a	7.0±1.0 ^a	6.8±1.1 ^a	6.8±1.0 ^a

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวดิ่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสิ่งทดลองทั้งหมด

ตารางที่ 21 คะแนนความพอดีของผลิตภัณฑ์พุดdingข้าวโพด

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ระดับความพอดี (ร้อยละ)	พอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 2			พอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 3		
		TS:kCAR	TS:kCAR	TS:kCAR	TS:kCAR	TS:kCAR	TS:kCAR
		10:0	9.5:0.5	9:1	10:0	9.5:0.5	9:1
สีเหลือง	น้อยเกินไป	11.67	8.33	10.00	6.67	10.00	10.00
	พอดี	85.00	86.67	83.33	88.33	85.00	86.67
	มากเกินไป	3.33	5.00	6.67	5.00	5.00	3.33
รสหวาน	น้อยเกินไป	11.67	10.00	15.00	11.67	21.67	11.67
	พอดี	71.67	68.33	70.00	68.33	68.33	78.33
	มากเกินไป	16.67	21.67	15.00	20.00	10.00	10.00
กลิ่นรสข้าวโพด	น้อยเกินไป	26.67	6.67	21.67	25.00	18.33	11.67
	พอดี	60.00	85.00	73.33	70.00	68.33	81.67
	มากเกินไป	13.33	8.33	5.00	5.00	13.33	6.67
ความนิ่ม	น้อยเกินไป	0.00	1.67	3.33	5.00	3.33	20.00
	พอดี	15.00	30.00	66.67	25.00	63.33	71.67
	มากเกินไป	85.00	68.33	30.00	70.00	33.33	8.33

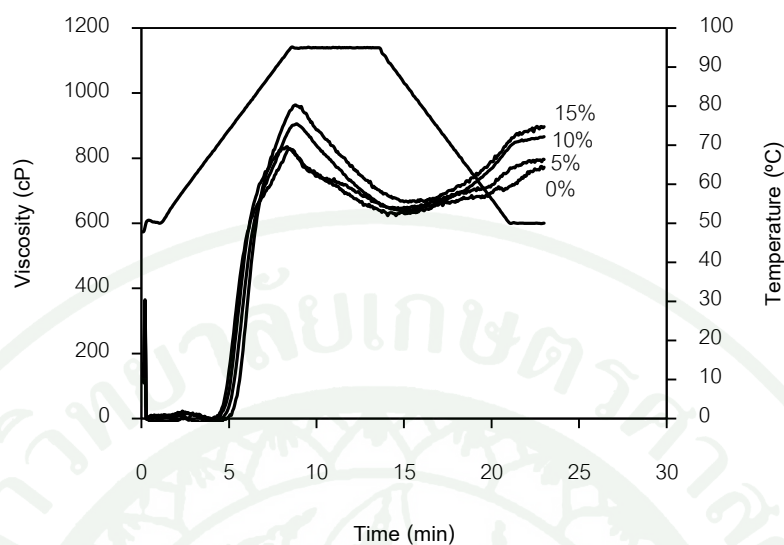
หมายเหตุ TS:kCAR หมายถึง อัตราส่วนของสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนน

เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพและคุณภาพด้านประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีค่าสีและค่าความแข็งของเจลมากที่สุด และเกิดการแยกของน้ำออกจากตัวอย่างน้อยกว่าสูตรอื่น ซึ่งเป็นผลดีต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ จึงทำการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ซึ่งประกอบไปด้วย น้ำข้าวโพดหวานร้อยละ 86.9 ซูโครสร้อยละ 10 สตาร์ชมันสำปะหลังร้อยละ 2.7 แคปปา-คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.3 และ เกลือร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก มาทำการศึกษาต่อไป

2.3 ผลของพอลิเดกซ์โทรสต่อสมบัติทางกายภาพของพุดดิ้งข้าวโพด

ในการศึกษานี้ได้ทำการกำหนดปริมาณการใช้ซูคราโลสให้มีระดับความหวานเทียบเท่าการใช้ซูโครสร้อยละ 10 เนื่องจากซูคราโลสมีความหวานมากกว่าซูโครส 600 เท่า การนำซูคราโลสมาใช้เพื่อทดแทนซูโครสในสูตรสามารถคำนวณได้ โดยปริมาณซูคราโลสที่ใช้เท่ากับร้อยละของน้ำตาลทรายในสูตรหารด้วย 600 และใช้พอลิเดกซ์โทรสเป็นสารทดแทนปริมาณ ทำการตรวจสอบค่าสมบัติทางกายภาพตามวิธีในข้อ 2.2 และทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการ 9-Points Hedonic scale ในคุณลักษณะต่างๆ เช่น ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความหวาน ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความนุ่ม และความชอบโดยรวม

จากการศึกษาผลของปริมาณพอลิเดกซ์โทรสที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อสมบัติเพสติงของตัวอย่างโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (RVA) แสดงในภาพที่ 9 และตารางผนวก ข2 พบว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณพอลิเดกซ์โทรสลงในสูตรส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด (breakdown) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าผลต่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (setback) และค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเติมพอลิเดกซ์โทรสส่งผลให้อัตราส่วนขององค์ประกอบอื่นๆ เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยที่การเติมแบบแทนที่อัตราส่วนของน้ำทำให้ปริมาณน้ำที่มีในสูตรลดลงแต่ปริมาณสตาร์ชและคาร์ราจีแนนคงเดิม ทำให้มีความแตกต่างด้านสมบัติเพสติงมากขึ้นซึ่งคล้ายคลึงกับผลการเติมน้ำตาลชนิดอื่นๆ (Deffenbaugh and Walker, 2006) ค่าระยะเวลาที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุด (peak time) ของตัวอย่างอยู่ที่ประมาณ 8.3-8.9 นาที โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณพอลิเดกซ์โทรสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 9 สมบัติเพสติ้งของตัวอย่างผสมในน้ำข้าวโพดหวาน ที่ระดับพอลิเด็กซ์โทรสร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 (ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนน เท่ากับ 9:1)

จากการวิเคราะห์ค่าสี พบว่า การใช้ชูคราโลสเป็นสารให้ความหวานและพอลิเด็กซ์โทรส เป็นสารเพิ่มปริมาณ ส่งผลให้ตัวอย่างมีความแตกต่างด้านค่าสี Hue อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 22 โดยตัวอย่างที่ใช้ชูคราโลสเป็นสารให้ความหวานร่วมกับพอลิเด็กซ์โทรสเป็นสารเพิ่มปริมาณ จะมีค่า L^* และ Hue ลดลง ขณะที่ค่า a^* b^* และ Chroma มีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ผลลัพธ์ที่ได้มีพอลิเด็กซ์โทรสในระดับร้อยละ 10 ขึ้นไปจึงแลดูมีสีเหลืองเข้มมากกว่าตัวอย่างควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการใช้พอลิเด็กซ์โทรสในผลิตภัณฑ์มอฟฟินของ Martinez-Cervera *et al.* (2012)

ตารางที่ 22 ผลของพอลิเด็กซ์โทรสต่อค่าสีของตัวอย่างผสมในน้ำข้าวโพดหวานที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9:1

ปริมาณ พอลิเด็กซ์โทรส (ร้อยละ)	L*	a*	b*	Chroma	Hue
0	72.09±1.10 ^a	1.03±0.08 ^c	41.86±0.41 ^c	41.56±0.27 ^c	88.75±0.22 ^a
5	70.79±0.84 ^b	2.22±0.37 ^b	44.08±0.40 ^b	44.14±0.40 ^b	87.12±0.47 ^b
10	67.80±1.52 ^c	3.40±0.35 ^a	46.04±0.35 ^a	46.17±0.35 ^a	85.98±0.65 ^c
15	65.11±0.53 ^d	3.40±0.33 ^a	45.98±0.30 ^a	46.10±0.30 ^a	85.80±0.38 ^c

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวดังหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสิ่งทดลองทั้งหมด

จากผลที่แสดงในตารางที่ 23 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิเด็กซ์โทรสมีผลให้ค่าความแข็งของเจลมีค่าเพิ่มขึ้น และการใช้พอลิเด็กซ์โทรสเป็นสารเพิ่มปริมาณที่อัตราส่วนเดียวกันจะมีค่าความแข็งของเจลที่ต่ำกว่าสูตรที่ใช้ซูโครส (ผลจากข้อ 2.3) ซึ่งสอดคล้องกับในการศึกษาผลของพอลิเด็กซ์โทรสต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบชนิดอื่นๆ เช่น เค้ก หรือ มัฟฟินสูตรใช้สารให้ความหวานทดแทนซูโครส ของ Martinez-Cervera *et al.* (2012) Ronda *et al.* (2005) และ Schirmer *et al.* (2012)

ตารางที่ 23 ผลของพอลิเด็กซ์โทรสต่อค่าความแข็งของเจลของตัวอย่างผสมในน้ำข้าวโพดหวานที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับ ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9:1

ปริมาณพอลิเด็กซ์โทรส (ร้อยละ)	ความแข็งของเจล (นิวตัน)
0	0.31 ± 0.04^b
5	0.32 ± 0.02^b
10	0.33 ± 0.02^{ab}
15	0.35 ± 0.01^a

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 24 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณพอลิเด็กซ์โทรสไม่มีผลต่อปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยเฉพาะในวันที่ 10 ซึ่งมีปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างเพิ่มขึ้นแตกต่างจากในวันที่ 1, 4 และ 7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 24 ผลของพอลิเด็กซ์ไทรสต่อปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างของตัวอย่างผสมในน้ำข้าวโพดหวานที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับ ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9:1 เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน ที่อุณหภูมิตู้เย็น (0-4 องศาเซลเซียส)

วันที่	พอลิเด็กซ์ไทรส (ร้อยละ)			
	0	5	10	15
1	1.22±0.49 ^{aA}	0.97±0.19 ^{bA}	0.70±0.81 ^{bA}	0.68±0.23 ^{bA}
4	1.29±0.58 ^{aA}	1.06±0.43 ^{abA}	0.68±0.34 ^{bA}	0.86±0.32 ^{bA}
7	1.53±0.16 ^{aA}	1.17±0.41 ^{abAB}	0.88±0.23 ^{abB}	0.69±0.22 ^{bB}
10	1.78±0.16 ^{aA}	1.69±0.28 ^{aA}	1.81±0.50 ^{aA}	1.46±0.35 ^{aA}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างการเก็บรักษา วันที่ 1 ถึง วันที่ 10
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ปริมาณพอลิเด็กซ์ไทรสร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 15

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณพอลิเด็กซ์ไทรสต่อคะแนนความชอบเฉลี่ยของพุดดิ้งข้าวโพด (ตารางที่ 25) พบว่า ปริมาณพอลิเด็กซ์ไทรสไม่มีผลต่อคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแตกต่างจากสูตรที่ไม่ได้เติมพอลิเด็กซ์ไทรสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรดังกล่าวได้รับคะแนนความชอบด้านรสหวาน และ ความชอบรวมต่ำที่สุด สอดคล้องกับสมบัติด้านรสชาติของพอลิเด็กซ์ไทรสที่มีรสหวานเล็กน้อยจึงมีส่วนในการส่งเสริมรสหวานของผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีเหลือง พบว่า สิ่งทดลองที่มีปริมาณพอลิเด็กซ์ไทรสร้อยละ 0-10 ได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง ขณะที่การเติมพอลิเด็กซ์ไทรสร้อยละ 15 ทำให้ตัวอย่างมีสีเหลืองเข้มและได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีเหลืองต่ำที่สุด และมีความระดับความพอใจอยู่ในเกณฑ์มากเกินไปถึงร้อยละ 46.67 ซึ่งคะแนนความชอบดังกล่าว สอดคล้องกับค่าความสว่างของสีที่ลดลงจากผลการเติมพอลิเด็กซ์ไทรส (ตารางที่ 22) แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่ให้ความสำคัญต่อสีของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อเทียบกับคะแนนด้าน

ความชอบร่วนนั้นไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเติมพอลิเด็กซ์ไทรสส่งผลต่อค่าความชอบเฉลี่ยในด้าน สี ความหวาน และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ขณะที่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านกลิ่นรสข้าวโพด และเนื้อสัมผัสด้านความนุ่มของผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณาร่วมกับคะแนนความพอดี (Just About Right) (ตารางที่ 26) พบว่า การเติมพอลิเด็กซ์ไทรสร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความพอดีอยู่ในระดับที่มากกว่าร้อยละ 60 ในทุกคุณลักษณะ

ตารางที่ 25 คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดที่มีปริมาณพอลิเด็กซ์ไทรสระดับร้อยละ 0, 5, 10 และ 15

ปริมาณพอลิ- เด็กซ์ไทรส (ร้อยละ)	คุณลักษณะ				
	สีเหลือง	รสหวาน	กลิ่นรสข้าวโพด	ความนุ่ม	ความชอบรวม
0	7.3±1.0 ^a	6.1±1.8 ^b	6.6±1.3 ^a	6.2±1.3 ^a	6.2±1.3 ^b
5	7.2±1.1 ^a	6.8±1.4 ^a	6.9±1.2 ^a	6.6±0.9 ^a	6.6±1.0 ^a
10	7.3±1.0 ^a	6.8±1.1 ^a	7.0±0.9 ^a	6.5±1.2 ^a	6.8±0.9 ^a
15	6.8±1.2 ^b	6.7±1.3 ^a	6.7±1.2 ^a	6.5±1.3 ^a	6.6±1.1 ^a

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสิ่งทดลองทั้งหมด

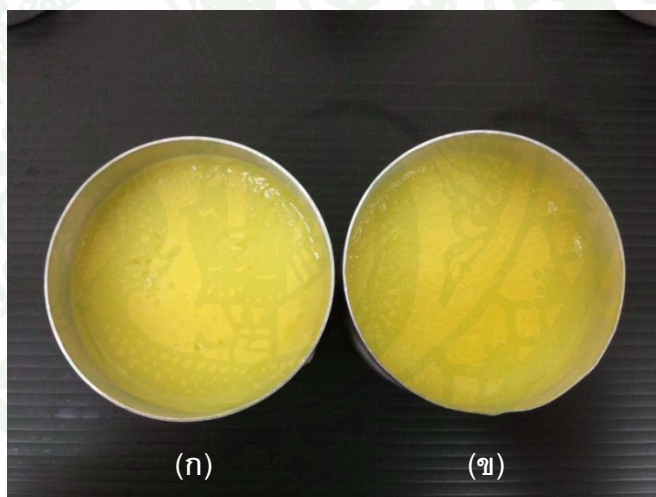
ตารางที่ 26 คะแนนความพอดีของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด ที่ระดับพอลิเด็กซ์โทรสร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

คุณลักษณะ ทางประสาทสัมผัส	ระดับความพอดี (ร้อยละ)	ปริมาณพอลิเด็กซ์โทรส (ร้อยละ)			
		0	5	10	15
สีเหลือง	น้อยเกินไป	23.33	10.00	3.33	0.00
	พอดี	76.67	76.67	85.00	53.33
	มากเกินไป	0.00	13.33	11.00	46.67
รสหวาน	น้อยเกินไป	60.00	33.33	16.67	3.33
	พอดี	40.00	63.33	66.67	70.00
	มากเกินไป	0.00	3.33	16.67	26.67
กลิ่นรสข้าวโพด	น้อยเกินไป	33.33	33.33	20.00	40.00
	พอดี	60.00	56.67	76.67	53.33
	มากเกินไป	6.67	10.00	3.33	6.67
ความนิ่ม	น้อยเกินไป	23.33	20.00	11.67	13.33
	พอดี	43.33	63.33	68.33	56.67
	มากเกินไป	33.00	16.67	20.00	30.00

จากผลการทดลองที่ได้ จึงทำการคัดเลือกสิ่งทดลองที่มีการเติมพอลิเด็กซ์โทรสร้อย-
ละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นสูตรในการทดสอบผู้บริโภค โดยสิ่งทดลองดังกล่าวประกอบด้วย น้ำ
ข้าวโพดหวานร้อยละ 86.9 สตาร์ชมันสำปะหลังร้อยละ 2.7 แคลป้า-คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.3
พอลิเด็กซ์โทรสร้อยละ 10 เกลือร้อยละ 0.1 และ ซูคราโลสร้อยละ 0.0167 โดยน้ำหนัก

3. คุณภาพของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดที่พัฒนาได้ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด แสดงในตารางที่ 27 และ 28 โดยผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรมีสีเหลืองสดดังภาพที่ 10 มีค่าสีแตกต่างกันในค่า a^* และ Hue ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความเข้มสีที่แตกต่างกันเล็กน้อย สูตรใช้สารให้ความหวานจะมีสีเหลืองเข้มกว่าสูตรปกติ ในขณะที่สูตรปกติจะมีค่าความแข็งของเจลมากกว่า สูตรใช้สารให้ความหวานเล็กน้อย จากการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี พบว่า ตัวอย่างสูตรปกติ และสูตรใช้สารให้ความหวานมีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



ภาพที่ 10 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดที่พัฒนาได้ สูตรปกติ (ก) และสูตรใช้สารให้ความหวาน (ข)

ตารางที่ 27 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของพุดดิ้งข้าวโพด

ค่าคุณภาพ		สูตรปกติ	สูตรใช้สารให้ความหวาน
ค่าคุณภาพทางกายภาพ			
ค่าสี	L*	67.26±0.31 ^a	67.80±1.52 ^a
	a*	1.48±0.73 ^b	3.40±0.35 ^a
	b*	45.16±2.79 ^a	46.04±0.35 ^a
	Chroma	45.18±2.81 ^a	46.17±0.35 ^a
	Hue	88.17±0.84 ^a	85.98±0.65 ^b
ค่าความแข็งของเจล (N)		0.37±0.04 ^a	0.33±0.02 ^b
คุณภาพทางเคมี			
ความชื้น (ร้อยละ)		79.64±0.31 ^a	80.06±0.31 ^a
โปรตีน (ร้อยละ)		1.26±0.22 ^a	1.26±0.24 ^a
ไขมัน (ร้อยละ)		0.38±0.06 ^a	0.39±0.07 ^a
เถ้า (ร้อยละ)		0.44±0.01 ^a	0.43±0.01 ^a
เส้นใยหยาบ (ร้อยละ)		1.89±0.09 ^a	2.10±0.56 ^a
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)		16.39±0.51 ^a	15.76±0.50 ^a

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสิ่งทดลองทั้งหมด

ในการวิเคราะห์จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดที่ผ่านกรรมวิธีพาสเจอร์ไรส์ ไม่เกิน 10,000 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม หรือไม่เกิน 4 log โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งตัดแปลงจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนฉบับที่ 124 (พ.ศ. 2546) เรื่องผลิตภัณฑ์น้ำข้าวโพด ข้อ 3.5.1 และ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนฉบับที่ 519 (พ.ศ. 2547) เรื่องผลิตภัณฑ์เยลลี่ข้อ 3.7.1 ยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม จากการวิเคราะห์จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (0-4 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 22 วัน โดยสุ่มตัวอย่างมาทำการทดสอบทุก 3 วัน คือ วันที่ 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19 และ 22 พบว่า ผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรปกติและสูตรใช้สารให้ความหวานเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลานาน 16 วัน โดยเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีจำนวนเท่ากับ 3.9×10^4 และ 1.9×10^4 โคโลนีต่อกรัมตามลำดับ ในวันที่ 16 ซึ่งเกินเกณฑ์ที่กำหนด ผลิตภัณฑ์มีน้ำขุ่นที่ผิวหน้าเล็กน้อย รวมทั้งพบเชื้อยีสต์หรือราบนผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จำนวนเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากเชื้อที่เหลือรอดจากการพาสเจอร์ไรส์เจริญเติบโตในที่เหมาะสม โดยอาจเป็นกลุ่ม psychrophiles ที่สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิแช่เย็น (Duan *et al.*, 2011)

ตารางที่ 28 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของพุดdingข้าวโพดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น เป็นเวลา 22 วัน

วันที่ทำการเก็บรักษา	สูตรปกติ		สูตรใช้สารให้ความหวาน	
	จุลินทรีย์ทั้งหมด	ยีสต์และรา	จุลินทรีย์ทั้งหมด	ยีสต์และรา
	(CFU/g)	(CFU/g)	(CFU/g)	(CFU/g)
1	0	0	0	0
4	0	0	0	0
7	0	0	0	0
10	0	0	0	0
13	0	0	0	0
16	3.9×10^4	3.4×10^3	1.9×10^4	2.0×10^3
19	NA	NA	NA	NA
22	NA	NA	NA	NA

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- NA หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ต่อ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์พุดdingข้าวโพดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น พบว่า เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีสีที่อ่อนลง โดยมีค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้น ดังที่แสดงในตาราง 29 เนื่องมาจากปริมาณของสารประกอบแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารประกอบที่ให้สีเหลืองจนถึงแดงมีปริมาณลดลง (Junpatiw *et al.*, 2013; Klau and Bauernfeind, 2012)

ตารางที่ 29 ค่าสีของพุดดิ้งข้าวโพดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น เป็นเวลา 13 วัน

ค่าสี	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	สูตรปกติ	สูตรใช้สารให้ความหวาน
L*	1	67.26±0.31 ^{cA}	67.80±1.52 ^{bA}
	4	68.11±1.84 ^{cA}	68.77±1.82 ^{bA}
	7	70.37±1.35 ^{bA}	69.93±1.09 ^{aA}
	10	71.78±0.22 ^{aA}	70.83±0.46 ^{aA}
	13	71.95±0.33 ^{aA}	70.41±0.26 ^{aA}
a*	1	1.48±0.73 ^{aB}	3.40±0.35 ^{aA}
	4	1.36±0.39 ^{aB}	3.12±0.20 ^{aA}
	7	1.26±0.13 ^{aB}	3.06±0.14 ^{aA}
	10	1.19±0.12 ^{aB}	3.16±0.16 ^{aA}
	13	1.23±0.18 ^{aB}	2.97±0.11 ^{bA}
b*	1	45.16±2.79 ^{aA}	46.04±0.35 ^{aA}
	4	44.57±1.64 ^{aA}	45.37±0.78 ^{bA}
	7	43.78±1.34 ^{aA}	45.00±0.57 ^{bA}
	10	43.59±0.24 ^{aA}	44.41±0.24 ^{cA}
	13	43.59±0.47 ^{aA}	44.45±0.31 ^{cA}
Chroma	1	45.18±2.81 ^{aA}	46.18±0.35 ^{aA}
	4	44.59±1.64 ^{aA}	45.48±0.78 ^{bA}
	7	43.80±1.34 ^{aA}	45.11±0.57 ^{bA}
	10	43.60±0.24 ^{aA}	44.52±0.24 ^{cA}
	13	43.61±0.48 ^{aA}	44.55±0.31 ^{cA}
Hue	1	88.17±0.84 ^{aA}	85.98±0.65 ^{aB}
	4	88.26±0.46 ^{aA}	86.07±0.23 ^{aB}
	7	88.36±0.17 ^{aA}	86.12±0.20 ^{aB}
	10	88.44±0.16 ^{aA}	85.94±0.19 ^{aB}
	13	88.38±0.22 ^{aA}	86.18±0.13 ^{aB}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างการเก็บรักษา วันที่ 1 ถึง วันที่ 13
- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างสูตรปกติและสูตรใช้สารให้ความหวาน

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านความแข็งของเจลของตัวอย่าง พบว่า สูตรที่ใช้สารให้ความหวานมีค่าความแข็งของเจลแตกต่างจากสูตรปกติในวันที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อทำการเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลานานขึ้น พบว่า ค่าความแข็งของเจลของตัวอย่างทั้งสองสูตรมีค่าเพิ่มขึ้นจนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 10 ถึง วันที่ 13 ดังแสดงในตารางที่ 30 และมีปริมาณน้ำแยกออกจากตัวอย่างในวันที่ 13 เพิ่มขึ้นจนแตกต่างจากตัวอย่างในวันที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างทั้งสองสูตร พบว่า มีปริมาณค่อนข้างต่ำและไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 31 ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งเป็นปัจจัยเสริมสำคัญที่ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลสในตัวอย่่างสตาร์ชเกิดการจับตัวกันแน่นขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป และเกิดการแยกน้ำออกจากตัวอย่างมากขึ้น (BeMiller, 2008; Keetels *et al.*, 1996; Ramakrishnan *et al.*, 2004; Scherer, 1999)

ตารางที่ 30 ค่าความแข็งแรงของเจลของพุดดิ้งข้าวโพดที่เก็บรักษา เป็นเวลา 13 วัน

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	สูตรปกติ (นิวตัน)	สูตรใช้สารให้ความหวาน (นิวตัน)
1	0.37 ± 0.04^{bA}	0.33 ± 0.02^{bcB}
4	0.35 ± 0.03^{bA}	0.31 ± 0.02^{cB}
7	0.40 ± 0.03^{bA}	0.32 ± 0.04^{cB}
10	0.39 ± 0.04^{bA}	0.36 ± 0.04^{bA}
13	0.48 ± 0.08^{aA}	0.41 ± 0.07^{aA}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวดิ่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างการเก็บรักษา วันที่ 1 ถึง วันที่ 13
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างสูตรปกติและสูตรใช้สารให้ความหวาน

ตารางที่ 31 ปริมาณน้ำที่แยกออกจากพุดดิ้งข้าวโพดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 13 วัน

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	สูตรปกติ (ร้อยละ)	สูตรใช้สารให้ความหวาน (ร้อยละ)
1	1.21±0.62 ^{bcA}	0.99±0.75 ^{bcA}
4	0.74±0.28 ^{bcA}	0.68±0.34 ^{ca}
7	0.84±0.45 ^{bcA}	0.88±0.23 ^{ca}
10	1.14±0.59 ^{bcA}	1.81±0.50 ^{abA}
13	2.12±0.31 ^{aA}	2.17±0.22 ^{aA}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างการเก็บรักษา วันที่ 1 ถึง วันที่ 13
 - ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างสูตรปกติและสูตรใช้สารให้ความหวาน

จากการศึกษาความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรปกติและสูตรใช้สารให้ความหวานที่เก็บรักษาเป็นเวลา 13 วัน โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน (ตารางที่ 32 และ 33 ตามลำดับ) พบว่า สูตรปกติและสูตรใช้สารให้ความหวานได้รับคะแนนความชอบในด้าน กลิ่นรส ความนุ่ม และความชอบรวมลดลงเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 13 วัน แตกต่างกับค่าเฉลี่ยในวันอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบกว่าร้อยละ 60 พบสิ่งผิดปกติในตัวอย่างดังกล่าว เช่น ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างมากเกินไป กลิ่นรสข้าวโพดที่ลดลง หรือมีกลิ่นรสที่ผิดปกติ เป็นต้น ส่งผลให้การยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ลดลง จากตารางที่ 33 แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์สูตรปกติและสูตรใช้สารให้ความหวานที่เก็บรักษาถึงวันที่ 13 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบเพียงร้อยละ 30 และ 33.33 ตามลำดับเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดการเปลี่ยนแปลงของ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น ถึงแม้ผลิตภัณฑ์จะยังไม่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ แต่เมื่อการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้ทดสอบลดลง ระยะเวลาที่เหมาะสมในการบริโภคผลิตภัณฑ์จึงควรอยู่ในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 10 วัน

ตารางที่ 32 คะแนนความชอบเฉลี่ยในด้านต่างๆ ของพุดdingข้าวโพดที่เก็บรักษา เป็นเวลา 13 วัน

คุณลักษณะ	ระยะเวลาการเก็บ(วัน)	สูตรปกติ	สูตรใช้สารให้ความหวาน
สีเหลือง	1	7.3±0.7 ^{aA}	7.2±0.7 ^{aA}
	7	7.3±0.8 ^{aA}	7.3±0.9 ^{aA}
	10	7.3±0.8 ^{aA}	7.3±0.9 ^{aA}
	13	7.1±1.1 ^{aA}	6.8±1.3 ^{aA}
รสหวาน	1	7.1±0.9 ^{aA}	6.8±1.0 ^{abA}
	7	6.9±0.9 ^{aA}	6.8±1.0 ^{abA}
	10	6.8±0.9 ^{aA}	7.1±0.9 ^{aA}
	13	6.6±0.9 ^{aA}	6.3±1.3 ^{bA}
กลิ่นรสข้าวโพด	1	6.8±1.0 ^{aA}	6.9±1.0 ^{aA}
	7	6.9±1.1 ^{aA}	6.6±1.0 ^{aA}
	10	7.0±1.1 ^{aA}	6.5±1.4 ^{aA}
	13	5.5±1.9 ^{bA}	5.4±1.8 ^{bA}
ความนิ่ม	1	6.6±1.1 ^{aA}	6.4±1.2 ^{aA}
	7	6.6±0.9 ^{aA}	6.4±1.0 ^{aA}
	10	6.1±1.4 ^{aA}	6.3±1.3 ^{aA}
	13	5.2±1.5 ^{bA}	5.4±1.7 ^{bA}
ความชอบรวม	1	6.7±1.2 ^{aA}	6.5±0.9 ^{aA}
	7	6.6±0.9 ^{aA}	6.8±0.9 ^{aA}
	10	6.3±1.2 ^{aA}	6.5±1.1 ^{aA}
	13	5.2±1.2 ^{bA}	5.3±1.6 ^{bA}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสิ่งทดลองทั้งหมดในวันที่ 1-13

- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสูตรปกติและสูตรที่ใช้สารให้ความหวาน

ตารางที่ 33 การยอมรับในผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 13 วัน

สูตร	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	พบสิ่งผิดปกติ (ร้อยละ)	การยอมรับ (ร้อยละ)
สูตรปกติ	1	0.00	96.67
	7	6.67	83.33
	10	30.00	66.67
	13	63.33	30.00
สูตรใช้สารให้ความหวาน	1	0.00	96.67
	7	10.00	80.00
	10	26.67	63.33
	13	60.00	33.33

4. ผลการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

จากการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดกับผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน โดยวิธี Central location test (CLT) และให้ผู้บริโภคชิมตัวอย่างพร้อมตอบแบบสอบถาม ประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์ โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9-Points Hedonic Scale ณ บริเวณโรงอาหารกลาง 1 และ 2 ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน จากลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค (ตารางที่ 34) พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามคิดเป็นเพศชายและเพศหญิงร้อยละ 25 และ 75 ตามลำดับ มีอายุอยู่ระหว่าง 15-24 ปี มากที่สุดคือ ร้อยละ 57 รองลงมาคือ 25-34 ปีร้อยละ 29 การศึกษาของผู้ทดสอบส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรีมากที่สุดคือ ร้อยละ 66 รองลงมาคือ สูงกว่าปริญญาตรีร้อยละ 22 ส่วนใหญ่มีอาชีพเป็น นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา ร้อยละ 79 และมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนน้อยกว่า 10,000 บาทร้อยละ 56 และรองลงมาคือ 10,001-20,000 บาทร้อยละ 38

ตารางที่ 34 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามต่อ ผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด
สูตรปกติ

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		ร้อยละ
เพศ	ชาย	25
	หญิง	75
อายุ	น้อยกว่า 15 ปี	2
	15-24 ปี	57
	25-34 ปี	29
	35-44 ปี	9
	มากกว่า 45 ปี	3
ระดับการศึกษา	ต่ำกว่าปริญญาตรี	12
	ปริญญาตรี	66
	สูงกว่าปริญญาตรี	22
อาชีพ	นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา	79
	ธุรกิจส่วนตัว / ค้าขาย	1
	ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ	11
	พนักงานบริษัทเอกชน	5
	แม่บ้าน	1
	อื่นๆ	3
รายได้เฉลี่ยต่อเดือน	น้อยกว่า 10,000 บาท	56
	10,001-20,000 บาท	38
	20,001-30,000 บาท	4
	30,001-40,000 บาท	2
	มากกว่า 40,001 บาท	0

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยให้คะแนนความชอบ 1-9 คะแนน ในด้าน
ลักษณะปรากฏ สี(เหลือง) กลิ่นรสข้าวโพดหวาน รสชาติ เนื้อสัมผัส(ความนุ่ม) และด้านความชอบ
โดยรวมอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ดังแสดงในตารางที่ 35

ตารางที่ 35 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรปกติ

คุณลักษณะ	ความถี่ (ร้อยละ)									คะแนน ความ ชอบ เฉลี่ย
	ไม่	ไม่	ไม่	ไม่	เฉยๆ	ชอบ	ชอบ	ชอบ	ชอบ	
	ชอบ	ชอบ	ชอบ	ชอบ		เล็กน้อย	ปาน	มาก	มาก	
	มากที่สุด	มาก	ปาน	เล็กน้อย			กลาง		ที่สุด	
ลักษณะปรากฏ	0	0	2	6	16	13	50	11	2	6.4±1.2
สี (เหลือง)	0	0	2	1	3	11	44	37	2	7.1±1.0
กลิ่นรส (ข้าวโพด)	0	0	0	3	7	21	25	33	11	7.1±1.2
รสชาติ	0	1	0	5	9	15	51	14	5	6.7±1.2
เนื้อสัมผัส(ความนุ่ม)	2	3	4	15	8	22	26	14	6	6.0±1.9
ความชอบโดยรวม	0	0	3	6	10	18	49	9	5	6.5±1.3

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อทำการสอบถามเกี่ยวกับการยอมรับผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคร้อยละ 75 ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด และ ไม่ยอมรับร้อยละ 25 โดยให้เหตุผลในด้านของเนื้อสัมผัสที่นุ่มเกินไป รสชาติที่หวานเกินไป กลิ่นรสที่อ่อนเกินไป และสีที่เข้มเกินไป มีความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 47 ไม่แน่ใจร้อยละ 41 และ ไม่ซื้อร้อยละ 12 โดยกลุ่มที่ตัดสินใจซื้อ ให้เหตุผลว่า ชอบรสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ และราคาที่เหมาะสม ขณะที่กลุ่มที่ไม่แน่ใจและไม่ตัดสินใจซื้อ โดยให้เหตุผลว่า ไม่ชอบเนื้อสัมผัสที่นุ่มและหนืดเกินไป ปริมาณที่มากเกินไป ไม่ชอบรับประทานผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง และ ยังไม่ตัดสินใจจนกว่าจะเห็นผลิตภัณฑ์จริง ดังตารางที่ 36

ตารางที่ 36 การยอมรับและความสนใจในการซื้อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรปกติ

การยอมรับและการตัดสินใจซื้อ		ร้อยละ
การยอมรับ	ยอมรับ	75
	ไม่ยอมรับ	25
การตัดสินใจซื้อ	ซื้อ	47
	ไม่แน่ใจ	41
	ไม่ซื้อ	12

เมื่อทำการให้ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ เพื่อหาอิทธิพลของการให้ข้อมูลข้อดีของผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจของผู้บริโภคต่อการยอมรับและความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยก่อนการได้รับข้อมูลให้การยอมรับร้อยละ 75 เมื่อได้รับข้อมูลด้านดีของผลิตภัณฑ์ส่งผลให้การยอมรับเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 91 ทำให้การตัดสินใจซื้อเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 47 เพิ่มเป็นร้อยละ 67 ดังตารางที่ 37

ตารางที่ 37 พฤติกรรมผู้บริโภคต่อการยอมรับและความสนใจในการซื้อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรปกติหลังได้รับข้อมูลของผลิตภัณฑ์

การยอมรับและการตัดสินใจซื้อ		ร้อยละ
การยอมรับ	ยอมรับ	91
	ไม่ยอมรับ	9
การตัดสินใจซื้อ	ซื้อ	67
	ไม่ซื้อ	33

เมื่อนำผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรใช้สารให้ความหวานมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ณ บริเวณโรงอาหารกลาง 1 และ 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีลักษณะทางประชากรศาสตร์ดังที่แสดงในตารางที่ 38 โดยผู้ตอบแบบสอบถามคิดเป็นเพศชายและเพศหญิง ร้อยละ 32 และ 68 ตามลำดับ มีอายุอยู่ระหว่าง 15-24 ปี มากที่สุด คือ ร้อยละ 55 รองลงมาคือ 25-34 ปี ร้อยละ 26 การศึกษาของผู้ทดสอบส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรีมากที่สุด คือ ร้อยละ 57 ต่ำกว่าปริญญาตรี ร้อยละ 23 และสูงกว่าปริญญาตรี ร้อยละ 20 ส่วนใหญ่มีอาชีพเป็น นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา ร้อยละ 74 และมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนน้อยกว่า 10,000 บาท ร้อยละ 51 และรองลงมาคือ 10,001-20,000 บาท ร้อยละ 29

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยให้คะแนนความชอบ 1-9 คะแนน ในด้านลักษณะปรากฏ สี(เหลือง) กลิ่นรสข้าวโพดหวาน รสชาติ เนื้อสัมผัส(ความนิ่ม) และด้านความชอบโดยรวม อยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลางดังแสดงในตารางที่ 39 เมื่อทำการสอบถามเกี่ยวกับการยอมรับผลิตภัณฑ์ พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรใช้สารให้ความหวานร้อยละ 85 และไม่ยอมรับร้อยละ 15 โดยให้เหตุผลในด้านของเนื้อสัมผัสที่นิ่มเกินไป รสชาติที่หวานเกินไป กลิ่นรสที่อ่อนเกินไป และสีที่เข้มเกินไป ให้ความสนใจในการซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 51 ไม่แน่ใจร้อยละ 41 และไม่ซื้อร้อยละ 8 โดยกลุ่มที่ตัดสินใจซื้อ ให้เหตุผลว่าชอบรสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ และเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่ ขณะที่กลุ่มที่ไม่แน่ใจและไม่ตัดสินใจซื้อ ให้เหตุผลว่า ไม่ชอบเนื้อสัมผัสที่นิ่มและเหนียวเกินไป ไม่ชอบกลิ่นรสของข้าวโพดหวาน ไม่ชอบทานผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง และ ยังไม่ตัดสินใจจนกว่าจะเห็นผลิตภัณฑ์จริง ดังตารางที่ 40

ตารางที่ 38 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรใช้สารให้ความหวาน

ลักษณะทางประชากรศาสตร์		ร้อยละ
เพศ	ชาย	32
	หญิง	68
อายุ	น้อยกว่า 15 ปี	2
	15-24 ปี	55
	25-34 ปี	26
	35-44 ปี	8
	มากกว่า 45 ปี	9
ระดับการศึกษา	ต่ำกว่าปริญญาตรี	23
	ปริญญาตรี	57
	สูงกว่าปริญญาตรี	20
อาชีพ	นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา	74
	ธุรกิจส่วนตัว / ค้าขาย	6
	ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ	7
	พนักงานบริษัทเอกชน	7
	แม่บ้าน	3
	อื่นๆ	3
รายได้เฉลี่ยต่อเดือน	น้อยกว่า 10,000 บาท	51
	10,001-20,000 บาท	29
	20,001-30,000 บาท	10
	30,001-40,000 บาท	6
	มากกว่า 40,001 บาท	4

ตารางที่ 39 คะแนนความชอบเฉลี่ยของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรใช้สารให้ความหวาน

คุณลักษณะ	ความถี่ (ร้อยละ)									คะแนนความชอบเฉลี่ย
	ไม่ชอบมากที่สุด	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก	ชอบมากที่สุด	
ลักษณะปรากฏ	0	0	1	4	15	19	37	19	5	6.6±1.3
สี (เหลือง)	0	0	0	2	12	14	37	31	4	7.0±1.1
กลิ่นรสข้าวโพดหวาน	0	0	3	2	6	13	37	34	5	7.0±1.3
รสชาติ	0	2	5	5	10	13	36	22	7	6.6±1.6
เนื้อสัมผัส(ความนิ่ม)	0	2	2	12	5	28	29	18	4	6.3±1.6
ความชอบโดยรวม	0	1	2	7	6	13	46	19	6	6.7±1.4

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากผลการทดสอบผู้บริโภค พบว่า การที่ผู้บริโภคให้การตัดสินใจซื้อร้อยละ 51 อาจเป็นเพราะกลุ่มผู้บริโภคที่ทำการทดสอบเป็นกลุ่มของผู้บริโภคทั่วไป ซึ่งมีความแตกต่างกันในเรื่องของความชอบและการรับรู้ทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกัน หรืออาจเป็นเพราะผู้บริโภคไม่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่มีความนิ่มมากและอาจเกิดการเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจลทั่วไป เช่น เยลลี่ ตามท้องตลาด เมื่อทำการให้ข้อมูลของผลิตภัณฑ์เพื่อหาอิทธิพลของการให้ข้อมูลข้อดีของผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจของผู้บริโภคต่อการยอมรับ และความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ พบว่า เมื่อผู้บริโภคได้รับข้อมูลด้านดีของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นที่ไม่มีส่วนผสมของนมโค (non-dairy) หรือส่วนผสมจากสัตว์ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้บริโภคหรือผู้ที่มีอาการแพ้นมโค และผู้ที่บริโภคเจหรือมังสวิรัต โดยมึรสชาติของข้าวโพดหวาน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากน้ำตาลโดยมีการใช้ซูคราโลสเป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลและเสริมใยอาหารซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ จากข้อมูลดังกล่าว ทำให้ผู้บริโภคให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์มากขึ้น โดยก่อนการได้รับข้อมูลให้การยอมรับที่ร้อยละ 85 เมื่อได้รับข้อมูลด้านดีของผลิตภัณฑ์ส่งผลให้การยอมรับเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 91 และให้การตัดสินใจซื้อเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 47 เพิ่มเป็นร้อยละ 85

ดังตารางที่ 40 และ 41 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การให้ข้อมูลด้านคุณประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ มีผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคส่วนใหญ่

ตารางที่ 40 การยอมรับและความสนใจในการซื้อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรใช้สารให้ความหวาน

การยอมรับและการตัดสินใจซื้อ		ร้อยละ
การยอมรับ	ยอมรับ	85
	ไม่ยอมรับ	15
การตัดสินใจซื้อ	ซื้อ	51
	ไม่แน่ใจ	41
	ไม่ซื้อ	8

ตารางที่ 41 พฤติกรรมผู้บริโภคต่อการยอมรับและความสนใจในการซื้อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด หลังได้รับข้อมูลของผลิตภัณฑ์

การยอมรับและการตัดสินใจซื้อ		ร้อยละ
การยอมรับ	ยอมรับ	91
	ไม่ยอมรับ	9
การตัดสินใจซื้อ	ซื้อ	85
	ไม่ซื้อ	15

สรุปผลการทดลอง

1. ผลจากการสำรวจตลาดผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล พุดดิ้งและ ความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ พบว่า มีผลิตภัณฑ์จำหน่ายในท้องตลาด 9 ยี่ห้อ โดย ส่วนใหญ่บรรจุในถ้วยพลาสติกแบ่งได้เป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ราคาประมาณ 50-120 บาท (30-35 กรัม บรรจุห่อละ 15-20 ถ้วย) ขนาดกลาง ราคาประมาณ 15-40 บาท (55-100 กรัม) และ ขนาดใหญ่ ราคาประมาณ 50-120 บาท (200-420 กรัม) เนื้อสัมผัสมีหลากหลาย คือ ตั้งแต่เนื้อ สัมผัสนุ่มมากคล้ายเพสโต้แข็งจนถึงเป็นเจลแข็ง นิยมบริโภคในช่วงเวลาดูโทรทัศน์หรือฟังเพลง ช่วงเวลาอาหารว่างและขณะเล่นอินเทอร์เน็ตหรือใช้คอมพิวเตอร์ วิธีการที่ชอบใช้ในการ รับประทานคือการใช้ช้อนตัก ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส ความ สะอาดของผลิตภัณฑ์ ความสะดวกของบรรจุภัณฑ์ และราคาที่เหมาะสมต่อคุณภาพมากที่สุด นอกจากนี้ยังให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์ที่มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น มีปริมาณไขมันต่ำ น้ำตาลต่ำ ใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ไม่ใช้วัตถุกันเสีย มีการเสริมคุณค่าทางอาหาร และมีความ หลากหลายของเนื้อสัมผัส ผู้บริโภคร้อยละ 90 มีความสนใจในผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่ไม่มีส่วนผสม จากสัตว์และนมโค รสชาติข้าวโพดหวาน และร้อยละ 88 สนใจการใช้สารให้ความหวานแทน น้ำตาลในผลิตภัณฑ์

2. จากการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ขนมหวานโดยใช้สตาร์ชมันสำปะหลัง แคปปา-คาร์ราจีแน และสารให้ความหวาน พบว่า

2.1 ผลของอัตราส่วนของสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแน และชูโครส ในน้ำข้าวโพดหวาน พบว่า ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (trough) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าระยะเวลาที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุด (peak time) และ ค่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) มีค่าลดลง การแทนที่สตาร์ชมัน สำปะหลังด้วยแคปปา-คาร์ราจีแนที่มากขึ้นและการเติมชูโครสส่งผลให้ค่าความแข็งของเจลสูง ขึ้น และปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างลดลง ค่า L^* หรือค่าความสว่างของตัวอย่างมีค่าลดลง b^* และ Chroma มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้สูตรที่เหมาะสมแก่การนำไปพัฒนา

ผลิตภัณฑ์ คือ สูตรที่มีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 3 อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อ แป้ง-คาร์ราจีแนที่ 9:1 ประกอบไปด้วย น้ำข้าวโพดหวานร้อยละ 86.9 ซูโครสร้อยละ 10 สตาร์ชมันสำปะหลังร้อยละ 2.7 แป้ง-คาร์ราจีแนร้อยละ 0.3 และ เกลือร้อยละ 0.1 โดย น้ำหนัก

2.2 เมื่อปริมาณพอลิเด็กซ์โทรสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด (breakdown) ค่า ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าผลต่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (setback) และค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) มีแนวโน้ม เพิ่มขึ้น การใช้พอลิเด็กซ์โทรสเป็นสารเพิ่มปริมาณที่ร้อยละ 10 มีค่าความแข็งของเจลที่ต่ำกว่า ซูโครส และปริมาณพอลิเด็กซ์โทรสที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ส่งผลให้ค่าสี L^* และ Hue ลดลง ขณะที่ค่า a^* b^* และ Chroma มีค่าเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่เติมพอลิเด็กซ์โทรสในระดับร้อยละ 10 ขึ้นไปจึงแลดูมีสีเหลืองเข้มกว่า ตัวอย่างควบคุมและส่งผลต่อการยอมรับในการทดสอบทางประสาทสัมผัส สูตรที่เหมาะสมแก่การ นำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ คือ สูตรที่ใช้ปริมาณพอลิเด็กซ์โทรสร้อยละ 10 ประกอบไปด้วย น้ำ ข้าวโพดหวานร้อยละ 86.9 พอลิเด็กซ์โทรสร้อยละ 10 สตาร์ชมันสำปะหลังร้อยละ 2.7 แป้ง- คาร์ราจีแนร้อยละ 0.3 เกลือร้อยละ 0.1 และ ซูคราโลสร้อยละ 0.0167 โดยน้ำหนัก

3. จากการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดที่พัฒนาได้และการเปลี่ยนแปลง คุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเหลืองสดโดยสูตรใช้พอลิ- เด็กซ์โทรสจะมีสีเหลืองเข้มกว่า มีค่าสีแตกต่างกันในค่า a^* และ Hue ค่าเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง ของเจลมีค่าที่แตกต่างกันโดยสูตรปกติจะมีค่าความแข็งของเจลมากกว่าสูตรใช้สารให้ความหวาน เล็กน้อย ผลิตภัณฑ์จะเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (0-4 องศาเซลเซียส) และมีปริมาณน้ำแยกออกจากผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น จากการทดสอบการยอมรับ ของผู้ทดสอบ พบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 10 วัน ผลิตภัณฑ์ที่ พัฒนาได้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 79.64-80.06 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 15.76-16.39 เส้นใยร้อย ละ 1.89-2.10 โปรตีนร้อยละ 1.26 ไขมันร้อยละ 0.43-0.44 และไขมันร้อยละ 0.38-0.39

4. จากการศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคทั่วไปของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด สูตรปกติเมื่อได้รับข้อมูลด้านดีของผลิตภัณฑ์ร่วมด้วย พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์พุด

ดั่งข้าวโพดร้อยละ 91 ให้การตัดสินใจซื้อร้อยละ 67 และจากการศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคทั่วไปของผลิตภัณฑ์พุดดิ่งข้าวโพดสูตรใช้สารให้ความหวาน พบว่า ผู้บริโภคให้ความสนใจในการซื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 91 ให้การตัดสินใจซื้อร้อยละ 85



ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์พุตติ้งข้าวโพดมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ผู้บริโภคบางส่วนยังคงต้องการพุตติ้งที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เยลลี่ตามท้องตลาด ดังนั้นอาจทำการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องการนำไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ มาประยุกต์ใช้ร่วม เพื่อพัฒนาลักษณะเนื้อสัมผัสให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้มากขึ้น
2. เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยสสารเป็นองค์ประกอบหลัก และมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านของเนื้อสัมผัส จึงควรพิจารณาเพิ่มเติมในด้านของกระบวนการบรรจุและสภาวะการเก็บรักษา เพื่อสามารถยืดอายุผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น และสามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิปกติ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กฤติกา สีนธมมงคลชัย. 2550. **ปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออุปสงค์สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรของไทยในประเทศคู่ค้าสำคัญ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542. **สารให้ความหวาน**. บริษัท จาร์พา เทคโนโลยี จำกัด, กรุงเทพฯ.

_____ และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชาดา คำนวน และ แสงโสม บุญยศักดิ์. 2545. **พุดดิ้งอ้อยสูตรต้นตำรับ**. สำนักพิมพ์หน้าต่างสู่โลกกว้าง, กรุงเทพฯ.

โชคชัย เอกทัศนาวรรณ. **ข้าวโพดหวานลูกผสมเดี่ยวพันธุ์อินทรี 2**. แหล่งที่มา:
http://www.iicrd.ku.ac.th/output/ncsrc_insee2.htm, 11 มีนาคม 2556.

ทวีศักดิ์ ภู่อ่ำ. 2540. **ข้าวโพดหวาน : การปรับปรุงพันธุ์และการปลูกเพื่อการค้า**. โอ.เอส. พรินติ้งเฮาส์, กรุงเทพฯ.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2549. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2546. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน น้ำข้าวโพด**. มผช.124-2546.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2554. **มาตรฐานสินค้าเกษตร ข้าวโพดหวาน**. มกษ. 1512-2554.

สุดใจ สุนาสวน, ยรรยง สมบัติวิชาวร, สิริมา ธนพงศ์พิพัฒน์, คณางค์ ดวงมณี และ เสาวณิต วรดิษฐ์. 2554. รายงานผลการศึกษาลินค้ำเกษตรประเภทมันสำปะหลัง. สำนักงานคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการประกอบธุรกิจการค้าเกษตรล่วงหน้า. กรุงเทพฯ.

สโรชา หวังดี, ศราวุธ ฝอยทอง และ เบญจวรรณ ธรรมธนาภิรักษ์. 2548. การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำข้าวโพด. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ 4(1): 10-20.

ADA Reports. 2004. Position of the American dietetic association: use of nutritive and nonnutritive sweeteners. J. Am. Diet Assoc. 104(2): 255-275.

Alamprese C. and M. Mariotti. 2011. Effect of different milk substitutes on pasting, rheological and textural properties of puddings. LWT-Food Sci. Tech. 44: 2019-2025.

Alija J. and C. Talens. 2012. New concept of desserts with no added sugar. Int. J. Gastronomy Food Sci. 1: 116-122.

Alonso S. and C. Setser. 1994. Functional replacements for sugars in foods. Trends in Food Sci. Technol. 5: 39-46.

Anonymous. 2009. Collins English Dictionary-Complete & Unabridged. 10th ed. Harper Collins Publishers, New York.

_____. 2009. The American Heritage Stedman's Medical Dictionary. Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company, New York.

AOAC. 2006. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. AOAC International, Gaithersburg, Maryland.

- Arcia, P.L., E. Costell and A. Tarrega. 2010. Thickness suitability of prebiotic dairy desserts: relationship with rheological properties. **Food Res. Int.** 43: 2409-2416.
- Ares, G., R. Baixauli, T. Sanz, P. Varela and A. Salvador. 2009. New functional fibre in milk puddings: effect on sensory properties and consumer's acceptability. **LWT Food Sci. Technol.** 42: 710-716.
- Arunyanart, T. and S. Charoenrein. 2008. Effect of sucrose on the freeze-thaw stability of rice starch gels: correlation with microstructure and freezable water. **Carbohydr. Polym.** 74: 514-518.
- Attia, E. A., H. A. Shehata and A. Askar. 1993. An alternative formula for the sweetening of reduced-calorie cakes. **Food Chem.** 48: 169-172.
- Auerbach, M. H. 2002. **GRAS Notification-Polydextrose New Uses**. Danisco Cultor, New York.
- _____, S. Craig and H. Mitchel. 2006. Bulking agents: multi-functional ingredients. pp. 367-392. *In*. H. Mitchell, ed. **Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology**. Academic Press, London.
- Badii, F. and N. K. Howell. 2006. Fish gelatin: structure, gelling properties and interaction with egg albumen proteins. **Food Hydrocoll.** 20: 630-640.
- Baek, M.H., B. Yoo and S.T. Lim. 2004. Effects of sugars and sugar alcohols on thermal transition and cold stability of corn starch gel. **Food Hydrocoll.** 18: 133-142.
- Bayarri, S., L. Duran. and E. Costell. 2003. Compression resistance, sweetener's diffusion and sweetness of hydrocolloids gels. **Int. Dairy J.** 13: 643-653.

- _____, _____ and _____. 2004. Influence of sweeteners on the visco-elasticity of hydrocolloids gelled systems. **Food Hydrocoll.** 18: 611-619.
- BeMiller, J. N. 2008. Hydrocolloids. pp. 203 - 215. *In* E. Arendt and F. Dal Bello, eds. **Gluten-free Cereal Products and Beverages**. Academic Press, London.
- Breuninger, W. F., K. Piyachomkwan and K. Sriroth. 2009. Tapioca/cassava starch: production and use. pp. 541-568. *In*: J. BeMiller and R. Whistler, eds. **Starch Chemistry and Technology**. Academic Press, New York.
- Burey, P., B. R. Bhandari, T. Howes and M. J. Gidley. 2008. Hydrocolloid gel particles: formation, characterization, and application. **Critical Rev. Food Sci. Nutrition.** 48: 361-377.
- Chaisawang, M. and M. Supphantharika. 2006. Pasting and rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. **Food Hydrocoll.** 20: 641-649.
- Chantaro, P. and R. Pongsawatmanit. 2010. Influence of sucrose on thermal and pasting properties of tapioca starch and xanthan gum mixtures. **J. Food Eng.** 98: 44-50.
- Chaudemanche, C. and T. Budtova. 2008. Mixtures of pregelatinised maize starch and **K-carrageenan**: Compatibility, rheology and gelation. **Carbohydr. Polym.** 72: 579-589.
- Chen, C. R. and H. S. Ramaswamy. 1999. Rheology of tapioca starch. **Food Res. Int.** 32: 319-325.

- Cooper, D.R. and P.S. Schindler. 2008. pp. 403-410. **Business Research Method**. 10th ed. Irwin Mcgraw-Hill, Singapore.
- Craig .S.A.S., J.F. Holden and M.Y. Khaled. 2000. Determination of polydextrose as dietary fiber in food. **J. AOAC int.** 83(4): 1006-1012.
- Deffenbaugh, L. B. and C. E. Walker. 2006. Use of the Rapid Visco Analyzer to measure starch pasting properties. **Starch/Stärke**. 41(12): 461-467.
- Densupsoontorn, N., P. Jirapinyo, N. Thamonsiri, S. Chantaratin and R. Wongarn. 2004. Lactose intolerance in Thai adults. **J. Med. Assoc. Thai**. 87(12): 1501-1505.
- Duan, J., Y. Zhao and M. Daeschel. 2011. Ensuring food safety in specialty foods production. **Oregon State University (Extension Service)**, Oregon State University, Oregon State.
- Dziedzic, S. Z. and M. W. Kearsley. 1995. The technology of starch production. pp. 1-25. *In* M. W. Kearsley, ed. **Handbook of Starch Hydrolysis Products and Their Derivatives**. Blackie Academic and Professional, London.
- Early, R. 1998. **The Technology of Dairy Products**. 2nd ed. Blackie Academic & Professional, London.
- Frankel, J.R., N. E. Wallen and H. H. Hyun. 2012. **How to Design and Evaluate Research in Education**. Mc Graw Hill Companies, Inc., New York.
- Ferrari, F., M. Bertoni, M. C. Bonferoni, S. Rossi, M. Saunders, M. E. Aulton, U. Conte and C. Caramella. 1995. Influence of probe shape on gel strength test. **Int. J. Pharmaceuticals**. 121: 11-17.

Ferrero, C., M. N. Martino, N. E. Zaritzky. 1993. Effect of freezing rate and xanthan gum on the properties of corn starch and wheat flour pastes. *Int. J. Food Sci. Tech.* 28: 481–498.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2012. **Cassava Trade Statistics**. Available Source: <http://faostat.fao.org/>, April 17, 2014.

Flood, M. T., M. H. Auerbach and S.A.S. Craig. 2004. A review of the clinical toleration studies of polydextrose in food. *Food Chem. Toxicology*. 42: 1531-1542.

Gelman, A. 2007. Struggles with survey weighting and regression modeling. *Stats. Sci.* 22: 153-164.

Gonzalez-Tomas, L. A. Tarrega and E. Costell. 2005. Functional role of starch and kappa-carrageenan on the rheology and flavor of a custard dessert (Cost 921 recipe). **COST Action 921 Workshop, Enesad**. Dijon, France.

_____ and _____. 2006. Sensory evaluation of vanilla-dairy desserts by repertory grid method and free choice profile. *J. Sensory Studies*. 21(1) 20-33.

Huang, M. J.F. Kennedy, B. Li, X. Xiao and B.J. Xie. 2007. Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan, and glucomannan: A texture profile analysis study. *Carbohydr. Polym.* 69: 411-418.

Imeson, A. P. 2009. Carrageenan and furcellaran. pp. 166-184. *In* G.O. Phillips and P.A. Williams, eds. **Handbook of Hydrocolloids**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

- Ingram, C. J., C. A. Mulcare, Y. Itan, M. G. Thomas and D. M. Swallow. 2009. Lactose digestion and the evolutionary genetics of lactase persistence. **Human Genetics**. 124: 579-591.
- Itan, Y., B. L. Jones, C. J. Ingram, D. M. Swallow and M. G. Thomas. 2010. A worldwide correlation of lactase persistence phenotype and genotypes. **BMC Evolut. Biology**. 10: 36.
- Junpatiw, A., K. Lertrat, K. Lomthaisong and R. Tangwongchai. 2013. Effect of steaming, boiling and frozen storage on carotenoid contents of various sweet corn cultivars. **Int. Food Res. J.** 20(5): 2219-2225.
- Keetels, C. J. A. M., T. van Vliet and P. Walstra. 1996. Gelation and retrogradation of concentrated starch systems: 3. Effect of concentration and heating temperature. **Food Hydrocoll.** 10: 363-368.
- Klaui, H. and Bauernfeind J. C. 2012. Carotenoids as food color. pp. 48-53. *In* J. C. Bauerfeind, ed. **Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors**. Academic Press, London.
- Kroh, L. W. 1994. Caramelisation in food and beverages. **Food Chem.** 51: 373-379.
- Krüger, A., C. Ferrero and N.E. Zaritzky. 2003. Modelling corn starch swelling in batch systems: effect of sucrose and hydrocolloids. **J. Food Eng.** 58: 125-133.
- Leonadi, M., P. Gerbault, M. G. Thomas and J. Burger. 2012. The evolution of lactase persistence in Europe: A synthesis of archaeological and genetic evidence. **Int. Dairy J.** 22: 88-97.

- Lim, H. S. and G. Narsimhan. 2006. Pasting and rheological behavior of soy protein-based pudding. **LWT Food Sci. Technol.** 39: 343-349.
- Martinez-Cervera, S., T. Sanz, A. Salvador and S. M. Fiszman. 2012. Rheological, textural and sensorial properties of low-sucrose muffins reformulated with sucralose /polydextrose. **LWT Food Sci. Technol.** 45: 213-220.
- Messia, M. C., T. Candigliota, and E. Marconi. 2007. Assessment of quality and technological characterization of lactose-hydrolyzed milk. **Food Chem.** 104: 910-917.
- Molinary, S. V., M. E Quinlan. 2006. Sucralose. pp. 130-144. *In* H. Mitchell, ed. **Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology**. Academic Press, London.
- Necas, J. and L. Bartosikova. 2013. Carrageenan: a review. **Vet Med.** 58: 187-205.
- Newport Scientific. 1995. **Operation Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyzer**. Newport Scientific Pty, Ltd., Australia.
- Nunes, M. C., P. Batista, A. Raymundo, M.M. Alves and I. Sousa. 2003. Vegetable proteins and milk puddings. **Colloids Surfaces B: Biointerfaces.** 31: 21-29.
- Nussinovitch, A. 1997. **Hydrocolloid Applications**. Chapman & Hall, London.
- Phillips G.O. and P.A. Williams. 2009. Introduction to food hydrocolloids. pp. 829-845. *In* G.O. Phillips and P.A. Williams, eds. **Handbook of Hydrocolloids**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

- Piculell, L. 1995. Gelling carrageenans. pp. 239-276. *In* A. M. Stephen and G. O. Phillips, eds. **Food Polysaccharides and Their Applications**. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Pongsawatmanit, R., P. Thanasukarn and S. Ikeda. 2002. Effect of sucrose on RVA viscosity parameters, water activity and freezable water fraction of cassava starch suspensions. **Sci. Asia**. 28: 129-134.
- Putala, H. 2013. Polydextrose in Lipid Metabolism. pp. 233-260. *In* R. V. Baez, ed. **Lipid Metabolism**. Intech, New York.
- Quinchia, L. A., C. Valencia, P. Partal, J. M. Franco, E. Brito-de la Fuente and C. Gallegos. 2010. Linear and non-linear viscoelasticity of puddings for nutritional management of dysphagia. **Food Hydrocoll.** 1-8.
- Raid G. S., J. K. Brecht and S. T. Talcott. 2003. Browning of fresh-cut sweet corn kernels after cooking is prevented by controlled atmosphere storage. **ISHS Acta Horticulturae**. 628 : XXVI International Horticultural Congress.
- Ramakrishnan, S., C. Gerardin and R. K. Prud'homme. 2004. Syneresis of carrageenan gels: NMR and Rheology. **Soft Materials**. 2: 145-153.
- Raninen, K., J. Lappi, H. Mykkanen and K. Poutanen. 2011. Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. **Nutrition Rev.** 69(1): 9-21.
- Ravisharma, D. P. S., D. S. Oberoi, D. S. Sogi and B. S. Gill. 2009. Effect of sugar and gums on the pasting properties of cassava starch. **J. Food Processing Preservation**. 33: 401-414.

- Ronda, F., Gómez, M., Blanco, C. A. and Caballero, P. A. 2005. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sucrose-free sponge cakes. **Food Chem.** 90(4): 549-555.
- Saha, D. and S. Bhattacharya. 2010. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. **J. Food Sci. Technol.** 47(6): 587-597.
- Saulo, A. A. 2005. Sugar and sweeteners in foods. **Food Safety and Technol.** 16: 1-7.
- Schenck, F.W. 1992. Corn and corn products. pp.482-490 *In* Y.H. Hui, ed. **Encyclopedia of Food Science and Technology**. Vol.1, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Scherer, G. W. 1999. Structure and properties of gels. **Cement Concrete Res.** 29: 1149-1157.
- Schirmer M., M. Jekle, E. Arendt and T. Becker. 2012. Physicochemical interactions of polydextrose for sucrose replacement in pound cake. **Food Res. Int.** 48: 291-298.
- Self, K. P., T. J. Wilkins, M. J. Morley and C. Bailey. 1990. Rheological and heat transfer characteristics of starch-water suspensions during cooking. **J. Food Eng.** 11(4): 291-316.
- Shi, X. and J.N BeMiller. 2002. Effect of food gum on viscosity of starch suspensions during pasting. **Carbohydr. Polym.** 50: 7-18.
- Song, J.Y., J.Y., Kwon, J. Choi, Y.C. Kim and M. Shin. 2006. Pasting properties of non-waxy rice starch–hydrocolloid mixtures. **Starch/Stärke.** 58: 223-230.

- Srisuvor, N., N. Chinprahast, C. Prakitchaiwattana and S. Subhimaros. 2013. Effects of inulin and polydextrose on physicochemical and sensory properties of low-fat set yoghurt with probiotic-cultured banana purée. **LWT Food Sci. Technol.** 51: 30-36.
- Stanley, N. 2011. Production, properties and uses of carrageenan. **FAO Corporate Document Repository**. FMC Corporation, USA.
- Stephen, A.M. 1995. **Food Polysaccharides and Their Applications**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Sudhakar V., R.S. Singhal, P.R. Kulkarni. 1995. Effect of sucrose on starch–hydrocolloid interactions. **Food Chem.** 52: 281-284.
- Tabio-Munizaga, G. and G. V. Babosa-Canovas. 2005. Rheology for the food industry. **J. Food Eng.** 67:147-156.
- Taggart, P. and J. R. Mitchell. 2009. Starch. pp. 109-139. *In* G.O. Phillips and P.A. Williams, eds. **Handbook of Hydrocolloids**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Tarrega, A. L. Duran and E. Costell. 2004. Flow behaviour of semi-solid dairy desserts: effect of temperature. **Int. Dairy J.** 14: 345-353.
- _____, _____ and _____. 2005. Rheological characterization of semisolid dairy desserts. Effect of temperature. **Food Hydrocoll.** 19: 133-139.
- Tecante, A and M. C. N. Santiago. 2012. Solution properties of kappa-carrageenan and its interaction with other polysaccharides in aqueous media. pp. 241-264. *In* J. D. Vincente, ed. **Rheology**. InTech, Croatia.

- Thomas, W.R. 1997. Carageenan. pp. 45-59. *In* A. Imeson, ed. **Thickening and Gelling Agents for Food**. Blackie Academic & Professional, London.
- Torley, P.J. and F.V.D. Molen. 2005. Gelatinization of starch in mixed sugar systems. **LWT Food Sci. Technol.** 38: 762-771.
- Vasanthan T., J. Li, D. Bressler and R. Hoover. 2012. Starch and gelling agent. pp. 33-68. *In* J. Ahmed, B. K. Tiwari, S. H. Imam and M. A. RAO, eds. **Starch-Based Polymeric Materials and Nanocomposites: Chemistry, Processing, and Applications**. CRC press, Denver.
- Verbeken, D., K. Bael, O. Thas and K. Dewettinck. 2006. Interactions between k-carrageenan, milk proteins and modified starch in sterilized dairy desserts. **Int. Dairy J.** 16: 482-488.
- Yoshimura, M., T. Takaya and K. Nishinari. 1997. Rheological studies on mixtures of corn starch and konjac-glucomannan. **Carbohydr. Polym.** 35: 11-19.
- Zhang, X., Q. Tong, W. Zhu and F. Ren. 2013. Pasting, rheological properties and gelatinization kinetics of tapioca starch with sucrose or glucose. **J. Food Eng.** 114: 255-261.
- Zheng, G. H. and F. W. Sosulski. 1998. Determination of water separation from cooked starch pastes after refrigeration and freeze-thaw. **J. Food Sci.** 63: 134-139.





ตารางผนวกที่ ก1 ผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่จำหน่ายในท้องตลาด

ตราสินค้า	ลักษณะเด่น	ส่วนประกอบ	ขนาดบรรจุ/ ราคา (กรัม)	บริษัทผู้ผลิต
สวีท พุดดิ้ง	รสโกโก้ และชาเขียว เนื้อเจลยุบอ่อนตัว มีซอส มีส่วนผสมของนม	นมผง 6.5% ผงโกโก้ 12% น้ำตาล 10% น้ำมันมะพร้าว 5% แซนแทนกัม 1.5%	100±4 กรัม ถ้วยตัก	บ.อาหารเจ หยงผั่น จำกัด 48/31 หมู่ 1 ซ.จุฬพงษ์ แขวงสามด้า เขตบางขุนเทียน กทม. 10150
ชอต มอนเต	รสนม กลิ่นวานิลลา มีส่วนผสม ของนม เนื้อสัมผัสคล้ายเพสท์ ต้องจำหน่ายแช่เย็น	นม 50% ครีม น้ำตาล สตาร์ชตัด แปร์ คาร์ราจีแนน โลคัสปีนกัม แคลเซียมซิเตรด ฮาเซลนัทเพสท์	55 กรัม x 4 ถ้วย 79 บ.	ชอท์ เอส อี เมอร์ทีนเจน เยอรมนี
โคโคน	รสชาติผลไม้ เนื้อเจล มีส่วนผสมของนม มีวุ้นมะพร้าว	วุ้นมะพร้าว 17.25% น้ำตาล 14% น้ำผลไม้ 5% นมผง 1.15% คาร์ราจีแนน 0.5% เจือสี แต่งกลิ่น	80 กรัม x 6 ถ้วย 35 กรัม. x 15 ถ้วย ถ้วยบีบ และถ้วยตัก	โคโคนฟู้ด อินดรัสตรี มาเลเซีย

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตราสินค้า	ลักษณะเด่น	ส่วนประกอบ	ขนาดบรรจุ/ ราคา (กรัม)	บริษัทผู้ผลิต
โคค่อน (อะโลฮ่าพุตติ้ง)	รสชาติมะม่วงและลิ้นจี่ เนื้อเจล มีส่วนผสมของนม วุ้นมะพร้าว และวุ้นหางจระเข้	น้ำตาล 15.72% วุ้นมะพร้าว 9.43% วุ้นหางจระเข้ 4.72% นมผง 1.44% น้ำมะม่วง 1.31% คาร์ราจีแนน 0.91%	192 กรัม/ถ้วยตัก	โคค่อนฟู้ด อินดรัสตรี มาเลเซีย
โคค่อน (คิงพุตติ้ง)	รสชาติเมล่อน และลิ้นจี่ เนื้อเจล มีส่วนผสมของนม มีวุ้น มะพร้าว และวุ้นหางจระเข้	น้ำตาล 15.45% วุ้นมะพร้าว 15.45% นมผง 1.42% น้ำผลไม้ 1.29% คาร์ราจีแนน 0.84%	420 กรัม/ถ้วยตัก ขนาดใหญ่	โคค่อนฟู้ด อินดรัสตรี มาเลเซีย
สแน็คแพ็ค	รสนม กลิ่นวานิลลา มีส่วนผสม ของนม เนื้อสัมผัสคล้ายเพสท์	นม, น้ำ, น้ำตาลทราย, สตาร์ชมัน สำปะหลังตัดแปรรูป, น้ำมันพืช,	3.5 ออนซ์ x 4 ถ้วย 125 บ.	คอนอะกรา ฟู้ด สหรัฐอเมริกา

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตราสินค้า	ลักษณะเด่น	ส่วนประกอบ	ขนาดบรรจุ/ ราคา (กรัม)	บริษัทผู้ผลิต
		ส่วนประกอบที่น้อยกว่า 2% ได้แก่ สตาร์ชข้าวโพดดัดแปร, กรดซิตริก, คาร์ราจีแนน, โปแทสเซียมซิเตรด, โซเดียมซิเตรด, เกลือ, พอลิซอร์เบท , เจือสี แต่งกลิ่นสังเคราะห์		
เอเล่ แอนด์ เวียร์	รสวานิลลา มีส่วนผสมของนม เนื้อสัมผัสคล้ายเพสท์ ต้องจำหน่ายแช่เย็น	นมโค 56.89% แลคโตส 20% น้ำตาล 14.5% สตาร์ชข้าวโพด 2% นมพว่องมันเนย 2% กลูโคสซีรัป 2%	100 กรัม x 4 ถ้วย 158 บ.	เอลเวียร์ เมือง คอนเด เซอ เวียร์ ฝรั่งเศส

คำถามและขั้นตอนการอภิปรายกลุ่ม (Focus group discussion)

วัตถุประสงค์ในการอภิปรายกลุ่ม

เพื่อรวบรวมแนวความคิดของผู้บริโภคเกี่ยวกับด้านพฤติกรรมการบริโภค การซื้อและทัศนคติต่อผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล

ขั้นตอนดำเนินงาน

1. ประธานแนะนำตัว แจกรายละเอียดเกี่ยวกับการร่วมอภิปรายกลุ่มให้ผู้ร่วมอภิปรายกลุ่มได้ทราบถึงวัตถุประสงค์ เป้าหมาย รวมถึงให้ผู้ร่วมกลุ่มเข้าใจบทบาท และหน้าที่ตนเองในการทำการอภิปรายกลุ่ม
2. แจกรายละเอียด ได้แก่
 - ให้ผู้ร่วมอภิปรายกลุ่ม ได้ทราบว่ามีการบันทึกเทปการอภิปราย ซึ่งเทปที่บันทึกดังกล่าวจะไม่มีเสียงถึงรายชื่อผู้เข้าร่วมการอภิปรายกลุ่ม
 - ให้ผู้ร่วมอภิปรายแนะนำตัว พูดเสียงดังเพื่อจะได้ให้ผู้ร่วมอภิปรายทุกท่านได้ยินเสียงอย่างชัดเจน และไม่พูดแทรกระหว่างผู้ร่วมอภิปรายคนอื่นกำลังแสดงความคิดเห็น
 - หลีกเลี่ยงการพูดคุยกันเองระหว่างผู้ร่วมกลุ่ม
 - ประธานอธิบายให้ทราบถึง ลักษณะของผลิตภัณฑ์
3. การสำรวจคำถามทั่วไป (20 นาที) อภิปรายเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภค และพฤติกรรมการซื้อ

คำถามทั่วไป

- ลักษณะของผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลที่เคยรับประทาน
- โอกาสในการรับประทาน
- ปัจจัยในการเลือกซื้อ
- ปริมาณที่เลือกซื้อ

- ราคาที่ซื้อต่อครั้ง
- วิธีการและพฤติกรรมในการรับประทาน
- สถานที่ซื้อ
- ปัญหาที่พบ

4. การสำรวจคำถามเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์(30 นาที) สอบถามคำถามอย่างละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

คำถามเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

- ท่านรู้จักอาการที่ร่างกายไม่ย่อยโปรตีนจากนมโค (Lactose intolerant) หรือไม่? และท่านมีความคิดเห็นอย่างไรหากมีการนำส่วนผสมอื่นมาใช้ทดแทนนมโคในผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล ยกตัวอย่าง
- ท่านอยากให้มีการเสริมหรือปรับลดส่วนประกอบบางอย่าง เพื่อส่งเสริมสุขภาพหรือไม่ อย่างไร?
- ถ้ามีผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากแลคโตสและปราศจากน้ำตาล สนใจหรือไม่?
- ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ
- ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ
- รูปแบบภาชนะบรรจุและฉลากโภชนาการที่ต้องการ
- อายุการเก็บรักษาที่ต้องการ

5. สรุป (5 นาที) กล่าวปิดการอภิปรายกลุ่ม ขอบขอบคุณผู้ร่วมอภิปรายและแจกของที่ระลึก

แบบสอบถาม

การสำรวจพฤติกรรม ทักษะ และความต้องการของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล

คำชี้แจง: แบบสอบถามชุดนี้เป็นงานการสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อ ผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล จัดทำขึ้นเพื่อประกอบวิทยานิพนธ์ของ นางสาวสลิลดา เศรษฐา นิลิตปริญญาโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของท่านจะนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลเพื่อสุขภาพ โดยแบบสอบถามจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง

คำอธิบาย:

ผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล คือ ขนมหวานที่มีลักษณะกึ่งแข็ง (Semi-solid) มีความนุ่ม ยืดหยุ่น เช่น เยลลี่ พุดดิ้ง เป็นต้น

ข้าวโพดหวานเป็นข้าวโพดที่ใช้เป็นอาหารก่อนที่จะแก่ มีการนำมาแปรรูปเป็นข้าวโพดต้มพร้อมรับประทาน และในรูปเครื่องดื่มหรือเรียกว่า น้ำข้าวโพด ซึ่งในปัจจุบันน้ำข้าวโพดเป็นที่รู้จักและได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากมีกลิ่นรสที่อร่อยเป็นที่ชื่นชอบและยอมรับจากผู้บริโภค

คำแนะนำ: โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ ตามคำตอบที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน
ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ

☐ 1. ชาย

☐ 2. หญิง

2. อายุ

☐ 1. น้อยกว่า 15 ปี

☐ 2. 15 – 24 ปี

☐ 3. 25 – 34 ปี

☐ 4. 35 – 44 ปี

☐ 5. 45 ปีขึ้นไป

3. ระดับการศึกษาสูงสุดที่ได้รับ

☐ 1. ต่ำกว่าปริญญาตรี

☐ 2. ปริญญาตรี

☐ 3. สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

☐ 1. นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา

☐ 2. ธุรกิจส่วนตัว / ค้าขาย

☐ 3. ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ

☐ 4. พนักงานบริษัทเอกชน

☐ 5. แม่บ้าน

☐ 6. อื่นๆ (โปรดระบุ)

5. รายได้ต่อเดือน

☐ 1. น้อยกว่า 10,000 บาท

☐ 2. 10,001 – 20,000 บาท

☐ 3. 20,001 – 30,000 บาท

☐ 4. 30,001 – 40,000 บาท

☐ 5. มากกว่า 40,001 บาท

ส่วนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล

6. ท่านรับประทานผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลในช่วงเวลาใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- | | |
|---|---|
| ☐ 1. เดินทาง | ☐ 6. สังสรรค์กับเพื่อนฝูง หรือครอบครัว |
| ☐ 2. อ่านหนังสือ | ☐ 7. เวลาอาหารว่าง |
| ☐ 3. ทำงาน | ☐ 8. หลังมื้ออาหาร |
| ☐ 4. เล่นเกมส์ | ☐ 9. เล่นอินเทอร์เน็ต |
| ☐ 5. ดูโทรทัศน์หรือฟังเพลง | ☐ 10. อื่นๆ (ระบุ.....) |

7. โปรดเลือกวิธีการที่ท่านชอบที่สุดในการบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล

- ☐ 1. ทานจากถ้วยโดยใช้ช้อนตัก
- ☐ 2. ทานจากถ้วยโดยวิธีบีบ ไม่ต้องใช้ช้อนตัก
- ☐ 3. ทานโดยวิธีการดูด
- ☐ 4. ทานลักษณะเป็นชิ้น ขนาดพอดีคำ
- ☐ 5. ถ่ายใส่ถ้วยหรือจัดใส่จานให้สวยงามก่อนนำมารับประทาน
- ☐ 6. อื่นๆ (ระบุ)

8. ปัญหาใดบ้างที่ท่านเคยพบในการรับประทานผลิตภัณฑ์ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- | | |
|---|--|
| ☐ 1. ไม่เคยพบปัญหา | ☐ 8. เสื่อมเสียเร็วกว่าวันหมดอายุในฉลาก |
| ☐ 2. บรรจุภัณฑ์เปิดยาก | ☐ 9. เกิดการแยกชั้น มีน้ำแยกออกมา |
| ☐ 3. หกเลอะเทอะระหว่างรับประทาน | ☐ 10. ราคาแพง |
| ☐ 4. รสชาติหวานเกินไป | ☐ 11. อื่นๆ (ระบุ.....) |
| ☐ 5. ทานแล้วรู้สึกว่าเป็นสิ่งที่ไม่ดีต่อสุขภาพ เช่น รู้สึกอ้วน | |
| ☐ 6. มีกลิ่นรสที่ไม่เป็นธรรมชาติ | |
| ☐ 7. มีกลิ่นรสแปลกปลอม เช่น กลิ่นเค็ม | |

9. ท่านซื้อผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจลจากสถานที่ใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- | | |
|--|---|
| ☐ 1. ไฮเปอร์มาร์เก็ต (เช่น Lotus, Big C, Makro) | ☐ 5. ตลาด หรือ ตลาดนัด |
| ☐ 2. ซูเปอร์มาร์เก็ต (เช่น Tops, Foodland) | ☐ 6. อื่นๆ (ระบุ.....) |
| ☐ 3. ร้านสะดวกซื้อ (เช่น 7-eleven, Familymart) | |
| ☐ 4. ร้านขนมหวานหรือร้านเบเกอรี่ | |

10. ท่านให้ความสำคัญกับปัจจัยต่างๆ ในการรับประทาน ผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็น
เจลมากน้อยเพียงใด กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ที่ระดับความสำคัญที่ตรงกับความคิดเห็นของ
ท่านมากที่สุด

ปัจจัยที่ท่านให้ความสำคัญในการซื้อผลิตภัณฑ์ขนมหวาน ที่มีลักษณะเป็นเจล	ระดับความสำคัญในการเลือกซื้อ				
	มาก ที่สุด	มาก	ปาน กลาง	น้อย	น้อย ที่สุด
1. สีของผลิตภัณฑ์					
2. กลิ่นผลไม้					
3. รสชาติ					
4. เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น ความนุ่ม ลื่น ยืดหยุ่น					
5. มีเนื้อสัมผัสหลากหลายรวมอยู่ เช่น มีซอส ร่วน เนื้อธัญพืช หรือเนื้อผลไม้ปั่น					
6. ใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ					
7. ความสะอาดของผลิตภัณฑ์					
8. มีปริมาณไขมันต่ำ					
9. มีปริมาณน้ำตาลต่ำ					
10. มีการเสริมคุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามิน แคลเซียม ใยอาหาร ฯลฯ					
11. ไม่ใช้วัตถุกันเสีย					
12. บรรจุภัณฑ์สะดวกต่อการบริโภค					
13. บรรจุภัณฑ์ที่น่าสนใจ					
14. บรรจุภัณฑ์ใส มองเห็นเนื้อผลิตภัณฑ์					
15. อายุการเก็บรักษานานกว่ายี่ห้ออื่น					
16. สามารถเก็บรักษาได้โดยไม่ต้องแช่เย็น					
17. ฉลาก					
18. ชื่อเสียงและภาพลักษณ์ของยี่ห้อสินค้า					
19 .ความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์					
20. ความสะดวกในการหาซื้อ					
21. ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ					
22. เครื่องหมายรับรองคุณภาพ					

ส่วนที่ 3 ข้อมูลแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล

11. ถ้ามีการพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ้งที่ไม่มีส่วนผสมของผลิตภัณฑ์จากสัตว์ และนมโค (non-dairy) โดยมีรสชาติของข้าวโพดหวาน ท่านสนใจหรือไม่

☐ 1. สนใจ

☐ 2 ไม่สนใจ เพราะ.....

12. หากมีการใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ ท่านจะสนใจหรือไม่

☐ 1. สนใจ

☐ 2. ไม่สนใจ เพราะ.....

13. ท่านคิดว่าผลิตภัณฑ์พุดดิ้งรสข้าวโพดหวานควรมีการเติมเนื้อข้าวโพดหรือไม่

☐ 1. ไม่ต้องมีการเติม

☐ 2. ควรมีการเติมเนื้อข้าวโพดหวาน

☐ 3. อื่นๆ โปรดระบุ.....

***** ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามค่ะ *****

แบบสอบถามความชอบโดยวิธี 9-Points Hedonic Scale
ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

ผลิตภัณฑ์.....พุดดิ้งรสข้าวโพดหวาน.....

คำแนะนำ : ทดสอบผลิตภัณฑ์แล้วให้คะแนนความชอบต่อตัวอย่าง โดยให้คะแนนตามคำอธิบายที่กำหนดไว้ ทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา (โดยทำการทดสอบครั้งละ 3 ตัวอย่าง) แล้วให้คะแนนความชอบและความพอใจต่อคุณลักษณะต่างๆ ตามคำอธิบายด้านล่าง

คะแนนความชอบ(9-Points hedonic scale)

- 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 6 = ชอบเล็กน้อย
 2 = ไม่ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง
 3 = ไม่ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก
 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 9 = ชอบมากที่สุด
 5 = เฉยๆ

คะแนนความพอใจ(JAR)

- 1 = น้อยเกินไปมาก
 2 = น้อยเกินไปเล็กน้อย
 3 = พอดี
 4 = มากเกินไปเล็กน้อย
 5 = มากเกินไปมาก

คุณ ลักษณะ	รหัสตัวอย่าง											
	ความ ชอบ	รู้สึก	ความ ชอบ	รู้สึก	ความ ชอบ	รู้สึก	ความ ชอบ	รู้สึก	ความ ชอบ	รู้สึก	ความ ชอบ	รู้สึก
สี												
รสหวาน												
กลิ่นรส												
ความนิ่ม												
ความชอบ โดยรวม												

ข้อเสนอแนะ.....

แบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง: แบบสอบถามชุดนี้เป็นการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ พุดดิ้งข้าวโพด ของ นางสาว สลิลดา เศรษฐา นิสิตปริญญาโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงใคร่ขอความกรุณาจากท่านในการทดสอบผลิตภัณฑ์และตอบแบบสอบถาม ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบมาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีมา ณ โอกาสนี้ โดยแบบสอบถามจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับคุณประโยชน์ของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด

คำอธิบาย:

พุดดิ้ง คือ ขนมหวานที่มีลักษณะกึ่งแข็ง (Semi-solid) ประกอบไปด้วย สตาร์ชหรือธัญพืช นม ไข่ หรือผลไม้ หรือส่วนผสมอื่นๆ ซึ่งผ่านการต้ม นึ่ง หรือ อบ มีลักษณะที่อ่อนนุ่ม มีความคงตัว ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายตั้งแต่ เนื้อสัมผัสนิ่มเป็นเจลอ่อนนุ่ม เนื้อสัมผัสเป็นครีมข้นจนถึงเนื้อสัมผัสแน่นและหนัก

ข้าวโพดหวานเป็นข้าวโพดที่ใช้เป็นอาหารก่อนที่จะแก่ มีการนำมาแปรรูปเป็นข้าวโพดต้มพร้อมรับประทาน และในรูปเครื่องดื่มหรือเรียกว่า น้ำข้าวโพด ซึ่งมีกลิ่นรสที่อร่อยเป็นที่ชื่นชอบและยอมรับจากผู้บริโภค นอกจากนี้ยังมีสารแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

คำแนะนำ: โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ ตามคำตอบที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ

☐ 1. ชาย

☐ 2. หญิง

2. อายุ

☐ 1. น้อยกว่า 15 ปี

☐ 2. 16 – 24 ปี

☐ 3. 25 – 34 ปี

☐ 4. 35 – 44 ปี

☐ 5. 45 – 54 ปี

☐ 6. 55 ปีขึ้นไป

3. ระดับการศึกษาสูงสุดที่ได้รับ

☐ 1. ต่ำกว่าปริญญาตรี

☐ 2. ปริญญาตรี

☐ 3. สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

☐ 1. นักเรียน / นิสิต / นักศึกษา

☐ 2. ธุรกิจส่วนตัว / ค้าขาย

☐ 3. ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ / เจ้าหน้าที่รัฐ

☐ 4. พนักงานบริษัทเอกชน

☐ 5. พ่อบ้าน / แม่บ้าน

☐ 6. อื่นๆ (โปรดระบุ))

5. รายได้ต่อเดือน

☐ 1. น้อยกว่า 10,000 บาท

☐ 2. 10,001 – 20,000 บาท

☐ 3. 20,001 – 30,000 บาท

☐ 4. 30,001 – 40,000 บาท

☐ 5. มากกว่า 40,001 บาท

ส่วนที่ 2 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์พุตติ้งข้าวโพด

6. กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์พุตติ้งข้าวโพด แล้วใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคะแนน
ความชอบด้านล่างให้ตรงกับความรู้สึกที่มีต่อผลิตภัณฑ์

	ไม่ชอบ ที่สุด	ไม่ชอบ มาก	ไม่ชอบ ปาน กลาง	ไม่ชอบ เล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบ เล็กน้อย	ชอบ ปาน กลาง	ชอบ มาก	ชอบ ที่สุด
ลักษณะปรากฏ									
สี (เหลือง)									
กลิ่นรสข้าวโพดหวาน									
รสชาติ									
เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม)									
ความชอบรวม									

ข้อเสนอแนะ.....

7. ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์นี้หรือไม่
- ☐ 1. ยอมรับ
- ☐ 2. ไม่ยอมรับ เพราะ.....
8. ถ้ามีผลิตภัณฑ์พุตติ้งข้าวโพด จำหน่ายในราคาประมาณถ้วยละ 15 บาท (80 กรัม) ท่านจะซื้อหรือไม่
- ☐ 1. ซื้อ (ตอบคำถามข้อ 9 ต่อ)
- ☐ 2. ไม่แน่ใจ (ข้ามไปตอบคำถามข้อ 10)
- ☐ 3. ไม่ซื้อ (ข้ามไปตอบคำถามข้อ 10)
9. ท่านมีความสนใจซื้อ ผลิตภัณฑ์พุตติ้งข้าวโพด เพราะเหตุใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
- ☐ 1. รสชาติอร่อย ☐ 2. เป็นผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่
- ☐ 3. คุณค่าทางโภชนาการ ☐ 4. ราคาเหมาะสม
- ☐ 5. อื่นๆ โปรดระบุ.....

10. ท่านไม่แน่ใจหรือไม่ซื้อผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด เพราะเหตุผลใด

(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- ☐ 1. ต้องปรับปรุงคุณภาพอีก (เช่น สี กลิ่น)
- ☐ 2. รสชาติไม่ถูกปาก
- ☐ 3. ราคา (โปรดระบุ.....)
- ☐ 4. เนื้อสัมผัส นุ่มหรือแข็งเกินไป (โปรดระบุ.....)
- ☐ 5. อื่นๆ (โปรด ระบุ.....)

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับคุณประโยชน์ของผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพด

คำแนะนำ กรุณาอ่านคำอธิบายต่อไปนี้

ผลิตภัณฑ์ พุดดิ้งข้าวโพด นี้เป็นขนมหวานที่ไม่มีส่วนผสมของนมโค (non-dairy) หรือส่วนผสมจากสัตว์ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้บริโภคหรือผู้ที่มีอาการแพ้แลคโต และผู้ที่บริโภคเจหรือมังสวิรัต โดยมีส่วนผสมของข้าวโพดหวาน และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากน้ำตาล โดยมีการใช้ซูคราโลสเป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล และเสริมใยอาหารซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ

11. หลังจากท่านได้รับข้อมูลดังที่อธิบายข้างต้นแล้ว ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์นี้หรือไม่

- ☐ 1. ยอมรับ
- ☐ 2. ไม่ยอมรับ เพราะ.....

12. ถ้ามี “ผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวโพดสูตรใช้สารให้ความหวานและมีใยอาหารสูง” จำหน่ายในราคาประมาณถ้วยละ 15 บาท (80 กรัม) ท่านจะซื้อหรือไม่

- ☐ 1. ซื้อ
- ☐ 2. ไม่ซื้อ เพราะ.....

***** ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามค่ะ *****



ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์สมบัติเพสติง

ตารางผนวกที่ ข1 สมบัติเพสติ้งของตัวอย่างผสมของ สตาร์ชมันสำปะหลัง:แคปปา-คาร์ราจีแนน ในน้ำข้าวโพดหวานที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 10:0, 9.5:0.5 และ 9:1 ที่ซูโครส ร้อยละ 0 และร้อยละ 10

พอลิแซคคาไรด์ทั้งหมด (ร้อยละ)	ซูโครส (ร้อยละ)	อัตราส่วน (TS:kCAR)	ความหนืด (cP)					Pasting temperature (°C)
			Peak viscosity	Trough	Breakdown	Final viscosity	Setback	
2	0	10:0	386.3±42.2 ^{cdFGH}	320.8±12.4 ^{aEF}	44.5±9.5 ^{cF}	438.3±24.0 ^{bEF}	109.8±25.1 ^{cdDE}	73.2±0.8 ^{dD}
		9.5:0.5	331.0±39.6 ^{deGH}	276.8±25.1 ^{bcFG}	40.8±12.7 ^{cF}	384.8±32.5 ^{cFG}	102.3±16.1 ^{dE}	74.0±0.7 ^{cdCD}
		9:1	295.3±38.9 ^{bH}	254.8±17.0 ^{cG}	35.0±14.9 ^{cF}	363.8±16.0 ^{cG}	101.5±9.9 ^{dE}	74.7±0.4 ^{bcBC}
	10	10:0	492.7±46.3 ^{aE}	343.7±27.4 ^{aE}	149.0±39.6 ^{aE}	513.0±44.6 ^{aD}	192.5±37.1 ^{aB}	74.6±0.3 ^{bcBC}
		9.5:0.5	454.7±21.0 ^{abEF}	332.7±27.8 ^{aE}	100.3±19.4 ^{bEF}	496.3±34.4 ^{bDE}	154.3±27.7 ^{abBC}	75.3±0.9 ^{abAB}
		9:1	422.0±3.6 ^{bcEFG}	311.7±27.2 ^{abEF}	88.3±16.0 ^{bEF}	481.7±33.3 ^{bDE}	166.3±22.8 ^{bcBC}	75.8±0.2 ^{aA}
3	0	10:0	926.5±98.1 ^{cC}	670.8±24.6 ^{bB}	255.8±80.8 ^{cdCD}	851.3±60.0 ^{bB}	180.3±25.1 ^{bcBC}	71.3±0.6 ^{dF}
		9.5:0.5	791.5±94.4 ^{dD}	617.3±25.8 ^{bcCD}	178.8±50.3 ^{dDE}	753.8±32.0 ^{cC}	150.7±24.1 ^{cBCD}	71.6±0.5 ^{cdEF}
		9:1	755.8±81.5 ^{dD}	590.3±24.7 ^{cD}	158.8±55.2 ^{dE}	747.5±32.2 ^{cC}	144.0±26.1 ^{bcCDE}	72.3±0.4 ^{cE}
	10	10:0	1219.3±23.6 ^{aA}	723.0±52.5 ^{aA}	480.7±95.2 ^{aA}	982.0±42.4 ^{aA}	244.0±22.6 ^{aA}	73.3±0.6 ^{bD}
		9.5:0.5	1073.0±24.3 ^{bB}	625.0±35.5 ^{bcCD}	397.3±84.1 ^{abB}	884.0±65.1 ^{bB}	188.0±30.5 ^{abBC}	74.1±0.2 ^{aCD}
		9:1	1014.7±14.4 ^{bcBC}	649.0±25.2 ^{bBC}	324.7±66.3 ^{bcBC}	867.3±63.4 ^{bB}	192.0±28.5 ^{bcB}	74.8±0.7 ^{aBC}

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ปริมาณซูโครสร้อยละ 0 และ 10
- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสิ่งทดลองทั้งหมด

ตารางผนวกที่ ข2 สมบัติเพสติงของตัวอย่างผสมของ สตาร์ชมันสำปะหลัง:แคปปา-คาร์รา-จีแนน ในน้ำข้าวโพดหวานที่ระดับพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

ปริมาณ พอลิ- เดกซ์โทรส (ร้อยละ)	ความหนืด (cP)					Pasting temperature (°C)
	Peak Viscosity	Trough	Breakdown	Final Viscosity	Setback	
0	777.0±63.1 ^c	600.5±16.9 ^b	171.3±44.5 ^b	747.5±32.3 ^c	157.8±12.5 ^b	72.3±0.4 ^d
5	839.0±8.7 ^{bc}	657.0±12.2 ^a	182.0±11.1 ^b	822.0±23.9 ^b	165.0±13.7 ^b	73.3±0.6 ^c
10	895.3±73.8 ^{ab}	625.5±46.5 ^{ab}	280.5±18.6 ^a	888.3±57.9 ^a	226.3±26.8 ^a	74.5±0.3 ^b
15	943.0±18.4 ^a	661.0±3.6 ^a	282.0±14.8 ^a	907.3±9.0 ^a	246.3±12.4 ^a	76.0±0.4 ^a

หมายเหตุ - ข้อมูลที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของสิ่งทดลองทั้งหมด



การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น วิเคราะห์ตาม AOAC 925.10 (2006)

อบด้วยอะลูมิเนียมพร้อมด้วยฝาปิดในตู้อบที่อุณหภูมิ $130^{\circ}\pm 3^{\circ}\text{C}$ นาน 5 ชั่วโมง นำมาใส่โถอบแห้ง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งเย็น ก่อนนำไปชั่งเพื่อให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (น้ำหนักรวมฝา) ชั่งตัวอย่างในถ้วยอะลูมิเนียมให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนปริมาณ 2 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) นำตัวอย่างไปอบในตู้อบที่โดยไม่ปิดฝาที่อุณหภูมิ $130^{\circ}\pm 3^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา ปิดฝาดตัวอย่างขณะอยู่ในตู้อบก่อนนำออกมาใส่โถอบแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็น นำมาชั่งน้ำหนักเมื่ออุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำตัวอย่างไปอบซ้ำและนำมาชั่งอีกจนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณตามสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{100 \times (w_1 - w_2)}{w_1 - w}$$

โดย	w	คือ	น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียม (กรัม)
	w_1	คือ	น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
	w_2	คือ	น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมและตัวอย่างหลังจากอบแห้งแล้ว (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีการของ AACC, 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องย่อย Buchi
2. หลอด Kjeldahl สำหรับย่อย
3. เครื่องกลั่นอัตโนมัติ Buchi
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. ขวดรูปชมพูนขนาด 250 มล.

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 35
3. สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มัล
5. คอปเปอร์ซัลเฟต
6. โพแทสเซียมซัลเฟต
7. อินดิเคเตอร์สมระหว่างเมทิลเรดและโบรโมครีซอลกรีน

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ให้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในหลอดย่อย ระวังอย่าให้ติดข้างหลอด
2. ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วยโพแทสเซียมซัลเฟต 10 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 กรัม รวมทั้งเม็ดลูกแก้วกันเดือด (glass bead) 2 เม็ด และเติมกรดซัลฟูริกประมาณ 20-25 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ
3. นำหลอดต่อเข้ากับชุดเครื่องย่อย ทำการย่อยที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 30-45 นาที จนได้สารละลายสีเขียวใสสม่ำเสมอทุกหลอด ทั้งหลอดย่อยให้เย็นแล้วค่อยๆ เติมน้ำกลั่น 60-75 มิลลิลิตร (หรือเติมเป็น 3 เท่าของกรด)

4. นำหลอดตัวอย่างต่อเข้ากับชุดกลั่น เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 จนสารละลายในหลอดย่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

5. นำขูดรูปชมพูที่บรรจุสารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตรที่มีการหยดสารอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ไปรองรับสารที่กลั่นได้ โดยให้ปลายแท่งแก้วของชุดกลั่นจุ่มอยู่ในสารละลาย กลั่นเป็นเวลา 5 นาที หรือสารที่กลั่นมีปริมาตรประมาณ 125 มิลลิลิตร

6. นำสารที่กลั่นได้ไปทำการไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนได้สารละลายสีเทา (จุดยุติ) บันทึกปริมาณกรดที่ใช้แล้วนำไปคำนวณปริมาณโปรตีนดังสูตรดังนี้

หมายเหตุ ให้ทำตัวอย่างควบคุมควบคู่ไปด้วย โดยไม่มีตัวอย่างในหลอดย่อย

วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{14 \times (V_1 - V_2) \times \text{normality of HCl (mol/L)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)}}$$

V_1	คือ	ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรท
V_2	คือ	ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรท กับ blank
C	คือ	ความเข้มข้นของเกลือมาตรฐานหน่วยเป็นโมลาร์ หรือ นอร์มัล
ร้อยละปริมาณโปรตีน	คือ	ร้อยละปริมาณไนโตรเจน $\times 6.25$

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมด โดยใช้ Soxtec method

วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างโดย นำไปใส่ในภาชนะอะลูมิเนียมฟอยด์ อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 12 ชั่วโมง บดให้ละเอียดด้วยเครื่องตีปั่น (National blender, blend speed) นาน 2 นาที บดให้ละเอียดอีกครั้งด้วยโกร่ง
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 3 กรัม บนกระดาษกรอง (Whatman No.1) และห่อให้มิดชิด จากนั้นนำมาใส่ลงในทิมเบล (thimbles 26x60 mm.)
3. นำทิมเบลไปใส่ในเครื่อง Soxtec โดยใช้ adapter สวม เต็มปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) ลงในถ้วยอะลูมิเนียม (extraction cups) ที่นำไปอบและชั่งน้ำหนักแล้ว ประมาณ 50-75 มิลลิลิตร
4. นำเข้าไปในเครื่อง Soxtec พร้อมทั้งโยกคันโยกลง เลื่อนคันโยกไปที่ตำแหน่ง boiling และสกดเป็นเวลา 15-20 นาที
5. เลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่ง rinsing ทำการกลั้ว เป็นเวลา 30-45 นาที จากนั้นระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์พร้อมกับปิด condensers valve และเปิดสวิตช์ของอากาศ
6. นำถ้วยอะลูมิเนียมไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถอบแห้ง ชั่งน้ำหนัก คำนวณตามสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{w_2 - w_1}{w} \times 100$$

โดย	w	คือ	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)
	w ₁	คือ	น้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียม(กรัม)
	w ₂	คือ	น้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมและไขมันที่สกัดได้จากตัวอย่าง (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบทั้งหมด (ดัดแปลงจากวิธีการของ AACC, 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องย่อย
2. เตาเผาเถ้า (muffle furnace)
3. ครุชีเบิลแก้ว (glass crucible)
4. เดสิกเคเตอร์ และสารดูดความชื้น
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้นร้อยละ 1.25
2. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น ร้อยละ 1.25
3. n-octanol

วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างโดย นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้วมาทำการบดให้ละเอียด
2. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 1 กรัม (w) ใส่ลงในครุชีเบิลแก้วที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
3. นำครุชีเบิลแก้วใส่ในเครื่อง hot extraction unit
4. เติมสารละลายกรดซัลฟูริกร้อนลงในท่อแก้วคอนเดนเซอร์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร
5. เติม n-octanol 4-5 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง
6. เปิดปุ่ม power และปรับระดับไฟไปที่ระดับสูงสุด (max) จับเวลาหลังจากสารละลายเริ่มเดือด เป็นเวลา 30 นาที และปรับระดับไฟลดลงมาที่ 4-5 เมื่อสารละลายเดือดคงที่
7. เมื่อครบ 30 นาที ปิดไฟและกรองสารละลายออก
8. ล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร กวนตัวอย่างให้กระจายโดยใช้ความดันภายในเครื่อง จากนั้นกรองสารละลายออก

9. เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ต้มร้อนเตรียมไว้ลงในท่อคอนเดนเซอร์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ทำเช่นเดียวกับวิธีการข้อ 5-8 เมื่อทำการล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง ตามด้วยน้ำกลั่นเย็น
10. ล้างด้วย อะซีโตน หรือ แอลกอฮอล์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เพื่อไล่น้ำออก รอจนแห้ง
11. อบครูซิเบิลแก้วที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่ (w_1) บันทึกน้ำหนักไว้
12. เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่ (w_2) บันทึกน้ำหนักไว้ คำนวณค่าที่ได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณเส้นใยหยาบ (ร้อยละ)} = \frac{(w_1 - w_2) \times 100}{w}$$

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าทั้งหมด วิเคราะห์ตาม AOAC 923.03 (2006)

อุปกรณ์

1. เตาเผาเถ้า(muffle furnace)
2. ตะเกียงบุนเสน
3. ถ้วยสำหรับเผาเถ้า
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
5. โถดูดความชื้น

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก 3-5 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในถ้วยกระเบื้องที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นจนมีน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำ ตัวอย่างไปเผาไฟจนหมดควัน นำตัวอย่างไปเข้าเตาเผาเถ้าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างกลายเป็นสีขาวหรือสีเทา
3. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ทำซ้ำจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นคำนวณหาปริมาณเถ้า ดังนี้

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยหลังเผา} - \text{น้ำหนักถ้วยเริ่มต้น} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด วิเคราะห์ตาม AOAC (2006)

ใช้วิธีการคำนวณจาก ปริมาณความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เส้นใย และ เถ้า จากน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม ดังนี้

$$\text{ร้อยละคาร์โบไฮเดรต} = 100 - (\text{ร้อยละของ ความชื้น} + \text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เส้นใย} + \text{เถ้า})$$



การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2001)

อุปกรณ์

1. จานเพาะเชื้อ(Petri dish)
2. หลอดทดลอง(Test Tube)
3. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร
4. อ่างน้ำ ควบคุมอุณหภูมิที่ 45 ± 5 องศาเซลเซียส
5. ตู้บ่มเชื้อ ควบคุมอุณหภูมิที่ 35 ± 1 องศาเซลเซียส
6. หม้อนึ่งความดัน

อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

1. Standard Plate Count Agar
2. Standard Potato Dextrose Agar
3. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.85

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar ละลายในน้ำกลั่น
2. ต้มจนอาหารเลี้ยงเชื้อละลายหมด
3. นำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121-125 องศาเซลเซียสที่ความดัน 15 ปอนด์ นาน 15 นาที
นำไปอุ่นในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเพื่อไม่ให้อาหารแข็งตัว อาหารเลี้ยงเชื้อที่ได้
จะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง สดท้ายเท่ากับ 7.0 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์

1. นำชิ้นที่ฆ่าเชื้อแล้ว ตักตัวอย่างปริมาณ 10 กรัม ใส่ในหลอดที่มีสารละลายบัฟเฟอร์ 90 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้อาหารที่เจือจาง $1:10$ หรือ 10^{-1} ทำการเจือจางอีกที่ระดับอัตราส่วน $1:100$ หรือ 10^{-2} และ $1:1000$ หรือ 10^{-3}

2. ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตรที่ฆ่าเชื้อแล้ว ดูดสารละลายของตัวอย่างอาหาร ที่ระดับเชื้อจางต่าง ๆ ลงในจานเพาะเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร ระดับเชื้อจางละ 3 จาน โดยเริ่มดูจากความเข้มข้นต่ำสุด
3. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ที่กำลังหลอมเหลวลงในจานเพาะเชื้อที่มีตัวอย่างโดยใส่ลงในจาน จานละประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ให้เสร็จภายในเวลา 1-5 นาที
4. ผสมตัวอย่างและอาหารเลี้ยงเชื้อ ให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว คว่ำจานอาหารเลี้ยงเชื้อก่อนนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
5. หลังจากบ่มเชื้อตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวนโคโลนี บนจานอาหารเพาะเชื้อ ที่มีจำนวนโคโลนี อยู่ระหว่าง 25-250 โคโลนี หาค่าเฉลี่ยจากจำนวนโคโลนีทั้ง 3 จาน รายงานผลเป็นจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในรูปโคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม

การวิเคราะห์จำนวนยีสต์และรา AOAC 988.18 (2006)

เชื้อจางตัวอย่างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น ร้อยละ 0.85 จนได้ความเชื้อจางที่ 10^{-1} , 10^{-2} และ 10^{-3} ปิเปตต์สารละลายที่ระดับความเชื้อจางที่เตรียมไว้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ ทำการหลอมอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ก่อนนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน และทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส ทำ pour plate technique บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นโดยเลือกนับเฉพาะที่มีโคโลนีอยู่ในช่วง 25-250 โคโลนี รายงานผลเป็นจำนวนยีสต์และราในรูปโคโลนีต่อกรัม

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นางสาวสลิลดา เศรษฐา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2530
สถานที่เกิด	จังหวัดนครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	วท.บ.(วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพ) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (พ.ศ. 2552)
ผลงานทางวิชาการ	Harnsilawat T., S. Sedtha (2012) Effect of Kappa-Carrageenan and Sucrose on Textural Properties and Freeze-Thaw Stability of Tapioca Starch Gel. Presented at Kasetsart University Conference 2012 on January 11-13, 2012, Kasetsart University. Sedtha, S., T. Harnsilawat, A. Jangchud (2013) Pasting properties of tapioca starch and carrageenan mixtures in corn milk dessert. Presented at Asian Food Conference 2013 on September 9-11, 2013, Max Atrix, Singapore Expo.
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนวิจัยร่วมอุตสาหกรรม KU-TURPIF ระดับบัณฑิตศึกษาประจำปีงบประมาณ 2554