

การปรับปรุงคุณสมบัติของขนมจีนเส้นสด โดยใช้แป้งพรีเจลาตินซ์จากข้าวโพดสีม่วงทดแทนแป้งข้าวเจ้า

ศศิธร ปุรินทรภิบาล*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนเส้นสด โดยการทดแทนแป้งข้าวเจ้า (rice flour: RF) ด้วยแป้งข้าวโพดสีม่วง (purple corn flour: PCF) และแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินซ์ การศึกษากระบวนการผลิตแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินซ์ที่เหมาะสมได้ทำการศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิที่ใช้ในการกวนน้ำแป้งที่อุณหภูมิ 75 และ 85 องศาเซลเซียส และกระบวนการทำแห้ง คือ การทำแห้งบนถาดในตู้อบลมร้อน (Tray dry) และเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว (Drum dry) จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินซ์ และแป้งควบคุมสองชนิด คือ แป้งข้าวเจ้า (RF) และ แป้งข้าวโพดสีม่วง (PCF) พบว่าค่าแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินซ์ T20-85 ที่เตรียมจากน้ำแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 และกวนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส และทำแห้งด้วยวิธี Tray dry มีค่าการพองตัวสูงที่สุดเท่ากับ 24.11 กรัม/น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ D20-85 ที่เตรียมจากน้ำแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 และกวนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส และทำแห้งด้วยวิธี Drum dry เท่ากับ 16.60 กรัมต่อกรัม/น้ำหนักแห้ง นอกจากนี้จากยังพบว่าแป้งทั้งสองมีลักษณะเจลที่อ่อนนุ่มไม่แตก่วนหลังเย็นตัวลง จึงเลือกแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินซ์ T20-85 และ D20-85 มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาพัฒนาเส้นขนมจีน การศึกษาปรับปรุงเส้นขนมจีนโดยการทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์ขนมจีนด้วยแป้ง 3 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวโพดสีม่วง แป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินซ์ T20-85 และ D20-85 ที่ระดับการทดแทนร้อยละ 10 และ 30 โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าเส้นขนมจีน PCF:10 T20-85:10 และ D20-85:10 มีผลคะแนนการทดสอบความชอบจากผู้บริโภคในด้าน สี รสชาติ, เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด จึงสรุปได้ว่าการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวโพดสีม่วง แป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินซ์ T20-85 และ D20-85 ที่ระดับการทดแทนร้อยละ 10 เป็นระดับที่เหมาะสม โดยข้อมูลจากงานวิจัยนี้สามารถเป็นแหล่งข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชนให้ยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: ข้าวโพดสีม่วง, แป้งพรีเจลาตินซ์, ขนมจีนเส้นสด

*ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: sathithon@hotmail.com

Improved Properties of Fresh Kanom-Jeen by Using Pregelatinized Purple Corn Flour Substitute Rice Flour

Sathithon Purintraphiban^{*}

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, 20110, Thailand

Abstract

The objective of this research was to develop the fresh kanom jeen product by substitution of rice flour (RF) with purple corn flour (PCF) and pregelatinized purple corn flour. The optimal condition for producing pregelatinized purple corn flour was studied on 3 factors, including concentration of flour solution (10 and 20% w/v), stirred temperature (75 and 85 °C) and drying method (tray dry and drum dry). Properties of pregelatinized purple corn flour were analyzed and compare with 2 control sample (RF and PCF). The results showed T20-85 (pregelatinized purple corn flour was prepared from 20% concentration of flour solution at 85 °C and dried using tray dry) had highest swelling power about 24.11 g/g dry weight while D20-85 (pregelatinized purple corn flour was prepared from 20% concentration of flour solution at 85 °C and dried using drum dry) about 16.60 g/g dry, respectively. Both samples had soft gel after retrogradation. T20-85 and D20-85 were selected and applied in fresh kanom jeen. The effect of substitution by 3 type of flour consisting of purple corn flour (PCF), pregelatinized purple corn flour T20-85 and D20-85 with different level at 10 and 30% (w/w) was investigated. The results showed, PCF:10, T20-85:10 and D20-85:10 had highest liking score in order taste, texture and overall liking from panelists that indicated the substitution of 10% PCF, T20-85 and D20-85 are appropriate level for fresh kanom jeen. These results would be useful as a source of database for product development and promoting sustainable economic to community.

Keywords: Purple corn, Pregelatinize flour, Fresh kanom-jeen

^{*}Corresponding author: E-mail: sathithon@hotmail.com

บทนำ

ขนมจีนเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากแป้งข้าวเจ้าที่มีการผลิตในทุกภาคของไทย และเป็นที่นิยมรับประทานกันทั่วประเทศ โดยคุณภาพของเส้นขนมจีนขึ้นอยู่กับวิธีการใช้วัตถุดิบ และกระบวนการผลิตที่เหมาะสม (Judvong, 2002) ขนมจีนมีลักษณะเป็นเส้นกลมๆ รับประทานกับน้ำยากะทิ น้ำพริก และแกงเขียวหวาน ทางภาคเหนือจะเรียกขนมจีนว่า “ขนมเส้น” ทางภาคอีสานเรียก “ข้าวปุ้น” และภาคใต้เรียก “หนมจีน” ขนมจีนที่มีการผลิต และบริโภคในประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ขนมจีนเส้นสด ทำจากข้าวเจ้า หรือปลายข้าวที่ผ่านการแช่น้ำ หรือล้างน้ำก่อนที่จะนำมาต้ม โดยไม่ผ่านการหมัก ขนมจีนชนิดนี้เก็บไว้ได้ไม่ค่อนาน ขนมจีนแปงสดอาจทำได้จากแป้งแห้งที่เรียกว่า แป้งไม่น้ำ อีกชนิดคือ ขนมจีนแปงหมัก เป็นขนมจีนที่ทำจากข้าวเจ้า หรือปลายข้าวเจ้าที่ผ่านการหมักก่อนนำมาต้ม เส้นขนมจีนชนิดนี้จะมีกลิ่นแป้งหมัก แต่เส้นจะเหนียวนุ่ม และสามารถเก็บไว้ได้นาน (Suwanasree and Ratanatriwong, 2006) ที่ผ่านมามีการศึกษาการใช้แป้งข้าวโพดเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมจีน พบว่าการใช้แป้งข้าวโพดส่งผลให้ขนมจีนมีสมบัติการเกิดเจล และค่า Peak viscosity เพิ่มขึ้น แต่ค่า Peak time และ Pasting temperature ลดลง โดยที่สูตรเส้นขนมจีนที่ใช้แป้งผสมโดยอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้า: แป้งข้าวโพด: แป้งมันสำปะหลัง 4:2:2 สูตรเส้นขนมจีนที่ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในทุก ๆ ด้าน จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Ekthamasut, 2014)

ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ภายใต้การ

สนับสนุนของสำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้ทำการรวบรวมสายพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียว และข้าวโพดเทียนพบว่าข้าวโพดข้าวเหนียว และข้าวโพดเทียนที่มีสีม่วงจนถึงสีดำอยู่เป็นจำนวนมาก มีรายงานว่าเมล็ดข้าวโพดสีม่วงมีแป้งมากกว่าเมล็ดข้าวโพดสีเหลือง และข้าวโพดสีขาว มีปริมาณแร่ธาตุสูงกว่า โปรตีน และกรดอะมิโนไลซีนสูงกว่าข้าวโพดสีเหลือง และยังมีปริมาณโพลีฟีนอลกลุ่มแอนโทไซยานินในปริมาณที่สูง ข้าวโพดสีม่วงจึงเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญยิ่ง (Lertrat *et al.*, 2009) โดยแอนโทไซยานินที่พบในเมล็ด แก่นฝัก และเปลือกหุ้มฝักข้าวโพดสีม่วงมีปริมาณเท่ากับ 1,642, 3,400 และ 18,900 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (DePascual-Teresa and Sanchez-Ballesta, 2008) แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งจะพบได้ในส่วนที่มีสีน้ำเงิน สีม่วง แดง และส้มของผลไม้ และผัก มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงกว่าวิตามินซี ช่วยลดการเกิดมะเร็ง และช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันต้านทานให้ร่างกายต่อต้านเชื้อโรคอีกด้วย (Jing *et al.*, 2007; Lao *et al.*, 2017)

ปัจจุบันมีการศึกษาคุณสมบัติ และกระบวนการผลิตแป้งข้าวโพดสีม่วง รวมถึงแนวทางประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยการใช้แป้งข้าวโพดสีม่วงทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เค้ก คุกกี้ บะหมี่สด (Kokkaew *et al.*, 2015; Chudhangkura *et al.*, 2016) การดัดแปรแป้งข้าวโพดสีม่วงนับเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งเพื่อให้ได้แป้งที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์มากขึ้น การดัดแปรแป้งเป็นการนำแป้งมาผ่านกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดยวิธีทางเคมี กายภาพ เอนไซม์ หรือโดยจุลินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติให้เป็นไปตามที่ต้องการ การใช้วิธีทางกายภาพ

อย่างเช่นการให้ความร้อนกับน้ำแป้งเพื่อให้เกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinization) จากนั้นทำให้แห้ง (dehydration) ด้วยเครื่องทำแห้ง เช่น เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dry) หรือเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) คุณสมบัติที่สำคัญของแป้งพรีเจลาติไนซ์ คือจะเป็นเจลในน้ำที่อุณหภูมิห้อง หรือต่ำกว่า สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งดิบ จึงทำให้แป้งพรีเจลาติไนซ์ให้มีความหนืด อุณหภูมิต่ำ เหมาะกับการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความหนืดโดยไม่ต้องผ่านความร้อน (Rattanapanon, 2014)

จากข้อมูลเบื้องต้นและความสำคัญที่กล่าวมาจึงมีความต้องการที่จะศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของแป้งข้าวโพดสีม่วง รวมถึงสภาวะ และกระบวนการพรีเจลาติไนซ์ขึ้นในการผลิตแป้งข้าวโพดสีม่วงดัดแปรที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในผลิตภัณฑ์ขนมจีนเส้นสดให้ยังคงคุณภาพที่ดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และมีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น และเพิ่มช่องทางการผลิตให้กับผู้ประกอบการ และตัวเลือกเพื่อสุขภาพที่ดีของผู้บริโภคต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแป้งข้าวโพดสีม่วง และการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น

นำข้าวโพดสีม่วงมาอบแห้ง จากนั้นบดผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องมือแบบแห้ง และทำการร่อนแป้งผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh แล้วทำการบรรจุแป้งลงในขวดแก้วมีฝาปิดสนิท เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 - 10 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ ของแป้งข้าวโพดสีม่วง ดังนี้

1.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ด้วยการหาน้ำหนักที่หายไปเนื่องจากการระเหยของน้ำและสารที่ระเหยได้ภายใต้อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส (A.O.A.C, 2000)

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในแป้งด้วยการตรวจวัดสีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งและสารละลายไอโอดีนเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร ซึ่งจะบ่งบอกถึงปริมาณอะมิโลสในแป้ง (Juliano, 1971)

1.3 การวิเคราะห์ความหนืด ด้วยเครื่อง Rapid ViscoAmylograph (RVA)

1.4 ค่าสีในระบบ CIE L^* a^* และ b^* ด้วยเครื่อง spectrophotometer

1.5 การวิเคราะห์กำลังการพองตัว swelling power (Li and Corke, 1999)

1.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย solubility (Li and Corke, 1999)

2. การเตรียมแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาติไนซ์ และการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น

ในเบื้องต้นได้นำแป้งข้าวโพดที่เตรียมในข้อ 1 มาทำการศึกษาความเข้มข้นของน้ำแป้ง และอุณหภูมิการกวนที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งสุก จากนั้นจึงได้กำหนดสภาวะในการผลิตแป้งดัดแปรด้วยกระบวนการพรีเจลาติไนซ์ขึ้น ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิที่ใช้ในการกวนน้ำแป้งที่ 75 และ 85 องศาเซลเซียส และกระบวนการทำแห้ง 2 แบบ ได้แก่ การทำแห้งแบบ Tray dry คือ การอบตัวอย่างบนถาดอลูมิเนียมนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

Table 1 Condition of control flour (RF and PCF) and pregelatinized corn flour including drying method, concentration and temperature of cooked flour solution.

Samples	Drying method	Concentration (% w/w)	Temp. (°C)
RF	-	-	-
CPF	-	-	-
T10-75	Tray Dry	10	75
T10-85		10	85
T20-75		20	75
T20-85		20	85
D10-75	Drum Dry	10	75
D10-85		10	85
D20-75		20	75
D20-85		20	85

Table 2 Ingredient of fresh kanom jeen that substitute with purple corn flour and pregelatinized purple corn flour.

Flour	Substitute (%)	Samples	Ingredient (g)				
			Rice flour	Thao yai mom flour	PCF	T20-85	D20-85
RF	-	Control	600	15	-	-	-
PCF	10	PCF:10	540	-	60	-	-
	30	PCF:30	480	-	180	-	-
T20-85	10	T20-85:10	540	-	-	60	-
	30	T20-85:30	480	-	-	180	-
D20-85	10	D20-85:10	540	-	-	-	60
	30	D20-85:30	480	-	-	-	180

และ วิธีการทำแห้งแบบ Drum dry คือ การใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของแป้งข้าวเจ้า และข้าวโพดสีม่วงที่ผ่านกระบวนการพรีเจลาติไนซ์ ตามวิธีวิเคราะห์ในข้อ 1.1 – 1.6 และ

คัดเลือกแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาติไนซ์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมจีนสดต่อไป

3. การเตรียมเส้นขนมจีนสดจากแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพดสีม่วง และข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาติไนซ์

ทำการเตรียมเส้นขนมจีนสด โดยเติมเกลือ 5 กรัม ลงในแป้งผสม (Table 2) และกวนผสมกับน้ำร้อน 600

มิลลิลิตร บนกระทะทองเหลืองจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นตีผสมกับน้ำร้อน 450 มิลลิลิตรด้วยเครื่องตีผสม จนแป้งเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงนำแป้งมาโรยเป็น เส้นขนมจีนในน้ำเดือด ทำการช้อนเส้นสุกที่ลอยใส่ลงใน น้ำเย็น และจับเส้นขนมจีนให้เป็นจับสวยงาม นำเส้น ขนมจีนที่ได้มาทำการประเมินคุณภาพ ได้แก่

3.1 การวิเคราะห์ค่าสี

3.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (ค่าความแข็ง และค่า ความเหนียว)

3.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำผลที่ได้ไป วิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ สองทาง (Two-Way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ

95 โดยเปรียบเทียบความแตกต่างแบบวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของแป้งข้าวเจ้า และ แป้งข้าวโพดดัดแปร ด้วยกระบวนการพรีเจลลาติไนซ์

คุณภาพของแป้งพิจารณาได้จากคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น และอะมิโลส รวมถึงคุณสมบัติ ทางกายภาพ เช่น พฤติกรรมความหนืด การพองตัว และ การละลายเป็นต้น จากการศึกษาดัดแปรคุณสมบัติของ แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพดสีม่วง ด้วยกระบวนการพรี เจลลาติไนซ์ เพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตขนมจีนเส้นสด โดยได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และทาง กายภาพ (Table 3)

Table 3 Chemical and physical properties of RF, PCF and pregelatinized PCF

Samples	Moisture (%)	Amylose (%)	Lightness	Redness	Yellowness	Power swelling (g/g dry w.)	Solubility (g/g dry w.)
RF	13.14±0.00 ^a	44.00±0.00 ^a	92.93±0.02 ^e	-0.12±0.04 ^d	3.85±0.14 ^d	13.71±1.63 ^c	2.97±0.26 ^e
PCF	9.03±0.00 ^b	11.00±0.00 ^b	70.01±0.03 ^f	6.78±0.06 ^c	9.62±0.11 ^b	10.71±0.44 ^d	3.21±0.37 ^e
T10-75	3.89±0.36 ^d	8.00±0.00 ^{bc}	57.24±0.08 ^f	7.50±0.05 ^{bc}	8.56±0.09 ^b	8.55±0.54 ^e	5.53±0.55 ^d
T10-85	3.11±0.30 ^d	9.00±0.01 ^b	43.82±0.06 ^b	10.41±0.08 ^{ab}	11.23±0.13 ^a	16.10±1.15 ^b	5.67±0.40 ^d
T20-75	3.88±0.91 ^d	6.00±0.00 ^c	54.19±0.26 ^c	8.32±0.10 ^b	12.30±0.12 ^a	10.87±0.74 ^d	9.41±0.15 ^a
T20-85	2.17±0.54 ^e	8.00±0.00 ^{bc}	41.15±0.15 ^a	11.53±0.04 ^a	13.23±0.05 ^a	24.11±1.34 ^a	9.68±0.59 ^a
D10-75	6.64±0.23 ^c	10.00±0.01 ^b	61.14±0.02 ^g	9.84±0.01 ^{ab}	8.88±0.05 ^b	5.94±1.02 ^d	7.20±0.61 ^c
D10-85	6.68±0.18 ^c	11.00±0.00 ^b	61.69±0.02 ^h	9.66±0.02 ^{ab}	8.59±0.05 ^b	10.99±0.52 ^d	7.42±1.32 ^b
D20-75	6.07±0.27 ^c	9.00±0.00 ^b	55.85±0.08 ^e	10.28±0.10 ^a	8.51±0.15 ^b	7.96±0.24 ^e	8.06±0.79 ^b
D20-85	6.39±0.41 ^d	10.00±0.00 ^b	55.64±0.30 ^d	10.46±0.03 ^a	7.15±0.07 ^c	16.60±1.77 ^b	8.67±1.12 ^{ab}

Note: ^{a-e} Mean difference in the same column (p<0.05).

แป้งแต่ละชนิดมีปริมาณความชื้นของแป้งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity ; RH) ของอากาศขณะที่เก็บผลิตภัณฑ์ ถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำแป้งจะมีความชื้นต่ำด้วย ถ้าความชื้นสูงเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำไว้มากปริมาณความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ของแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ภายใต้สภาวะอากาศปกติแป้งโดยทั่วไปจะมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10 - 20 จากผลการวิเคราะห์ความชื้นของแป้ง พบว่ากระบวนการพรีเจลาตินในเซชันทำให้แป้งข้าวโพดสีม่วงมีความชื้นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งดิบที่ไม่กระบวนการ ซึ่งความร้อนที่ใช้ในกระบวนการจะส่งผลให้ความชื้นของแป้งมีค่าลดลง (Jiamyangyuen, 2018) และเมื่อเปรียบเทียบวิธีการทำแห้งพบว่า การทำแห้งด้วยวิธี Tray dry สามารถไล่ความชื้นได้มากกว่าการทำแห้งด้วยวิธี Drum dry อาจเนื่องมาจากการทำแห้งด้วยวิธี Tray dry ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนนานกว่าการทำแห้งด้วยวิธี Drum dry เป็นผลให้ความชื้นลดลงได้มากกว่า

ปริมาณอะมิโลสในแป้งจะขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง โดยปริมาณอะมิโลสจะส่งผลให้แป้งมีขนาดโมเลกุล หรือระดับการเกิดของโพลีเมอร์ต่างกัน แป้งที่มีสายอะมิโลสยาวจะมีแนวโน้มในการเกิด retrogradation เพิ่มขึ้น (Galiard and Bowler, 1987) จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอะมิโลสเท่ากับร้อยละ 44 ซึ่งสูงกว่าแป้งข้าวโพดสีม่วงที่มีปริมาณอะมิโลสเท่ากับร้อยละ 11 โดยทั่วไปเมื่อแป้งสัมผัสกับความชื้นจะส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมต่อโมเลกุลของแป้งถูกทำลายลงทำให้สายอะมิโลสเกิดการสลายตัว ค่าปริมาณอะมิโลสจึงลดลง (Ellis *et al.*, 1999) และจากการทดลองพบว่าในตัวอย่างแป้งข้าวโพดสีม่วงที่ผ่านกระบวนการพรีเจลาตินในเซชันจะมีปริมาณอะมิโลสลดลง

สอดคล้องกับที่กล่าวมาในช่วงต้น โดยที่การทำแห้งแบบ Tray dry ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของอะมิโลสมากกว่าการทำแห้ง Drum dry

ความร้อนจากกระบวนการพรีเจลาตินในเซชันส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดคือ สีของแป้ง เนื่องจากความร้อน และการเกิดออกซิเดชัน ระหว่างการทำแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทำแห้งที่ใช้เวลานาน หรืออุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีได้ง่าย เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเกิดขึ้น ทั้งระหว่างการทำแห้ง และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เพราะยังมีกิจกรรมของเอนไซม์เหลืออยู่ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีน้ำตาลเกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งจะเปลี่ยนโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลเป็นควิโนน (quinone) ซึ่งมีสีน้ำตาล (Lopez-Martinez *et al.*, 2009) จากการวิเคราะห์สีของแป้ง พบว่าแป้งข้าวเจ้ามีสีขาวมีค่าความสว่างเท่ากับ 92.93 ค่าสีแดง -0.12 และค่าสีเหลือง 3.85 ส่วนแป้งข้าวโพดสีม่วงมีสีม่วงมีค่าความสว่างเท่ากับ 70.01 ค่าสีแดง 6.78 และค่าสีเหลือง 9.62 โดยพบว่าเมื่อผ่านกระบวนการพรีเจลาตินในเซชันแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินในเซชันสีเข้ม และคล้ำมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากค่าความสว่างที่ลดลง แต่ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น (Table 3)

เนื่องด้วยโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งนั้นอยู่ในรูปโครงสร้างแบบร่างแห (micelles) การจัดเรียงตัวลักษณะนี้จึงทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำ และพองตัวได้เล็กน้อยเท่านั้น (Leach *et al.*, 1959) จากผลการทดลองพบว่าแป้งข้าวเจ้ามีค่าการพองตัว

เท่ากับ 13.71 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งดีกว่าแป้งข้าวโพดสีม่วงที่มีค่าการพองตัวเท่ากับ 10.71 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แต่ความสามารถในการละลายของแป้งทั้งสองชนิดไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่กระบวนการพรีเจลาตินเซชันส่งผลให้คุณสมบัติในการพองตัว และการละลายของแป้งข้าวโพดสีม่วงดีขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินส์ที่ได้จากน้ำแป้งเข้มข้นของร้อยละ 20 จะมีค่าการพองตัว และค่าการละลายสูงกว่าแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินส์ที่ได้จากน้ำแป้งเข้มข้นของร้อยละ ทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิการกวนที่ 85 องศาเซลเซียส ทำให้ได้แป้งที่มีค่าการพอง

ตัว และค่าการละลายสูงกว่าที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส โดยแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินส์ T20-85 มีค่าการพองตัวสูงที่สุดเท่ากับ 24.11 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และมีค่าการละลายสูงไม่ต่างจากแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินส์ D20-85 (Table 3)

พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการศึกษาคุณสมบัติของแป้ง ซึ่งแป้งมีพฤติกรรมความหนืดเฉพาะตัว และแตกต่างกันไปตามชนิด และสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำ และได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืด

Table 4 Viscosity behavior using RVA of RF, PCF and pregelatinized PCF.

Samples	Peak (RVU)	Trouah (RVU)	Breakdown (RVU)	Final vic (RVU)	Setback (RVU)	Peak time (min)	Pasting temp (°C)
RF	4230.33±17.15 ^a	323.33±17.64 ^c	1010.33±9.58 ^a	688.67±24.86 ^a	365.50±23.11 ^a	6.33±0.00 ^a	93.22±3.07 ^c
PCF	1900.67±35.24 ^b	559.50±6.61 ^a	900.67±5.24 ^a	613.33±28.01 ^a	164.33±1.81 ^b	4.73±0.00 ^b	79.89±5.25 ^a
T10-75	1554.33±19.41 ^c	429.67±40.03 ^b	158.33±5.08 ^e	601.33±14.15 ^{ab}	115.33±7.04 ^c	1.01±0.04 ^c	77.89±0.37 ^b
T10-85	1612.50±47.94 ^c	466.67±23.14 ^{ab}	159.33±51.21 ^e	599.67±14.92 ^{ab}	132.67±13.16 ^c	1.13±0.22 ^c	75.23±2.73 ^{ab}
T20-75	1937.67±17.13 ^b	490.50±11.29 ^a	251.67±5.94 ^c	535.67±20.31 ^b	119.50±23.57 ^c	1.69±6.21 ^c	75.26±8.17 ^{ab}
T20-85	1750.50±19.86 ^{bc}	439.33±11.24 ^b	279.33±8.65 ^c	522.50±13.69 ^b	141.50±5.64 ^b	1.62±0.06 ^c	71.13±0.03 ^c
D10-75	1251.67±5.94 ^d	101.33±14.12 ^e	126.50±120.46 ^e	249.33±13.12 ^d	122.67±13.03 ^c	1.07±0.00 ^c	63.24±4.34 ^b
D10-85	1159.67±51.21 ^e	191.33±6.55 ^{cd}	145.50±59.36 ^{de}	291.33±14.18 ^c	143.33±11.58 ^b	1.07±0.00 ^c	55.43±0.14 ^a
D20-75	1114.50±69.74 ^e	277.67±29.53 ^d	581.67±35.10 ^b	348.67±13.36 ^c	126.50±20.46 ^c	1.20±0.11 ^c	74.29±0.77 ^d
D20-85	1894.50±56.32 ^b	233.50±7.30 ^d	656.67±30.58 ^b	320.50±9.90 ^c	145.33±29.36 ^b	1.27±0.13 ^c	57.24±2.03 ^a

Note: ^{a-e} Mean difference in the same column ($p<0.05$).

เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุด เนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น มีส่วนของเม็ดแป้ง หรือโอมิเลกุลอะมิโลส และอะมิโลเพคตินบางส่วน ที่แตกสลายออกมาอยู่ใน

สารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลาย และละลายออกมา มีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้น ความหนืดจะเริ่มลดลง (Srirodand and Piyajomkhawn, 2000) จากผลการทดลอง (Table 4) Pasting Temperature หรืออุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งข้าวเจ้าสูงกว่าแป้งข้าวโพดสีม่วง เนื่องจากแป้งที่มีอะมิโลสต่ำ และอะมิโล

เพคตินสูงอย่างข้าวโพด จะเกิดการพองตัวให้ความหนืดที่อุณหภูมิต่ำกว่าเมื่อได้รับความร้อน โดยความร้อนจะทำให้ลายพันธะไฮโดรเจน และโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปแทรกระหว่างสายของโมเลกุลอะมิโลเพคตินได้ง่ายกว่าอะมิโลส กระบวนการพรีเจลาตินในเซชันยังส่งผลให้ค่า Pasting Temperature ของแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินในซีมีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวโพดสีม่วงที่ไม่ผ่านกระบวนการ และยังพบว่าน้ำแป้งที่ความเข้มข้นเท่ากัน และทำแห้งด้วยวิธีเดียวกันการกวนแป้งด้วยอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่า Pasting Temperature ของแป้งที่ได้ต่ำกว่าแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินซีที่กวนแป้งด้วยอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือการกวนแป้งที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสทำให้แป้งเกิดการเจลาตินในซีได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากการกวนแป้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้ลายพันธะไฮโดรเจนในแป้งได้ดีกว่าทำให้เกิดเจลได้ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า (Ritthiruangdej *et al.*, 2000)

จากการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินในซี ได้ทำการคัดเลือกแป้งที่ดีที่สุดจากแต่ละสภาวะการทำแห้งคือ แป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินในซี T20-85 และ D20-85 มาทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์ขนมจีนเส้นสด โดยพิจารณาจากความสามารถในการพองตัว และการละลายที่ดี รวมถึงค่าความหนืดสูงสุดที่มากที่สุด และค่า Pasting Temperature ที่อุณหภูมิต่ำที่สุด

2. คุณภาพของเส้นขนมจีนสดที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวโพดสีม่วง และแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินในซี

การปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เส้นขนมจีนสดโดยการทดแทนแป้งข้าวเจ้า ด้วยแป้งข้าวโพดสีม่วง

และแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินในซี T20-85 และ D20-85 ที่ระดับการทดแทนร้อยละ 10 และ 30 โดยน้ำหนัก จากการศึกษพบว่า การทดแทนดังกล่าวส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสดังนี้

เมื่อทำการผสมแป้งตามกระบวนการพบว่าทุกตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกัน มีความหนืดพอดี และสามารถทำการโรยเป็นเส้นขนมจีนยาวต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้แรงกดมากขณะทำการโรยเส้น ทำให้สามารถผลิตเส้นขนมจีนสดที่ดีมีคุณภาพ (Fig. 1)

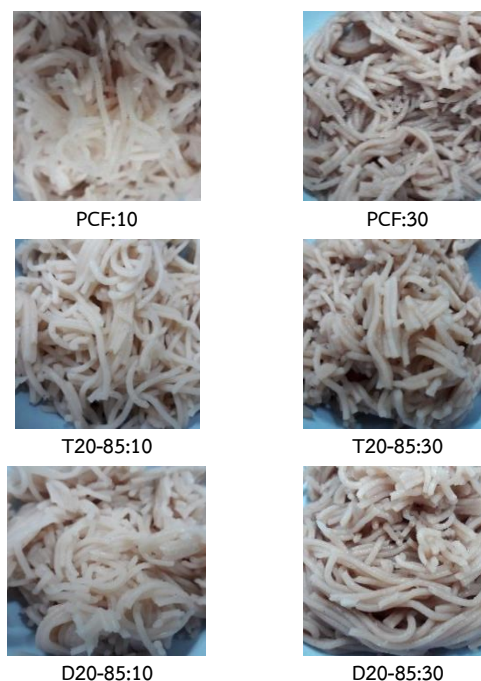


Fig.1 Kanom-Jeen substituted by PCF and pregelatinized PCF.

ชนิดของแป้ง และระดับที่ใช้ทดแทนในแป้งขนมจีนส่งผลต่อสีของเส้นขนมจีนอย่างเห็นได้ชัด โดยเรียงลำดับตามความเข้มของสีแป้งที่ใช้ทดแทนจากม่วงอ่อนไป ม่วงเข้ม

ได้แก่ แป้งข้าวโพดสีม่วง แป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาติไนซ์ D20-85 และ T20-85 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณ การทดแทนจะทำให้เส้นขนมจีนสดมีสีเข้มขึ้น (Table 5)

Table 5 Lightness redness and yellowness value of Kanom-Jeen substituted by PCF and pregelatinized PCF.

Treatments	Lightness	Redness	Yellowness
PCF:10	64.21±0.14 ^a	6.03±0.05 ^d	8.89±0.22 ^{bc}
PCF:30	48.37±0.09 ^d	11.64±0.08 ^a	7.04±0.13 ^d
T20-85:10	62.84±0.12 ^b	6.15±0.12 ^d	11.93±0.29 ^a
T20-85:30	52.17±0.10 ^c	9.71±0.10 ^b	10.01±0.23 ^b
D20-85:10	62.17±0.09 ^b	7.17±0.11 ^c	9.51±0.30 ^b
D20-85:30	48.53±0.19 ^d	10.96±0.20 ^{ab}	8.40±0.25 ^c

Note: ^{a-d} Mean difference in the same column (p<0.05)

จากตารางที่ 5 พบว่าค่าความสว่าง (0 - 100) และค่าความเป็นสีน้ำเงิน - เหลือง (-b, b) ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนแป้งทั้ง 3 ชนิดในเส้นขนมจีน แต่กลับทำให้ค่าความเป็นเขียว - สีสแดง (-a, a) ในเส้นขนมจีนสดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสีม่วงเกิดจากการผสมของสีแดง และน้ำเงิน ดังนั้นการทดแทนแป้งที่มีสีม่วงจากข้าวโพดสีม่วงที่จึงทำให้ค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น

การทดแทนแป้งข้าวเจ้า ด้วยแป้งข้าวโพดสีม่วง และแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาติไนซ์ T20-85 และ D20-85 ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเส้นขนมจีนสด โดยจากวิเคราะห์เนื้อสัมผัส พบว่าการทดแทนส่งผลต่อค่าความแข็ง และค่าความเหนียวของเส้นขนมจีน (Table 6)

Table 6 Hardness and adhesiveness value of Kanom-Jeen substituted by PCF and pregelatinized PCF.

Treatments	Hardness (g)	Adhesiveness (g.sec)
PCF:10	18.67±1.98 ^c	-4.66±102.34 ^c
PCF:30	72.53±7.12 ^a	-1.40±83.11 ^b
T20-85:10	15.33±4.54 ^c	-5.99±138.28 ^c
T20-85:30	36.23±4.60 ^b	-1.06±20.39 ^a
D20-85:10	17.2±3.60 ^c	-5.88±12.27 ^c
D20-85:30	35.41±3.66 ^b	-1.03±52.48 ^a

Note: ^{a-c} Mean difference in the same column (p<0.05)

พบว่าค่าความแข็งของเส้นขนมจีนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนแป้งทั้ง 3 ชนิด การทดแทนด้วยแป้งข้าวโพดสีม่วงที่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (PCF:30) มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 72.53 กรัม ถัดมาคือเส้นขนมจีน T20-85:30 และ D20-85:30 มีค่าความแข็งเท่ากับ 36.23 และ 35.41 กรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) เนื่องจากกระบวนการพรีเจลาติไนซ์เซชันทำให้เกิด retrogradation ของเจลแป้งลดลง (Ritthiruangdej *et al.*, 2000) ทำให้ลักษณะของเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาติไนซ์ มีลักษณะนุ่มกว่าการทดแทนด้วยแป้งข้าวโพดสีม่วง และยังพบว่าค่าความเหนียวของเส้นขนมจีนที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาติไนซ์ ที่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก D20-85:30 และ T20-85:30 มีค่าความเหนียวสูงที่สุดไม่ต่างกัน (p>0.05) เนื่องจากความเหนียวของแป้งขึ้นกับปริมาณอะมิโลส ซึ่งปริมาณอะมิโลสที่พบในแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาติไนซ์ทั้งสองมีปริมาณไม่ต่างกันเช่นกัน (p>0.05)

Table 7 Liking score of Kanom-Jeen substituted by PCF and pregelatinized PCF.

Treatments	Color ^{ns}	Odor	Taste	Texture	Overall liking
PCF:10	6.37±1.07	7.00±1.33 ^a	6.47±1.48 ^a	5.97±1.65 ^a	6.67±1.16 ^a
PCF:30	6.40±1.30	6.80±1.30 ^a	5.30±2.15 ^b	5.00±2.23 ^b	5.80±1.71 ^b
T20-85:10	6.97±0.10	6.67±1.16 ^{ab}	6.33±2.11 ^{ab}	5.60±1.16 ^{ab}	6.13±1.22 ^{ab}
T20-85:30	6.83±1.20	6.77±0.94 ^a	5.97±1.22 ^{ab}	5.87±1.76 ^{ab}	6.53±1.59 ^a
D20-85:10	6.80±1.13	6.43±1.38 ^{ab}	6.83±1.46 ^a	6.57±1.52 ^a	6.87±1.31 ^a
D20-85:30	6.87±1.30	6.23±1.10 ^b	6.03±1.79 ^a	5.50±1.76 ^b	6.40±1.33 ^{ab}

Note: ^{a-d} Mean difference in the same column ($p < 0.05$)

^{ns} Mean not difference in the same column ($p > 0.05$)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบ โดยการใช้คะแนนแบบ 9 point hedonic scale ในคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่มีต่อเส้นขนมจีน จากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน พบว่าชนิดของแป้งข้าวโพดสีม่วง หรือระดับการทดแทนไม่ส่งผลต่อความชอบทางด้านสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ด้านกลิ่น พบว่าผู้ทดสอบความชอบกลิ่นของเส้นขนมจีน PCF:10 PCF:30 T20-85:10 และ T20-85:30 ที่ระดับคะแนนชอบปานกลางไม่ต่างกัน ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มปริมาณการทดแทนแป้งข้าวโพดสีม่วงส่งผลให้ความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความโดยชอบรวมลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากการเพิ่มปริมาณการทดแทนแป้งข้าวโพดสีม่วงทำให้เส้นขนมจีนแข็งมากขึ้น สอดคล้องกับค่าความแข็งของเส้นขนมจีน จึงส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความโดยชอบรวม

วิจารณ์ผลการวิจัย

กระบวนการพรีเจลาตินในเซชัน ทำให้แป้งมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยแป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาตินซ์ที่ดีที่สุด 2 ตัวอย่าง คือ T20-85 และ D20-85 ซึ่งได้จากการเตรียมสารละลายแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิในการกวนที่ 85 องศาเซลเซียส โดยที่ T20-85 เป็นการนำน้ำแป้งสุกไปทำแห้งด้วยวิธี Tray dry ส่วน D20-85 เป็นการนำน้ำแป้งสุกไปทำแห้งด้วยวิธี Drum dry โดยแป้งทั้งสองมีความสามารถในการละลาย และการพองตัวได้ดีกว่าแป้งข้าวโพดสีม่วงที่ไม่ผ่านกระบวนการ รวมถึงความคุณสมบัติการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำ และการ retrogradation ที่ลดลงหลัง และเมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของแป้งข้าวโพดสีม่วงที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการพรีเจลาตินซ์ รวมถึงปริมาณที่เหมาะสมในการทดแทนแป้งข้าวเจ้าเพื่อปรับปรุง

คุณสมบัติของเส้นขนมจีน พบว่าการทดแทนแป้งข้าวเจ้า ด้วยแป้งทั้ง 3 ชนิด ได้แก่แป้งข้าวโพดสีม่วง แป้งข้าวโพดสีม่วงพรีเจลาติไนซ์ T20-85 และ D20-85 ที่ระดับการทดแทนร้อยละ 10 ให้ผลผลิตเส้นขนมจีนคุณภาพดีที่ผู้บริโภคมีระดับความชอบปานกลางถึงชอบเล็กน้อยไม่

ต่างกัน ในคุณลักษณะด้านสี, เนื้อสัมผัส, รสชาติ และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

References

- A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis. 17th The Association of Official Analytical chemmists, Maryland.
- Chudhangkura, A., Prasert, W., Charunuch, C., Lowithun, N., Teangpook, C., Sukatta, U., and Tadakittisarn, S. 2016. Studies of properties and utilization of high anthocyanin corn hybrid. Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University. (in Thai)
- DePascual-Teresa, S., and Sanchez-Ballesta. M. T. 2008. Anthocyanins: from plant to health. Phytochem. 7: 281-299.
- Ekthamasut, K. 2014. Textural improvement of fresh kanom-Jeen by using maize flour. Agric Sci. J. 45(2): 665-668. (in Thai)
- Ellis, R.P., Cochrane, M.P., Dale, M.F.B., Duffus, C.M., Lynn, A., Morrison, I.M., Prentice, R.D.M., Swanston, J.S. and Tiller, S.A. 1999. Starch production and industrial use. J. Sci. Food Agric. 77(3): 289-311.
- Galliard, T., and Bowler, P. 1987. Morphologie and composition of starch. In T. Galliard (Ed.). Starch: Properties and Potential. John Wiley and Sons., New York.
- Jiamyangyuen, S. 2018. Effect of germination and pregelatinization on germinated brown rice flour properties. Faculty of agriculture natural resources and environment, Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)
- Jing, P., Noriega, V., Schwartz, S.J. and Giusti, M.M. 2007. Effects of growing conditions on purple corn cob (*Zea mays* L.) anthocyanins. Agric. Food Chem. 55: 8625-8629.
- Judvong, R. 2002. Development of instant fermented rice noodle flour. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

- Juliano, B.O. 1971. Simplified Assay for Milled-Rice Amylose. *Cereal Sci. Today*. 16: 334-338.
- Kokkaew, H., Sukhreep, K., and Pitirit, T. 2015. Optimal conditions of anthocyanin phenolic and antioxidant content in purple waxy corn cake using response surface methodology. *Khon Kaen Agr. J.* 43(1): 790-798. (in Thai)
- Lao, F., Sigurdson, G.T., and Giusti, M.M. 2017. Health benefits of purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds. *Compre. Review. Food. Sci. Food Safe*. 16: 234-246
- Leach, H.W., McCowen, L.D. and Schoch, T.C. 1959. Structure of starch granule. *Cereal Chem.* 36: 534
- Lertrat K., Suriham, B., Sanitchon, J and Thummabenjapone, P. 2009. Germplasm management and genetic improvement of glutinous and sweet corn, National of science and technology development agency, Bangkok. (in Thai)
- Li, J. & Corke, H. 1999. Physicochemical properties of normal and waxy Job's tears (*Coixlachryma-jobi* L.) starch. *Cereal Chem.* 76: 413-416.
- Lopez-Martinez, L.X., Oliart-Ros, R.M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C.H., Parkin, K.L., and Garcia, H.S. 2009. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Sci. Tech.* 42: 1187-1192.
- Rattanapanon, N. 2014. Food chemistry. Odeon Store, Bangkok. (in Thai)
- Ritthiruangdej, P. Suwonsichon, T., Haruthaithanasan, V., and Srirod, K. 2000. Pasting behavior and mechanical properties of Thao Yai Mom flour (*Tacca leontopetaloides* Ktze.). In: The 41th Kasetsart University Annual Conference (pp. 53 - 60). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Srirod, K. and Piyajomkhawn, K. 2000. Technology of starch. Department of Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok. 292 pp. (in Thai)
- Suwanasree, S. and Ratanatriwong, P. 2006. Production of noodles and kanomjeen from rice. Faculty of agriculture natural resources and environment, Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)