

ผลของการพรีทรีตและการทำแห้งต่อคุณภาพของแป้งข้าวฟ่าง
และการนำไปใช้ในการผลิตแพนเค้ก

Effect of Pretreatment and Drying Methods on the Quality of Sorghum Flour and
Its Application in Pancake Production

รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม*

Rungtip Wongtom*

Received: September 21, 2018

Revised: April 20, 2019

Accepted: April 27, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการเตรียมข้าวฟ่างต่อคุณภาพของแป้งข้าวฟ่างและคุณภาพของผลิตภัณฑ์แพนเค้กแป้งข้าวฟ่าง โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial completely randomized design 3x2 ซึ่งมีวิธีการเตรียม 3 วิธี (ข้าวฟ่างแช่น้ำ นาน 15 นาที นึ่งไอน้ำ นาน 15 นาที และต้มน้ำเดือด นาน 4 นาที) และทำการแห้ง 2 วิธี (การทำแห้งแบบถาด, การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง) จากผลการทดลองพบว่า วิธีการเตรียมข้าวฟ่างส่งผลต่อ ความชื้น, น้ำอิสระ, peak viscosity, breakdown, peak time, pasting temperature และค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของแป้งข้าวฟ่าง วิธีการเตรียมมีผลต่อโครงสร้างของแป้งข้าวฟ่างโดยใช้กล้อง SEM ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านความร้อนและทำแห้งทั้ง 2 วิธี มีผลึกขนาดใหญ่กว่าตัวอย่างควบคุม แปนเค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการเตรียมทุกวิธีและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า มีการยอมรับทางประสาทสัมผัสของแพนเค้กด้านเนื้อสัมผัสมากกว่าวิธีการอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ: แปนเค้ก, แป้งข้าวฟ่าง, การทำแห้ง

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate pretreatment and drying methods and their effects on sorghum flour qualities and application in pancake. The experiment was laid out using a 3x2 factorial completely randomized design with 3 preparation methods (sorghum soaking in water for 15 minutes, steaming for 15 minutes and boiling for 4 minutes) and 2 drying methods (tray drying and freeze drying). The results show that the preparation methods of sorghum affected sorghum flour on moisture, water activity, peak viscosity, breakdown, peak time, pasting temperature and color value (L^* , a^* , b^*). The preparation methods affected on structure of sorghum flour were analyzed using Scanning Electron Microscope (SEM) at 3000X magnification. The morphology of sorghum flour pretreated with moisture heat was bigger than that of the control. Pancakes made from all pretreated sorghum flours followed by freeze drying demonstrated a higher sensory acceptance score in terms of texture than that of the others ($p \leq 0.05$).

Keywords: Pancake, Sorghum flour, drying

* Corresponding author e-mail: rungtip.w@mail.rmuk.ac.th

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Food Product Development Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Krungthep

บทนำ

ข้าวฟ่าง เป็นธัญพืชอันดับ 5 ของโลก รองจากข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ การใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างในระดับโลก เฉพาะในอาหารมีเพียงร้อยละ 42 [1] ข้าวฟ่างมีความสำคัญที่สุดสำหรับคนหลายล้านคนในเขตกึ่งร้อนและเขตร้อนของเอเชียและแอฟริกา [2],[3] โดยมีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายอย่าง เช่น ขนมปังปลอดกลูเตน ส่วนประกอบของขนมปังขนมขบเคี้ยว อาหารเข้าจากธัญพืช โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป อาหารที่ผ่านการอบด้วยไอน้ำ ข้าวฟ่างต้ม และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์และไม่มีแอลกอฮอล์ [4], [5] สำหรับประโยชน์ทางด้านโภชนาการและแหล่งสำคัญของสารอาหาร เช่น พลังงาน โปรตีน แร่ธาตุ วิตามินอี แคโรทีนอยด์ และสารแทนนินซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค [6] ข้าวฟ่างมีสารในกลุ่มฟิโนลิก และฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ [7] ประกอบด้วยกรดฟิโนลิก แอนโทไซยานิน ไฟโตเตอรอล และฟิโคซานอล ที่ดีต่อสุขภาพ และบำบัดโรค เช่น โรคแพ็กกลูเตน โรคเบาหวาน และโรคอ้วน [8] จากสถิติทั่วโลกมีผู้ป่วยโรคแพ็กกลูเตนประมาณร้อยละ 1-2 และในประเทศไทยมีผู้ป่วยประมาณร้อยละ 0.3 ส่วนใหญ่เป็นคนผิวขาวและเป็นได้ในทุกช่วงอายุและมากสุดในกลุ่มอายุ 35 ปีขึ้นไป [9] มีรายงานว่าพบคนเป็นโรคแพ็กกลูเตนประมาณร้อยละ 1 และแพ้ข้าวสาลีแพร่หลายโดยประมาณร้อยละ 0.5 ของประชากรโลก [10]

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตสินค้าเกษตรมูลค่าเพิ่ม เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เกล็ดรสชาติ หวีเชื้อจุลินทรีย์ ขนมขบเคี้ยว และผลไม้อบแห้ง โดยการระเหิดที่สภาวะสุญญากาศ (0.075-0.375 ทอร์) และอุณหภูมิต่ำ (<-40 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งมีโครงสร้างเป็นรูพรุน ทำให้เกิดพื้นผิวที่กรอบและการคืนสภาพอย่างรวดเร็ว รักษาคุณค่าสารอาหารและรสชาติที่ดีไว้ เป็นข้อได้เปรียบด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่มีข้อจำกัด คือ กระบวนการใช้เวลานานกว่าที่น้ำแข็งจะระเหิดกลายเป็นไอน้ำ จึงต้องใช้พลังงานสูง จากงานวิจัยมีการใช้ IRAFD ปรับปรุงความกรอบของขนมขบเคี้ยวจากกล้วย ให้มีคุณภาพสูง

ประหยัดเวลาและพลังงานอย่างมากในระหว่างการอบแห้ง [11] ใช้ยืดอายุการเก็บและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ผลกระทบของเวลาในการเก็บและอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณฟิโนลิกและคุณภาพของเบียร์แห้ง [12] ส่วนการอบแห้งแบบลมร้อนเป็นการถ่ายเทมวลระหว่างพื้นผิวของผลิตภัณฑ์และสื่อโดยรอบ มีการใช้การอบแห้งแบบพาความร้อนในการทำแห้งบรอกโคลี เพื่อผลิตสารสกัด sulforaphane [13]

การใช้แป้งข้าวฟ่างที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนหรือแป้งที่ได้จากการไม่แห้งจะมีคุณภาพต่ำค่อนข้างหยาบ เก็บได้ไม่นาน เหม็นหืนง่ายเพราะยังมีไขมันสูง [14] เมื่อนำมาผลิตแพนเค้ก อาจส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และการขึ้นฟู เมื่อเทียบกับแป้งที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีคุณสมบัติดีขึ้น การใช้ความร้อนจึงเป็นวิธีที่ดีในการปรับปรุงคุณภาพแป้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแป้งที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน จากรายงานวิจัยพบว่าแป้งข้าวฟ่างที่ถูกให้ความร้อนแห้งอุณหภูมิ (95 และ 125 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15, 30 และ 45 นาที ส่งผลต่อความหนืด ปริมาตร และเซลล์ต่อพื้นที่ขึ้นทั้งหมดของขนมปังและเค้ก [2] การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อเพิ่มหรือลดอุณหภูมิกับแป้งดิบด้วยความร้อนส่งผลให้แป้งสุกโดยกระบวนการเจลาติไนเซชัน ทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งถูกเปลี่ยนแปลง [15] ในระหว่างการให้ความร้อนโปรตีนเกิดการเสียสภาพ และการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งบางส่วน ส่งผลต่อการเพิ่มความหนืดของแป้ง [16] ข้าวฟ่างถูกอัดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสและ 160 องศาเซลเซียส ปรับความชื้นร้อยละ 10, ร้อยละ 14 และร้อยละ 18 โดยการเอกทูลชันส่งผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เม็ดแป้งเกิดเจลาติไนส์บางส่วน เพิ่มการดูดซับน้ำและเวลาในการสร้างโด [4] ความร้อนชื้น (HMT) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติการทำงานที่ไม่ดีของแป้งพื้นเมือง ข้าวโพด ลูกเกาลัด ข้าว มันฝรั่ง สตรัซข้าวฟ่าง และข้าวอินดิกา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลและสมบัติทางเคมีกายภาพ [17] มีรายงานการปรับปรุงคุณลักษณะด้านคุณภาพของแป้งข้าวโอ๊ต และบะหมี่ข้าวโอ๊ตโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 ระดับ คือ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และ 100 องศาเซลเซียส

* Corresponding author e-mail: rungtip.w@mail.rmutk.ac.th

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Food Product Development Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Krungthep

20 นาที ส่งผลต่อการปรับปรุงสัณฐานวิทยาและคุณสมบัติการดูดน้ำและเวลาในการสร้างโดของแป้งข้าวโอ๊ต รวมถึงปรับปรุงเนื้อสัมผัสและรสชาติของขนมปังข้าวโอ๊ต [18]

แพนเค้ก เป็นเบเกอรี่ที่ผู้บริโภคนิยมรับประทาน มีชื่อเรียกได้หลายชื่อ เช่น Girdlecakes, Flapjacks, Wheat Cakes หรือ Flannel Cakes เป็นเค้กแบนบางและทอดบนกระทะแบน มีส่วนประกอบหลัก คือ แป้งสาลี มีการศึกษาการทำแพนเค้กที่ปราศจากกลูเตนโดยใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งมันฝรั่ง [19] ผลของการใช้ความร้อนของแป้งข้าวฟ่างต่อโครงสร้างของขนมปังและเค้ก [2] การปรับปรุงข้าวฟ่างปราศจากกลูเตนและขนมปังโดยใช้ข้าวโพด มันสำปะหลัง มันฝรั่ง หรือแป้งข้าว [20] การใช้ส่วนผสมของแป้งข้าวฟ่าง แป้งข้าว แป้งข้าวโพด กับแป้งมันฝรั่ง ในการเตรียมพาสต้าปราศจากกลูเตน [21] การปรับปรุงคุณสมบัติการไหลและเนื้อสัมผัสของโดและขนมปังปราศจากกลูเตน โดยใช้มันสำปะหลังหมัก, มันเทศ และแป้งผสมข้าวฟ่าง [10] การใช้ข้าวฟ่างในอัตราส่วนที่มากขึ้น 10:90, 20:80, 30:70, 40:60 และ 50:50 มีผลต่อความคงตัวของแบตเตอรี่ จากก้อนโดที่แผ่เป็นแผ่นบางได้ เพิ่มความแน่นเนื้อ ความสามารถในการเคี้ยว [20]

แป้งข้าวฟ่าง ประกอบด้วยเมล็ดแป้งและส่วนประกอบที่ไม่ใช่แป้ง ซึ่งรวมถึงโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง ไขมัน และโปรตีน การใช้ความร้อนเพื่อปรับสภาพแป้งและเคลื่อนย้ายความชื้นเป็นไปได้ที่จะส่งผลต่อการปรับเปลี่ยนทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของแป้งในการผลิตเค้กและขนมปังงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการพรีทรีตเมนต์และวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของแป้งข้าวฟ่างและคุณภาพของผลิตภัณฑ์แพนเค้กที่ได้จากแป้งข้าวฟ่างผ่านกระบวนการดังกล่าว

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. ศึกษาการพรีทรีตเมนต์และวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของแป้งข้าวฟ่าง

1.1 วัตถุดิบข้าวฟ่างหาล้าง ได้จาก ร้านค้าแก้วเกษตร ขนาดบรรจุ 1 กิโลกรัม บรรจุในถุงพลาสติกใสสุญญากาศ ซิลปากถุงปิดสนิท เก็บได้นาน 1 ปี

นำข้าวฟ่างมาเตรียมก่อนนำไปทำแห้งโดย ส่วนที่ 1 แช่น้ำ (อัตราส่วนน้ำเปล่าต่อข้าวฟ่าง 2:1, 15 นาที) ส่วนที่ 2 นึ่งไอน้ำ (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส, 15 นาที) และส่วนที่ 3 ต้มน้ำเดือด (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส, 4 นาที) จากนั้นนำไปทำแห้งต่างกัน 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 การทำแห้งแบบถาด (ยี่ห้อ กล้วยน้ำไท รุ่น ไทยประดิษฐ์) น้ำหนักข้าวฟ่างต่อถาด 700-800 กรัม ทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง และวิธีที่ 2 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ยี่ห้อ Christ รุ่น Alpha 1-4 LD plus) น้ำหนักข้าวฟ่างต่อถาด 200-300 กรัม (ความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร) นำไปแช่เยือกแข็ง -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ใช้ความดัน 0.09 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ -55 องศาเซลเซียส นาน 55 ชั่วโมง หลังการทำแห้งนำมาไม่แห้งด้วยเครื่องไม้อัด (ยี่ห้อ Chakawal Center รุ่น PM-1) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh

วางแผนการทดลองแบบ 3x2 factorial completely randomized design โดยศึกษา 2 ปัจจัย คือ การพรีทรีตเมนต์ 3 วิธี ได้แก่ แช่น้ำ, นึ่งไอน้ำ และต้มน้ำเดือด และการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบถาดและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้ตัวอย่างทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง (Table 1) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตัวอย่างควบคุมคือ แป้งข้าวฟ่างบรรจุธรรมดา (CSUP) และแป้งสาลีเอนกประสงค์ (CW)

Table 1 Pretreatment and drying method of sorghum flour

Pretreatment methods	Drying methods
1. Soaked in water with a ratio of water to sorghum seed at 2:1 for 15 min	1. Tray dried, SOTD
	2. Freeze dried, SOFD
2. Steamed (100°C) for 15 min	1. Tray dried , STTD
	2. Freeze dried, STFD
3. Boiled (100°C) for 4 min	1. Tray dried , BOTD
	2. Freeze dried, BOFD

1.2 ศึกษาคุณภาพของแป้งข้าวฟ่าง

1.2.1 ค่าความชื้นด้วยเครื่อง moisture balance ยี่ห้อ Sartorius รุ่น MA-30

* Corresponding author e-mail: rungtip.w@mail.rmutk.ac.th

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Food Product Development Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Krungthep

1.2.2 ค่าน้ำอิสระ (Aw) ยี่ห้อ Novasina รุ่น LabMaster-AW

1.2.3 ค่าความหนืด ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) ยี่ห้อ New Port Scientific รุ่น RVA Super

1.2.4 ค่าสี ($L^* a^* b^*$) ด้วยเครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Quest XE

1.2.5 ดูโครงสร้างของแป้งข้าวฟ่าง โดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6480LV ทำการวัดค่า 3 ซ้ำ

2. ศึกษาการทดสอบแป้งข้าวฟ่างในผลิตภัณฑ์แพนเค้ก

นำแป้งข้าวฟ่าง 6 สิ่งทดลอง และแป้งตัวอย่างควบคุม มาผลิตแพนเค้กโดยใช้ส่วนผสมแพนเค้กสูตรมาตรฐาน (Table 2) ผลิตตามขั้นตอนการผลิตแพนเค้ก (Figure 1) ได้แพนเค้กทั้งหมด 7 สูตร

Table 2 Ingredients of pancake standard formula

Ingredients	Weight (g)	%
Milk	230	36.62
Sorghum flour	200	31.85
Butter	50	7.96
Egg (No. 2)	50	7.96
Vanila Flavor	2	0.32
Baking soda	6	0.96

Sieved flour together with baking soda and shelve
Beat eggs using Severin model SEV-3812 with level 3
speed for 2 min



Beat sugar, butter and eggs with level 3 speed for 2
min and slowly adding flour alternating with fresh
milk until it mixed



Put 1 table spoon of the mixture in a 3 cm diameter
circle mold that put on a hot Teflon pan. Wait for 1
min and spread butte, flip, wait for 1 min and spread
butter. Each side of pan cake was spread with butter
only one time.

Figure 1 Pancake process

ทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์แพนเค้ก ดังนี้

2.1 ค่าเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น Stable Micro Systems รุ่น TA - XT plus หัววัดแบบ Warner Bratzler Shear Blade Guillotine Probe ค่าที่ใช้ในการตัดคือ Pre-Test Speed 1 mm s^{-1} , Test Speed 3 mm s^{-1} , Post Test Speed 10 mm s^{-1} และ Cutting Distance of 25 mm ตามวิธีการของ [22] ทำการวัดค่า 3 ซ้ำ

แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ตาราง ANOVA หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี DMRT (Duncan's Multiple-Range Test)

2.2 การยอมรับทางประสาทสัมผัส

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสเนื้อสัมผัส (ความนุ่ม) และความชอบโดยรวม โดยให้คะแนนแบบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) คือ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ให้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน เป็นนักศึกษาสาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design ; RCBD) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี DMRT (Duncan's Multiple-Range Test)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาการเพีร่หรีดและการทำแห้งต่อคุณภาพของแป้งข้าวฟ่าง

จาก Table 3 พบว่า การทำเพีร่หรีดทุกวิธีการทำแห้งแบบถาด มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และแป้งข้าวฟ่างบดธรรมชาติ และสอดคล้องกับผลของปริมาณน้ำอิสระ จากรายงานวิจัยของ Kathryn Marston, Hanna Khouryieh and Fadi Aramouni. พบว่า แป้งข้าวฟ่างมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10.72 [2]

* Corresponding author e-mail: rungtip.w@mail.rmutk.ac.th

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Food Product Development Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Krungthep

Table 3 Water activity and moisture content of sorghum flour which pretreated and dried with different methods and normal sorghum flour.

Methods	Physical properties	
	Water activity	Moisture content
CW	0.525±0.00 ^a	11.91±0.46 ^a
CSUP	0.299±0.00 ^b	8.56±0.39 ^b
SOTD	0.176±0.00 ^d	6.27±0.11 ^d
STTD	0.179±0.00 ^d	6.38±0.04 ^d
BOTD	0.175±0.01 ^d	6.23±0.27 ^d
SOFD	0.216±0.00 ^c	7.55±0.09 ^c
STFD	0.217±0.00 ^c	7.42±0.42 ^c
BOFD	0.214±0.00 ^c	7.79±0.11 ^c

- a, b, c,..... Means in the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

- CW, all-purpose wheat flour; CSUP, normal sorghum flour; SOTD, soaked and tray dried sorghum flour; STTD : steamed and tray dried sorghum flour; BOTD, boiled and tray dried sorghum flour; SOFD, soaked and freeze dried sorghum flour; STFD, steamed and freeze dried sorghum flour; BOFD, boiled and freeze dried sorghum flour

Table 4 Rheology properties of sorghum flour which pretreated and dried with different methods and normal sorghum flour.

Methods	Peak viscosity(RVU)	Breakdown(RVU)	Setback ^{ns} (RVU)	Peak time(min)	Pasting temperature(^o C)
CW	2594.59±0.06 ^b	1118.53±0.06 ^a	1503.91±0.15	5.82±0.08 ^a	68.98±0.01 ^b
CSUP	2739.03±6.34 ^a	835.24±5.75 ^{bc}	1263.88±30.91	5.82±0.08 ^a	75.70±0.36 ^a
SOTD	2731.60±2.84 ^a	834.51±3.99 ^{bc}	1246.24±10.76	5.37±0.04 ^b	75.31±0.58 ^a
STTD	2736.49±3.40 ^a	835.40±6.79 ^{bc}	1256.43±16.36	5.39±0.23 ^b	75.24±0.06 ^a
BOTD	2741.73±2.56 ^a	835.69±2.25 ^{bc}	1262.96±4.29	5.40±0.03 ^b	75.64±0.37 ^a
SOFD	2733.80±5.19 ^a	834.74±7.61 ^{bc}	1248.94±5.33	5.53±0.17 ^b	75.17±0.59 ^a
STFD	2732.00±10.54 ^a	835.33±6.10 ^{bc}	1240.00±41.57	5.84±0.40 ^a	75.00±0.03 ^a
BOFD	2736.71±9.06 ^a	831.08±6.94 ^{bc}	1233.15±2.16	5.40±0.07 ^b	75.27±0.31 ^a

- a, b, c,..... Means in the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

- ^{ns} Means in the same column are not different.

- CW, all-purpose wheat flour; CSUP, normal sorghum flour; SOTD, soaked and tray dried sorghum flour; STTD : steamed and tray dried sorghum flour; BOTD, boiled and tray dried sorghum flour; SOFD, soaked and freeze dried sorghum flour; STFD, steamed and freeze dried sorghum flour; BOFD, boiled and freeze dried sorghum flour

จาก Table 4 พบว่า หลังการทำพรีทรีต และทำแห้งทั้ง 2 วิธี แป้งข้าวฟ่างทุกตัวอย่างมีคุณสมบัติในการเกิดเจล และความหนืดสูงสุด ไม่แตกต่างจากแป้งข้าวฟ่างธรรมดา ซึ่งค่าคุณสมบัติในการเกิดเจลของแป้งข้าวฟ่างมีค่าไม่แตกต่างกัน และสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Qingjie Sun, Zhongjie Han, Li Wang and Liu Xiong

พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจล (Pasting temperature) ของแป้งข้าวฟ่างมีค่า 76.60±0.01 องศาเซลเซียส [17] สำหรับค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวฟ่างทุกตัวอย่างให้ผลไม่สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Kathryn Marston, Hanna Khouryieh and Fadi Aramouni. ซึ่งรายงานค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวฟ่าง 4354±80 RVU [2]

* Corresponding author e-mail: rungtip.w@mail.rmuth.ac.th

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Food Product Development Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Krungthep

Qingjie Sun และคณะ รายงานค่าความหนืดสูงสุดของ แป้งข้าวฟ่าง มีค่า 225.88 ± 1.94 RVU [17] การเปลี่ยนแปลงของความหนืดของแป้งมีสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง [23] จากการรายงานวิจัย ความหนืดสูงสุดของตัวอย่างส่วนใหญ่ลดลงหลังการได้รับความร้อน อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในแป้งข้าวฟ่าง ลดลงอย่างต่อเนื่องตามความรุนแรงของการให้ความร้อน ซึ่งอาจเกิดจากข้อจำกัดในการบวมของอะไมโลสเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่สามารถซึมเข้าไปในตัวกลางเพื่อที่จะให้ความหนืดเพิ่มขึ้น [17] ค่า breakdown ของแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการพรีทรีตและทำแห้งทั้ง 2 วิธี ทุกตัวอย่างไม่แตกต่างจากแป้งข้าวฟ่างบดธรรมดา แสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวฟ่างทุกตัวอย่างมีความคงทนต่อแรงเฉือนและความร้อน และรักษาความหนืดไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงไม่แตกต่างกันและมีค่าต่ำกว่าแป้งสาลีเอนกประสงค์ และแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการพรีทรีตด้วยความร้อนและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าการคืนตัวของแป้งเมื่อเย็นตัวลงต่ำกว่าการทำแห้งแบบปกติ การคืนตัวของแป้งจะลดลงเมื่อโมเลกุลของสาย อะไมโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ (100-200 หน่วย) จะมีผลต่อการเกิดเจล ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคืนตัว เช่น ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง วิธีการต้ม อุณหภูมิ ระยะเวลาต้ม ความเป็นกรด-ด่าง วิธีการทำให้เย็น และสารประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในแป้ง [14] จากรายงานวิจัย อาจเกิดจากเม็ดแป้งบวมน้อย

ปริมาณอะไมโลสที่ถูกชะออกมาจากเม็ดแป้ง ขนาดอนุภาคเม็ดแป้ง และความยาวโซ่ของอะไมโลส โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีไขมัน (แป้งข้าวฟ่าง) ซึ่งสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำได้กับอะไมโลส บางชนิดในระหว่างบวม และการเจลาติไนเซชัน ความสามารถในการบวมของเม็ดแป้งและอัตราการเกิดเจลจะขึ้นอยู่กับความหลากหลายและแหล่งที่มาของแป้ง ปริมาณของอะไมโลส และน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสในเม็ดแป้ง

[20] เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการพรีทรีตด้วยการนึ่งไอน้ำและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (STFD) มีค่าสูงที่สุดและไม่แตกต่างจากแป้งข้าวฟ่างบดธรรมดาและแป้งสาลีเอนกประสงค์ จากรายงานการวิจัย ค่า breakdown, setback และเวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด (peak time) เพิ่มขึ้นในตัวอย่างแป้งหลังถูกความร้อน เนื่องจากการบวม และการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง รวมถึงการทำลายสภาพโปรตีนส่งผลให้ความหนืดของแป้งข้าวฟ่างสูงขึ้น โดยแป้งที่ผ่านการอบด้วยความร้อนและเวลาที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นเป็นเพราะความร้อนไปเพิ่มความสามารถของเม็ดแป้งในการดูดซับน้ำ [2] และงานวิจัย พบว่าแป้งข้าวฟ่างหลังการอบด้วยไมโครเวฟมีคุณสมบัติการเกิดเจลาติไนเซชัน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้ายของสารประกอบเชิงซ้อน อะไมโลส ไขมัน ความหนืดสูงสุด breakdown และค่าความคงตัวของแป้งสุกลดลง [1]

จาก Table 5 พบว่า ผลของการพรีทรีต และการทำแห้งมีผลต่อค่าสี การทำแห้งแบบปกติมีผลต่อค่าสีมากกว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ค่า L^* ของแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการพรีทรีตด้วยการนึ่งไอน้ำ และทำแห้งแบบปกติ (STTD) ให้ค่าความสว่างต่ำที่สุดมีสีของแป้งแตกต่างจากแป้งข้าวฟ่างวิธีอื่น จากรายงานวิจัย การพรีทรีตด้วยความร้อนจะทำให้แป้งมีสีเข้มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสีเดิมของแป้ง [2] และอาจเกิดจากสารสีแคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิกชนิดที่ให้สี เช่น แทนนิน ในเมล็ดข้าวฟ่างที่มีสีเหลืองอาจละลายไปกับน้ำที่แช่บางส่วนส่งผลให้แป้งที่ได้มีสีที่แตกต่างกันไป อาจขึ้นกับระยะเวลาการแช่ และวิธีการอบแห้ง [14] และขนาดอนุภาคและวิธีการไม่แป้งส่งผลต่อสีของบิสกิต บิสกิตที่ใช้แป้งที่ไม่แปรรูปเดิมมีค่า L^* สูง ส่วน ค่า b^* และ a^* มีค่าสูงในบิสกิตที่ใช้แป้งจากการไม่ด้วยค้อน และได้รับการยอมรับสูงในแป้งขนาดอนุภาค 251 และ 180 มิลลิเมตร [8]

* Corresponding author e-mail: rungtip.w@mail.rmutk.ac.th

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Food Product Development Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Krungthep

Table 5 Color values of sorghum flour which pretreated and dried with different methods and normal sorghum flour.

Methods	L*	a*	b*
CW	91.59±0.04 ^a	0.71±0.01 ^e	7.06±0.03 ^f
CSUP	87.60±0.33 ^b	1.10±0.03 ^c	11.45±0.27 ^e
SOTD	86.92±0.40 ^c	0.84±0.02 ^d	11.60±0.06 ^e
STTD	75.72±0.28 ^f	1.47±0.02 ^b	17.19±0.23 ^c
BOTD	81.05±0.20 ^g	1.93±0.01 ^a	18.54±0.68 ^a
SOFD	84.03±0.21 ^d	1.46±0.03 ^b	15.65±0.15 ^d
STFD	82.89±0.27 ^e	1.44±0.01 ^b	17.68±0.09 ^b
BOFD	83.18±0.24 ^e	1.13±0.01 ^c	15.85±0.08 ^d

^{a, b, c, ...} Means in the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

- CW, all-purpose wheat flour; CSUP, normal sorghum flour; SOTD, soaked and tray dried sorghum flour; STTD : steamed and tray dried sorghum flour; BOTD, boiled and tray dried sorghum flour; SOFD, soaked and freeze dried sorghum flour; STFD, steamed and freeze dried sorghum flour; BOFD, boiled and freeze dried sorghum flour

จากการโครงสร้างของเม็ดแป้งข้าวฟ่างโดยใช้กำลังขยาย 3,000 เท่า (Figure 2) เม็ดแป้งข้าวฟ่างปกติมีขนาดเล็ก มีทั้งรูปร่างกลมและหลายเหลี่ยม เมื่อถูกปรับสภาพ ด้วยความร้อนทุกวิธีการในการเตรียมสำหรับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีผลึกขนาดใหญ่มากกว่าการทำแห้งแบบถาดซึ่งมีผลึกเล็กกว่าและมีกระจายตัวแบบอัดแน่น การนึ่งไอน้ำขนาดผลึกของเม็ดแป้งที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเกาะตัวขนาดใหญ่ มีพื้นผิวไม่เรียบกระจายอยู่และมากกว่าการต้มน้ำเดือดและการแช่น้ำ และผลึกของแป้งที่ทำแห้งแบบถาด พรีทรีตด้วยการแช่น้ำมีผลึกขนาดเล็กเกาะตัวกันแบบอัดแน่นตามด้วย นึ่งไอน้ำ และการต้มน้ำเดือด ตามลำดับ จากรายงานของ Hosene, R. C. and Faubion, J. M. พบว่าเอนโดสเปิร์มของเมล็ดข้าวฟ่างมี 2 ส่วน โดยเม็ดแป้งที่อยู่ในเอนโดสเปิร์มที่แข็งจะมีรูปร่างหลายเหลี่ยม ส่วนเม็ดแป้งที่อยู่ในเอนโดสเปิร์มที่อ่อนจะมีรูปร่างกลม [24] เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นหลุม (pore) กระจายอยู่บนพื้นผิว ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบที่ติดอยู่บนพื้นผิวอาจจะละลายออกไปกับน้ำที่ใช้ล้างหรือน้ำที่ใช้แช่เมล็ดข้าวฟ่าง [14] ส่วนเม็ดแป้งข้าวฟ่างมีลักษณะพื้นผิวไม่เป็นหลุมทั้งที่ผ่านการแช่น้ำเหมือนกันอาจเนื่องจากการขั้นตอนการทำแห้ง การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งใช้หลักการเอาน้ำออก

จากพื้นผิวโดยวิธีการระเหิด ส่วนการทำแห้งแบบถาดเป็นการดึงน้ำออกโดยใช้ลมร้อน กระบวนการทำแห้งที่ต่างกันอาจส่งผลกระทบต่ออายุของพื้นผิวเม็ดแป้งบริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งที่น้ำและโมเลกุลเล็กๆ ผ่านได้ การแช่น้ำจึงทำให้เม็ดแป้งซับน้ำไว้ การเกิดรูพรุนหรือหลุมขนาดขยายใหญ่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำแห้ง [23] เม็ดแป้งที่ได้รับความร้อนในภาวะที่มีน้ำมากเม็ดแป้งจะพองตัวมากและมีอะไมโลส ส่วนที่ละลายน้ำได้หลุดออกมา และถ้ามีแรงดันแรงเฉือนด้วยส่งผลทำให้เม็ดแป้งถูกทำลาย [25] แป้งที่ผ่านการให้ความร้อนขึ้นบนพื้นผิวเม็ดแป้งมีรูปร่างมากกว่า โครงสร้างของโพรงเป็นระเบียบและมีขนาดเล็กกว่าเจลแป้งข้าวฟ่างมีโครงสร้างเดิมแตก แต่หลังจากการทำ Heat- moisture treatment (HMT) พบว่ามีรูเล็กๆ จำนวนมาก ความร้อนจะทำให้เกิดเจลในเม็ดแป้งบริเวณรอบนอกเล็กน้อยขณะที่เม็ดแป้งในแป้งไม่ได้รับผลกระทบ การเกิดเจลในเซชันบางส่วนของพื้นผิวที่เปียกชื้น การจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลใหม่และการสลายตัวของเนื้อเยื่อส่วนกลางที่ได้รับความร้อนขึ้นสูง การบวมบางส่วนและการหยุดชะงักของเม็ดแป้งโดยโมเลกุลของน้ำ และน้ำในระหว่างกระบวนการ HMT อาจทำลายผิวของเม็ดแป้ง [17]

* Corresponding author e-mail: rungtip.w@mail.rmutk.ac.th

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Food Product Development Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Krungthep

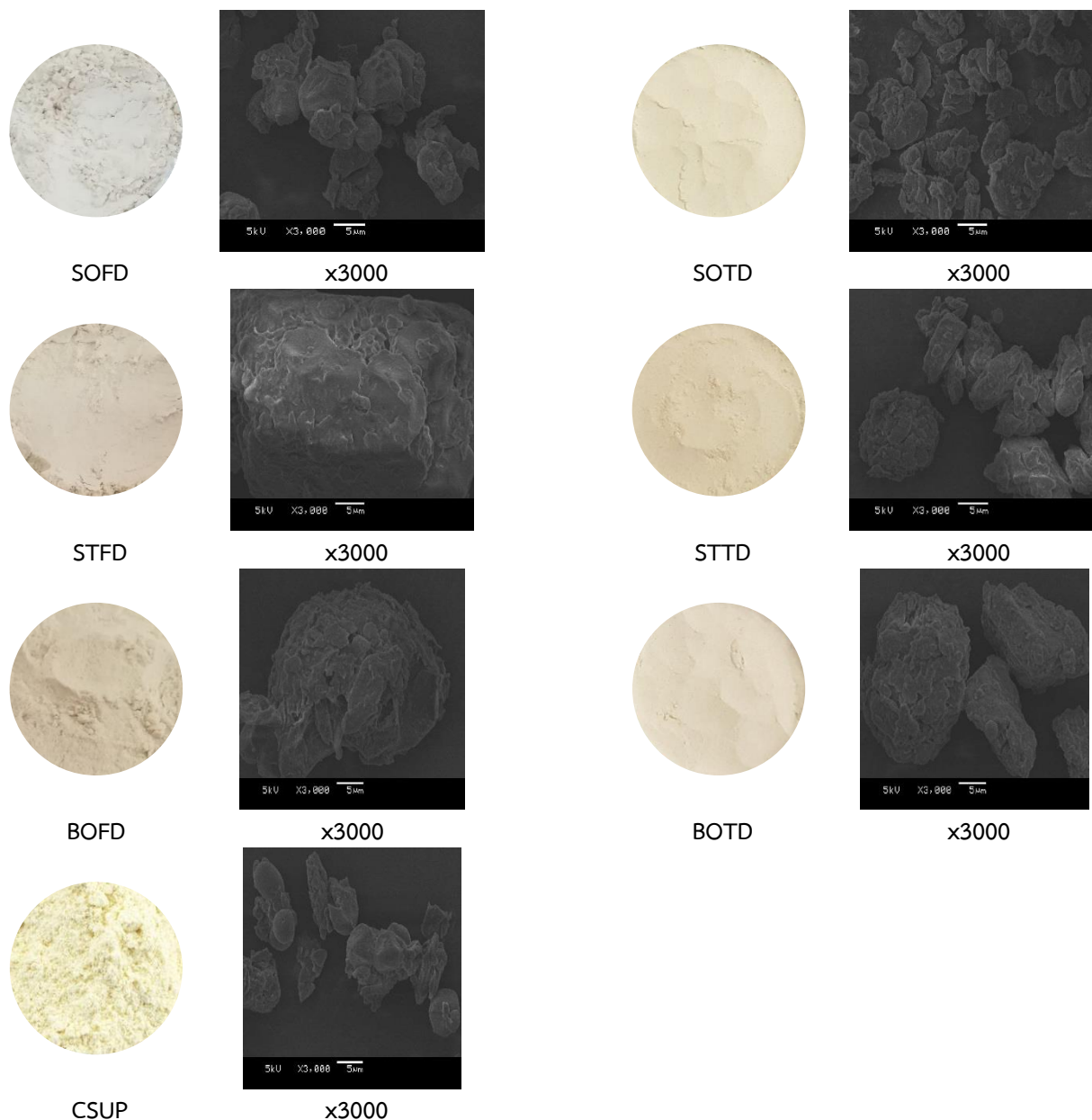


Figure 2 Scanning electron micrograph (SEM) of sorghum flour which pretreated and dried with different methods and normal sorghum flour.

2. ผลการศึกษาการทดสอบแป้งข้าวฟ่างในผลิตภัณฑ์แพนเค้ก

จาก Table 6 พบว่า แพนเค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างทุกตัวอย่าง มีคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับแพนเค้กที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการพรีทรีตทุกวิธีและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีคะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยช่วง 7.11-7.62 มากกว่าการทำ

แห้งแบบถาด แสดงให้เห็นว่าการพรีทรีตแป้งข้าวฟ่างและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ส่งผลในการปรับปรุงด้านเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้นและแตกต่างจากวิธีอื่นจากงานวิจัยของ Kathryn Marston, Hanna Khouryieh และ Fadi Aramouni [2] คะแนนการยอมรับโดยรวมของเค้กที่ใช้แป้งข้าวฟ่างที่ปรับปรุงด้วยความร้อน คือ 6.65 มีคะแนนสูงกว่าตัวอย่างควบคุม (5.98) และขนมปังมีค่าเท่ากับ 5.05 และ 4.76 จากรายงานวิจัยของ Adel Yousif, Dorothy

* Corresponding author e-mail: rungtip.w@mail.rmutk.ac.th

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Food Product Development Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Krungthep

Nhepera และ Stuart Johnson พบว่า คะแนนการยอมรับโดยรวมในการทดสอบผู้บริโภครุ่นเด็กที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนได้รับการยอมรับมากขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม [26] จากการรายงานวิจัยของ Kathryn Marston, Hanna Khouryieh และ Fadi Aramouni พบว่า การประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic ของ การใช้แป้งข้าวฟ่างในการทำขนมปังไม่ได้ลดความรู้สึกการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปัง

แบน [2] จากการรายงานวิจัยของ Nachuan Zhanga, Yuqi Gaoa, Litao Tongb และ Zaigui Li พบว่าถึงแม้ว่าการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 200 องศาเซลเซียส ทำให้กะหล่ำปลีมีความแข็งแรงมากขึ้น ความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น ด้านความยืดหยุ่นกลับลดลงแต่ให้ผลในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสไม่ต่างกับที่ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 100 องศาเซลเซียส [18]

Table 6 Hardness and sensory score of pan cake made from sorghum flour which pretreated and dried with different methods and normal sorghum flour.

Methods	Hardness (gf)	Sensory score	
		Hardness	Hardness
CW	912.16±46.72 ^b	7.54±0.71 ^a	7.44±0.75 ^a
CSUP	1291.04±87.54 ^a	6.20±0.62 ^b	7.28±0.61 ^b
SOTD	1090.41±50.12 ^b	6.05±0.37 ^b	7.01±0.57 ^b
STTD	974.67±79.91 ^b	6.70±0.66 ^b	6.63±0.48 ^b
BOTD	1426.39±66.02 ^a	5.57±0.72 ^c	5.12±0.94 ^c
SOFD	712.00±36.82 ^c	7.72±0.54 ^a	7.62±0.79 ^{ab}
STFD	884.14±89.90 ^b	7.57±0.81 ^a	7.39±0.55 ^{ab}
BOFD	876.38±90.57 ^b	7.42±0.43 ^a	7.11±0.83 ^b

^{a, b, c, ...} Means in the same column with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

- CW, all-purpose wheat flour; CSUP, normal sorghum flour; SOTD, soaked and tray dried sorghum flour; STTD : steamed and tray dried sorghum flour; BOTD, boiled and tray dried sorghum flour; SOFD, soaked and freeze dried sorghum flour; STFD, steamed and freeze dried sorghum flour; BOFD, boiled and freeze dried sorghum flour

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ว่า การพรีทรีตข้าวฟ่าง ด้วยการแช่น้ำ นึ่งไอน้ำ และการต้มน้ำเดือด และตามด้วยการทำแห้งข้าวฟ่างทั้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบถาดและแบบแช่เยือกแข็ง มีผลต่อปริมาณความชื้น น้ำอิสระ ค่าสี ค่าเนื้อสัมผัส โครงสร้างของเม็ดแป้ง และคุณสมบัติการเกิดเจล เมื่อนำแป้งข้าวฟ่างมาประยุกต์ใช้ในการผลิตแพนเค้ก พบว่า มีผลต่อค่าเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) และการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับแพนเค้กที่ผลิตจาก SOFD ไม่แตกต่างจากแพนเค้กที่ผลิตจากแป้งข้าวฟ่างธรรมดา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือของนักศึกษาสาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนี้ สมบูรณ์ ธีรานุพันธ์ นันทน์ภัส พวงทอง ธนนันท์ สุวิริยะกุล ในการปฏิบัติการทดลองการเก็บข้อมูลต่างๆ และกิจกรรมทุกอย่างที่ทำให้งานสำเร็จเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sharanagata, V.S., Suhaga, R., Ananda, P., Deswala, G., Kumara, R., Chaudharya, A., Singhb, L., Kushwaha, O.S., Manic, S.,

* Corresponding author e-mail: rungtip.w@mail.rmutk.ac.th

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Food Product Development Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Krungthep

- Kumara, Y. and Nema, P.K. (2019). Physico-functional, thermo-pasting and anti-oxidant properties of microwave roasted sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Journal of Cereal Science*. 85: 111-119.
- [2] Marston, K., Khouryieh, H. and Aramouni, F. (2016). Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *Journal of LWT - Food Science and Technology*. 65: 637-644.
- [3] Abdualrahman, M.A.Y., Ma, H., Yagoub, A.E.A., Zhou, C., Ali, A.O. and Yang, W. (2019). Nutritional value, protein quality and antioxidant activity of Sudanese sorghum-based kissra bread fortified with bambara groundnut (*Voandzeia subterranea*) seed flour. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 18: 32-40.
- [4] Jafari, M., Koocheki, A. and Milani, E. (2017). Effect of extrusion cooking of sorghum flour on rheology, morphology and heating rate of sorghum-wheat composite dough. *Journal of Cereal Science*. 77: 49-57.
- [5] Guindoa, D., Temea, N., Vaksman, M., Doumbiaa, M., Vilmsb, I., Guittonb, B., Sissokoa, A., Mestresd, C., Davrieuxde, F., Flideld, G., Kouressya, M., Courtoisb, B. and Ramib, J.F. (2019). Quantitative trait loci for sorghum grain morphology and quality traits: Toward breeding for a traditional food preparation of West-Africa. *Journal of Cereal Science*. 85: 256-272.
- [6] Anunciación, P.C., Cardoso, L.D.M., Gomes, J.V.P., Lucia, C.M.D., Carvalho, C.W.P., Galdeano, M.C. and Pinheiro-Sant'Ana, H.M. (2017). Comparing sorghum and wheat whole grain breakfast cereals: Sensorial acceptance and bioactive compound content. *Journal of Food Chemistry*. 221: 984-989.
- [7] Girard, A.L. and Awika, J.M. (2018). Sorghum polyphenols and other bioactive components as functional and health promoting food ingredients. *Journal of Cereal Science*. 84: 112-124.
- [8] Rao, B.D., Anis, M., Kalpana, K., Sunooj, K.V., Patil, J.V. and Ganesh, T. (2016). Influence of milling methods and particle size on hydration properties of sorghum of LWT - Food Science and Technology. 67: flour and quality of sorghum biscuits. *Journal* 8-13.
- [9] Kongdejsakda, C. (2017). Have you ever had bloating - diarrhea? Warning signs of starch allergies in sweets. Retrieved 29 Jan, 19 from <https://www.dailynews.co.th/article/557775>.
- [10] Monthea, O.C., Grosmaireb, L., Nguimboua, L.M., Dahdouhb, L., Riccib, J., Tranc, T. and Ndjouenkeua, R. (2019). Rheological and textural properties of gluten-free doughs and breads based on fermented cassava, sweet potato and sorghum mixed flours. *LWT-Food Science and Technology*. 101: 575-582.
- [11] Khampakool, A., Soisungwan, S. and Park, S.H. (2019). Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks: Drying kinetics, energy consumption, and texture. *Journal of LWT - Food Science and Technology*. 99: 355-363.
- [12] Cheng, A.W., Xie, H.X., Qi, Y., Liu, C., Guo, X., Sun, J.Y. and Liu, L.N. (2017). Effects of storage time and temperature on polyphenolic content and qualitative characteristics of freeze-dried and spray-dried bayberry powder. *LWT-Food Science and Technology*.

* Corresponding author e-mail: rungtip.w@mail.rmutk.ac.th

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Food Product Development Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Krungthep

- Journal of LWT-Food Science and Technology. 78: 235-240.
- [13] Mahn, A., Martin, C., Reyes, A., and Saavedra, I. (2016). Evolution of sulforaphane content in sulforaphane-enriched broccoli during tray drying. *Journal of Food Engineering*. 186: 27-33.
- [14] Hemptaratsuwan, P. (2005). Effects of variety and processing on the quality of sorghum flour and starch. master's thesis, Food Technology, Chulalongkorn University.
- [15] Ratithammatorn, T. (2016). Effects of Heating and Cooling on Structural Change and Digestion of Starch. *Burapha Science Journal*. 21(2): 246-259.
- [16] Neill, G., Al-Muhtaseb, A.H., Magee, T.R.A. (2012). Optimisation of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. *Journal of Food Engineering*. 113: 422-426.
- [17] Sun, Q., Han, Z., Wang, L. and Xiong, L. (2014). Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. *Journal of Food Chemistry*. 145: 756-764.
- [18] Zhanga, N., Gaoa, Y., Tongb, L., and Li, Z. (2018). Superheated steam processing improved the qualities of oats flour and noodles. *Journal of Cereal Science*. 83: 96-100.
- [19] SHIH, F.F., TRUONG, V.D. and DAIGLE, K.W. (2006). Physicochemical Properties of Gluten-free Pancakes from Rice and Sweet Potato Flours. *Journal of Food Quality*. 29: 97-107.
- [20] Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G. and Lindhauer, M.G. (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *Journal of LWT - Food Science and Technology*. 44: 681-686.
- [21] Ferreira, S.M.R., Mello, A.P.D., Anjos, M.D.C.R.D., Krüger, C.C.H., Azoubel, P.M.A. and Alves, M.A.D.O. (2016). Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. *Journal of Food Chemistry*. 191: 147-151.
- [22] Beitane, I., Krumina-Zemture, G. and Murniece, I. (2014). Sensory, Colour and Structure Properties of Pancake Prepared with Pea and Buckwheat Flours. *Journal of Foodbalt*. 9: 234-238.
- [23] Si Rot, K., and Piyachomkwan, K. (2003). *Starch Technology*. (3rd ed.). Bangkok: Kasetsart University Press.
- [24] Hosney, R.C., and Faubion, J.M., (1992). Physical properties of cereal grains. In D.B.Sauer. *Storage of Cereal Grains and Their Products*. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc.
- [25] Rattanapanone, N. (2018). *Food Chemistry*. (3rd ed.). Bangkok: Oadian Store.
- [26] Yousif, A., Nhepera, D. and Johnson, S. (2012). Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. *Journal of Food Chemistry*. 134: 880-887.

* Corresponding author e-mail: rungtip.w@mail.rmuk.ac.th

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Food Product Development Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Krungthep