การพัฒนาแครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกเสริมผงผักเคล

Development of germinated parboiled rice cracker supplemented with kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC) powder

กิตติยา ขุนไชย[1], ชลธาร ไกรษร[1], ภรทิพย์ ไขไพรวัลย์[1] และ กฤติกา ชุณห์วิจิตรา[1*]

Kittiya Khunchai[1], Chonlatharn Kraisorn[1], Phonthip Khaipraiwan[1] and Krittika Chunwijitra[1*]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000

[1]Department of Food Technology, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom, 48000, Thailand

**Corresponding author: krittika@npu.ac.th*

Received: date; February 2024 Accepted: date; June 2024 Published: date; June 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณการเสริมผงผักเคลที่ร้อยละ 0 2.5 5.0 และ 7.5 โดยน้ำหนัก (สูตรที่ 1 2 3 และ 4) ต่อคุณภาพด้านเคมีกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ผลการศึกษาพบว่าการเสริมผงผักเคลส่งผลให้คุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัส อัตราการขยายตัวและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ (สูตรที่ 2 ถึง 4) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่เสริมผงผักเคล (สูตรที่ 1) ปริมาณผงผักเคลที่เพิ่มขึ้นทำให้ ค่า *L* a* b** และ *C** ลดลง โดยสูตรที่ 4 ที่มีปริมาณผงผักเคลร้อยละ 7.5 มีค่า *L* a* b** และ *C** น้อยที่สุด คือ 34.23, -0.29, 14.35 และ 103.1 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกที่เสริมผงผักเคลมีเฉดสีอยู่ในช่วงเหลืองถึงเขียว (ค่า h° อยู่ระหว่าง 90° ถึง 180°) ส่วนที่ไม่มีการเสริมผงผักเคลจะมีเฉดสีแดงถึงสีเหลือง (ค่า h° อยู่ระหว่าง 0 ถึง 90°) และพบว่าสูตรที่เสริมผงผักเคลมีค่าอัตราการขยายตัวอยู่ในช่วงระหว่าง 7.00 ถึง 8.49 และมีค่าความแข็งที่ 2,105.00 ถึง 2,494.08 กรัม ซึ่งต่ำกว่าสูตรที่ 1 ที่ไม่เสริมผงผักเคล ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 12.83 และ 3,236.67 กรัม ตามลำดับ ตัวอย่างทุกสูตรมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0.3797 ถึง 0.5822 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.6 โดยอยู่ใน มผช. 523/ 2563 แครกเกอร์สูตรที่เสริมผงผักเคลที่ร้อยละ 5.0 เป็นสูตรที่ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุดโดยมีค่าอยู่ที่ 7.53

คำสำคัญ : แป้งข้าวฮางงอก ผักเคล แครกเกอร์

Abstract

The research aims to investigate the effects of adding 0%, 2.5%, 5.0%, and 7.5% kale powder by weight (formulas 1, 2, 3, and 4, respectively) on the physicochemical quality and sensory acceptance of the product. The results found that the addition of kale powder affected the color, texture, spread ratio, and water activity of the products (formulas 2 - 4) significantly differently from the sample without kale powder (formula 1). An increase in kale powder content decreased the L*, a*, b*, and C* values.

Formula 4, containing 7.5% kale powder, had the lowest L*, a*, b*, and C* values, ranging from 34.23, -0.29, 14.35, and 103.1, respectively. The germinated parboiled rice crackers supplemented with kale powder had a color shade ranging from yellow to green (hue angle 90° - 180°), while those without kale powder addition had a color shade ranging from red to yellow (hue angle 0° - 90°). It was found that the formulas added with kale powder showed a lower spread ratio in the range of 7.00 - 8.49 and hardness in the range of 2,105.00 - 2,494.08 g compared to the control sample (formula 1: without kale powder), which had values of 12.83 and 3,236.67 g, respectively. All formulas had water activity in the range of 0.3797 to 0.5822, less than 0.6 according to TCPS: 523/2020. The cracker with 5% kale powder had the highest sensory overall liking score of 7.53.

Keywords: germinated parboiled rice, kale, cracker

บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำเอาธัญพืชชนิดที่มีปริมาณแป้งสูง อาทิเช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ฟักทอง เป็นต้น มาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์จากข้าวเหนียวดำ (Sattasuwan et al., 2010) และผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน (ญาณิศา และคณะ, 2562) เป็นต้น โดยจุดประสงค์การทดแทนแป้งสาลีเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ปราศจากกลูเตนสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นโรคแพ้กลูเตน (Coeliac disease) ซึ่งกลูเตนเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่พบในข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต อีกทั้งแป้งจากธัญพืชยังอุดมไปด้วยสารอาหาร เช่น โปรตีน ใยอาหาร วิตามินและสารพฤษเคมี ซึ่งช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์

ข้าวฮางงอก เป็นข้าวที่เพาะงอกจากข้าวเปลือก โดยการแช่ข้าวเปลือกในน้ำ 1-2 คืน แล้วนำขึ้นมาพักไว้ปล่อยให้รากงอกยาวประมาณ 1-2 มิลลิเมตร จากนั้นทำการนึ่งและทำแห้ง ทั้งนี้ ในระหว่างกระบวนการงอกของรากเอนโดสเปิร์มจะนิ่มลงและเอนไซม์ที่อยู่ในเมล็ดข้าวถูกกระตุ้นทำให้เกิดการสลายวิตามิน แร่ธาตุ กรดอะมิโนและกลิ่นหอมจากเปลือกมาเคลือบที่เมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น โดยสารสำคัญที่พบในข้าวฮางงอก ได้แก่ สารกาบา (GABA) ซึ่งมีมากกว่าข้าวกล้องถึง 15 เท่า ช่วยรักษาระบบประสาทส่วนกลาง รักษาสมดุลในสมอง ป้องกันมะเร็งลำไส้ เป็นต้น อีกทั้งยังมีโปรตีนและไขมันที่ดี เช่น ออริซานอล โทโคฟีรอล ไตรโคไตรอีนอลฯ ซึ่งช่วยลดไขมันในเลือดและหลอดเลือด ลดไขมันชนิด LDL และเพิ่มปริมาณไขมันชนิด HDL นอกจากนี้ ข้าวฮางงอกยังมีปริมาณใยอาหารชั้นดีสูง สูงกว่าข้าวขาว 15 ถึง 20 เท่า (อุไรวรรณ และคณะ, 2561) ด้วยเหตุนี้ จึงมีการนำข้าวฮางงอกมาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพชนิดผงพร้อมชงจากข้าวฮางงอก (สุภกาญจน์ และคณะ, 2556) ผลิตภัณฑ์บราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวฮางงอก (โชติกานต์ และคณะ, 2565) เป็นต้น

ผักเคล (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC) หรือคะน้าใบหยิก จัดเป็นพืชผักในวงศ์ Brassicaceae เช่นเดียวกับคะน้า บร็อคโคลี่ และกะหล่ำปลี ผักเคลถูกขนานนามว่าเป็นราชินีแห่งผักสีเขียวทั้งมวล (Queen Of Greens) และได้รับการยอมรับว่าเป็น Super food หรืออาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ผักเคลมีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ วิตามินและแร่ธาตุ ที่สูงเมื่อเทียบกับผักประเภทอื่น ๆ ในปริมาณที่เท่ากัน โดยผักเคล 100 กรัม มีโปรตีน 4.3 กรัม ใยอาหาร 4.1 กรัม ธาตุเหล็ก 1.6 มิลลิกรัม แคลเซียม 254 มิลลิกรัม วิตามิน เอ 4,810 IU มีวิตามิน ซี สูงถึง 93.4 มิลลิกรัม และพบสารลูทีน (Lutein) และซีแซนทีน (Zeaxanthin) รวมกันในปริมาณมากถึง 6,260 ไมโครกรัม ซึ่งสารดังกล่าวทำหน้าที่ในการช่วยดูแลดวงตา (USDA, 2019) จากงานวิจัยของ Kahlon et al. (2007) พบว่าผักเคลช่วยยับยั้งการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ เนื่องจากผักเคลมีสารประกอบฟนอลสูงและมีสารออกฤทธิ์ที่

มีสวนชวยในการสงเสริมสุขภาพ Kim (2017) รายงานว่าในผักเคลมีสารอาหารหลายอย่างที่ช่วยปองกันการเสื่อมสภาพของดวงตาโดยเฉพาะลูทีนและซีแซนทีน

งานวิจัยนี้มีความสนใจนำผงผักเคลมาใช้เป็นวัตถุดิบร่วมกับแป้งข้าวฮางงอกในการผลิตแครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอก เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนการที่สูง เป็นที่สนใจของผู้บริโภค อีกทั้งยังไม่การศึกษามาก่อน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณการเสริมผงผักเคลที่ระดับที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0 2.5 5.0 และ 7.5 โดยน้ำหนัก ต่อคุณภาพด้านเคมีกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบเพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง เพิ่มกลุ่มผู้บริโภคที่แพ้กลูเตน และเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทย

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแป้งข้าวฮางงอก

นำข้าวฮางงอกที่ผลิตมาจากข้าวหอมมะลิ 105 จากวิสาหกิจชุมชนแม่บ้านเกษตรบ้านดงหลวง อ.เต่างอย จ.สกลนคร มาทำการอบลดปริมาณความชื้นด้วยการอบที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ชั่วโมงโดยให้ความชื้นสุดท้ายน้อยกว่าร้อยละ 10 จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดสมุนไพร ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 140 เมช เก็บใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์

2. การเตรียมผงผักเคล

นำผักเคลชนิดใบหยิกส่วนใบที่อายุการปลูกประมาณ 60 วัน จากจังหวัดนครพนม มาใช้ในการทดลอง โดยนำมาล้างให้สะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ นำมาหั่นเปนชิ้นที่เล็กลง จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง โดยให้ความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าร้อยละ 10 จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดสมุนไพร เก็บใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์

3. การผลิตผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกเสริมผงผักเคล

ชั่งส่วนผสม ได้แก่ แป้งข้าวฮางงอก 100 กรัม น้ำตาล 10 กรัม เกลือ 3 กรัม เนยสด 30 กรัม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 2 กรัม โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.8 กรัม โปรตีนถั่วเหลือง 5 กรัม และน้ำ 65 กรัม และเสริมผงผักเคลในปริมาณร้อยละ 0 2.5 5.0 และ 7.5 โดยน้ำหนัก ในสูตรที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ นำส่วนผสมแห้งทั้งหมดร่อนผ่านตะแกรง จากนั้นนวดจนเป็นเนื้อเดียวกัน พักแป้งโดใช้ผ้าขาวบางชุบน้ำคุลมทิ้งไว้นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ขึ้นรูปโดยชั่งน้ำหนักชิ้นละ 5±0.5 กรัม ขนาดชิ้นละ 4 x 4 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที หลังจากนำออกจากเตา นำตัวอย่างมาผึ่งให้เย็น จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมีและกายภาพ

4. การวิเคราะห์คุณภาพด้านสี

วิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ของผงผักเคล ด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น CR-400, Minolta, Japan) โดยวัดค่าสีตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 จุด นำค่า a^* และ b^* ที่ได้มาคานวณค่า C^* (Chroma) ตามสมการที่ 1 และค่า h° (Hue angle) ตามสมการที่ 2

$$\text{Chroma } (C^*) = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad \text{สมการที่ 1}$$

$$\text{Hue angle (h°)} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \text{ เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* \geq 0 \quad \text{สมการที่ 2}$$

$$= \tan^{-1}(b^*/a^*) + 180° \text{ เมื่อ } a^* < 0$$

$$= \tan^{-1}(b^*/a^*) + 360° \text{ เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* < 0$$

5. วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

วิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (water activity: a_w) ด้วยเครื่องวัดกิจกรรมน้ำ (รุ่น LabMaster-a_w Neo, Novasina, Switzerland) ทำการทดสอบทั้ง 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

6. วิเคราะห์ค่าอัตราการขยายตัว

วิเคราะห์ค่าอัตราการขยายตัว (spread ratio) ตามวิธี AACC (2000) โดยนำผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกเสริมผงผักเคลทั้ง 4 สูตร มาวัดค่าความหนาและค่าความกว้างของแครกเกอร์หลังอบด้วยเครื่องเวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper) สูตรละ 3 ซ้ำแล้วคำนวณตามสมการที่ 3

$$\text{อัตราการขยายตัว} = \frac{\text{ค่าขนาดความกว้างหลังอบ}}{\text{ค่าขนาดความหนาหลังอบ}} \qquad \text{สมการที่ 3}$$

6. วิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส โดยวิเคราะห์ค่าความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์ด้วย เครื่อง Texture analyzer (รุ่น CT3, USA) ใช้หัว Cylinder probe No.15 โดยทำการทดสอบทั้ง 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

7. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น ความกรอบ รสชาติ กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ของแครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกเสริมผงผักเคลทั้ง 4 สูตร โดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบความชอบแบบ 9 - point hedonic scaling

8. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ผักเคลชนิดเคลใบหยิก (curly kale) ดังแสดงใน Figure 1 (a) ที่ปลูกในจังหวัดนครพนม อายุการปลูก 60 วัน มาทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง แล้วบดเป็นผงละเอียด ผงผักเคลที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงสีเขียว ดังแสดงใน Figure 1 (b) เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านสีแสดงด้วยค่า L^* (ค่าความสว่าง) a^* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ในระบบ CIELAB และนำค่า a^* และ b^* ที่ได้มาคานวณค่า C* (Chroma) และ h° (Hue angle) พบว่าผงผักเคลมีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 58.10 -3.15 และ 31.34 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า C* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสดใสของสีพบว่าผงผักเคลมีค่า C^* อยู่ที่ 496.1 และมีค่า h° ที่แสดงถึงมุมของสีที่อยู่ที่ 178.5294 ซึ่งมีเฉดสีอยู่ในช่วงเหลืองถึงสีเขียว

(a) (b)

Figure 1 Fresh kale (a) and kale powder (b)

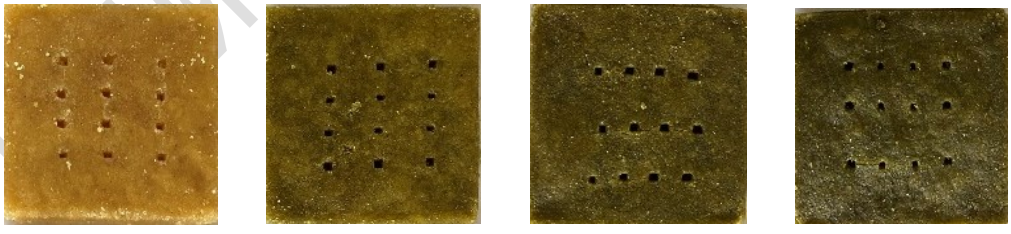
Table 1 Color characteristics of kale powder

	color characteristics				
kale powder	*L**	*a**	*b**	*C**	h°
	58.10±0.78	-3.15±0.09	31.34±0.07	496.1±1.32	178.5294±0.0012

Remarks: Mean values are the mean ± SD

นำผงผักเคลที่ได้มาเสริมในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอก ที่ประกอบไปด้วย แป้งข้าวฮางงอก น้ำตาล เกลือ เนยสด คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โซเดียมไบคาร์บอเนต โปรตีนถั่วเหลือง และน้ำ และเสริมผงผักเคลในปริมาณร้อยละ 0 2.5 5.0 และ 7.5 โดยน้ำหนัก ในสูตรที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์คุณภาพด้านสี อัตราการขยายตัว ค่าเนื้อสัมผัส ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกเสริมผงผักเคล ดังแสดงใน Table 2 พบว่าการเสริมผงผักเคลมีผลทำให้ค่า *L** *a** และ *b** ของแครกเกอร์ทั้ง 4 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณการเสริมผงผักเคลที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ ค่า *L** *a** และ *b** ลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากผงเคลมีสีเขียวเข้ม (Figure 1 (b)) เมื่อเสริมในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ทำให้สีของแครกเกอร์เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเขียวเข้ม ค่า *b** ที่แสดงความเป็นสีเหลืองลดลงจาก 30.11 ในสูตรที่ 1 (ไม่เสริมผงผักเคล) เป็น 20.60 17.45 และ 14.35 ในสูตรที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับ ค่า *a** เปลี่ยนจากค่าเป็นบวกซึ่งแสดงความเป็นสีแดงเป็นค่าติดลบซึ่งแสดงค่าความเป็นสีเขียวในตัวอย่างที่มีการเสริมผงผักเคล (สูตร 2 ถึง 4) สำหรับค่า *C** ที่แสดงถึงความสดใสของสีมีค่าลดลงจาก 476.5 ในสูตรที่ 1 ที่ไม่เสริมผงผักเคล เป็น 212.6 152.7 และ 103.1 ตามลำดับ เมื่อปริมาณการเสริมผงผักเคลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 2.5 5.0 และ 7.5 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า h° พบว่าสามารถแบ่งเฉดสีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่เสริมผงผักเคล ได้แก่ สูตรที่ 1 ค่า h° อยู่ที่ 1.3500 มีเฉดสีแดงถึงสีเหลือง (ค่า h° อยู่ระหว่าง 0 ถึง 90°) และกลุ่มที่เสริมผงผักเคล ได้แก่ สูตรที่ 2 3 และ 4 ค่า h° อยู่ที่ 178.4305 178.4373 และ 178.449 ตามลำดับ มีเฉดสีเหลืองถึงเขียว (ค่า h° อยู่ระหว่าง 90° ถึง 180°) สอดคล้องกับสีที่ปรากฏดังแสดงใน Figure 2



0% 2.5% 5.0% 7.5%

Figure 2 Photographs of kale powder (0–7.5%) supplemented germinated parboiled rice cracker

Table 2 *L* a* b* C** and h° of kale powder (0 – 7.5%) supplemented germinated parboiled rice cracker

formula	kale powder (%)	*L**	*a**	*b**	*C**	h°
1	0	54.49±2.98^{a}	6.75±0.16^{a}	30.11±1.26^{a}	476.5±38.9^{a}	1.3500±0.0072^{c}
2	2.5	39.72±0.57^{b}	-0.05±0.03^{b}	20.60±1.13^{b}	212.6±22.8^{b}	178.4305±0.0011^{b}
3	5.0	36.64±1.47^{bc}	-0.14±0.09^{bc}	17.45±1.22^{c}	152.7±20.9^{c}	178.4373±0.0058^{b}
4	7.5	34.23±0.74^{c}	-0.29±0.04^{c}	14.35±0.61^{d}	103.1±18.8^{c}	178.4496±0.0037^{a}

Remarks: Mean values are the mean ± SD, Mean values within columns with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

จาก Table 3 แสดงให้เห็นว่าการเสริมผงผักเคลมีผลทำให้ค่าอัตราการขยายตัวของแครกเกอร์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (สูตรที่ 1) ที่ไม่เสริมผงผักเคล โดยมีค่าอัตราการขยายตัวมากที่สุดอยู่ที่ 12.83 ซึ่งมากกว่าสูตรที่เสริมผงผักเคล (สูตรที่ 2 ถึง 4) ที่มีค่าอัตราการขยายตัวของแครกเกอร์ที่ 7.00 ถึง 8.49 เป็นผลมาจากผงผักเคลมีปริมาณใยอาหารที่สูง (USDA, 2019) ซึ่งจะไปขัดขวางการพองตัวของแป้งในการเกิดโครงสร้างโพรงอากาศจึงทำให้การขยายตัวของแครกเกอร์ลดลง สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Drisya et al. (2015) ที่รายงานว่า ผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่เสริมด้วยผงใบหอมแขกอบแห้ง ซึ่งเป็นพืชที่อุดมไปด้วยเส้นใยจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 15 ทำให้ค่าอัตราการขยายตัวลดลงจาก 7.40 เป็น 6.22

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้านความแข็งของตัวอย่างแครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกเสริมผงผักเคลด้วยเครื่อง Texture analyzer พบว่าแครกเกอร์ทั้ง 4 สูตรมีความแข็งที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเพิ่มปริมาณผงผักเคลส่งผลให้ค่าความแข็งของแครกเกอร์ลดลง จาก 3236.67 กรัม ในสูตรที่ 1 ที่ไม่เสริมผงผักเคล เป็น 2,105.00 2,244.00 และ 2,494.08 กรัม ในสูตรที่ 2 3 และ 4 ที่มีการเสริมผงผักเคลร้อยละ 2.5 5.0 และ 7.5 ตามลำดับ และปริมาณการเสริมผงผักเคลที่แตกต่างกันที่ระดับร้อยละ 2.5 ถึง 7.5 ไม่มีผลต่อค่าความแข็ง ($p > 0.05$) ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงเมื่อเสริมผงผักเคลเป็นผลมาจากผลิตภัณฑ์ขนมอบโดยทั่วไปจะนิยมใช้แป้งสาลีที่มีโปรตีนกลูเตนที่มีบทบาททำให้โครงสร้างของโดในผลิตภัณฑ์ขนมอบแข็งแรงในการผลิต แต่ในงานวิจัยนี้ใช้แป้งข้าวฮางงอกซึ่งปราศจากกลูเตนเป็นส่วนผสมส่งผลให้โครงสร้างของโดไม่แข็งแรง (Gallagher et al., 2004) เมื่อเสริมผงผักเคลซึ่งมีปริมาณใยอาหารที่สูงจะไปทำการขัดขวางโครงสร้างของโดเมื่อขึ้นรูปแล้วนำไปอบผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะร่วน ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์จึงลดลง

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้หรือปริมาณน้ำอิสระในตัวอย่าง พบว่าการเสริมผงผักเคลที่ระดับปริมาณร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนักขึ้นไป มีแนวโน้มให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้ง 4 สูตร มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้อยู่ที่ 0.3797 ถึง 0.5822 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.6 ส่งผลให้จุลินทรีย์โดยเฉพาะก่อโรคไม่สามารถเจริญได้รวมทั้งสามารถยับยั้งปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพและไม่ปลอดภัย (USFDA, 2014) และอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ขนมปังกรอบ (มผช.523/2563) คือ ไม่เกิน 0.6

Table 3 Spread ratio hardness and a_w of kale powder (0 – 7.5%) supplemented germinated parboiled rice cracker

formula	kale powder (%)	spread ratio	hardness (g)	a_w
1	0	12.83±3.18^{a}	3,236.67±226.89^{a}	0.5081±0.0962^{ab}
2	2.5	7.70±0.95^{b}	2,105.00±724.00^{b}	0.5822±0.0056^{a}
3	5.0	8.49±2.75^{ab}	2,244.00±170.48^{b}	0.3797±0.0165^{b}
4	7.5	7.00±0.00^{b}	2,494.08±292.62^{b}	0.4570±0.0043^{ab}

Remarks: Mean values are the mean ± SD, Mean values within columns with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ กลิ่น และความชอบโดยรวม (Table 4) ของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกเสริมผงผักเคลที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม ไม่เสริมผงผักเคล) 2.5 5.0 และ 7.5 ด้วยวิธีการทดสอบความชอบแบบ 9 - point hedonic scaling ให้คะแนนตามลำดับความชอบในช่วงคะแนน 1 - 9 โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน พบว่าผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ทุกสูตรได้รับคะแนนการทดสอบความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ กลิ่น และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกที่เสริมผงผักเคลในสูตรที่ 2 ถึง 4 สูงกว่าที่ไม่เสริมผงผักเคลในสูตรที่ 1 การเสริมผงผักเคลที่ปริมาณร้อยละ 5.0 ในสูตรที่ 3 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด โดยได้คะแนนจากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส ในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ ความกรอบ กลิ่น และความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยมีคะแนนอยู่ที่ 7.50 7.27 7.17 7.63 6.57 และ 7.53 ตามลำดับ ในขณะที่การเสริมผงผักเคลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 7.5 จะส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสในด้านสีและความกรอบลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเขียวเข้มขึ้นสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านสีใน Table 2 ที่พบว่าค่า *L* a* b** และ *C** ลดลง และมีค่าความแข็งที่มีแนวโน้มสูงขึ้น (Table 3)

Table 4 Sensory evaluation of kale powder (0–7.5%) supplemented germinated parboiled rice cracker

formula	kale powder (%)	sensory characteristics					
		appearance	color	order	crispness	taste	overall liking
1	0	6.00±1.05^{b}	6.03±1.35^{c}	5.73±1.23^{b}	6.83±1.34^{b}	5.73±1.23^{b}	5.37±1.00^{c}
2	2.5	6.37±1.07^{b}	6.50±1.11^{bc}	6.90±1.16^{a}	6.50±1.07^{b}	6.23±0.97^{a}	6.40±1.35^{b}
3	5.0	7.50±0.86^{a}	7.27±1.20^{a}	7.17±1.09^{a}	7.63±1.07^{a}	6.57±1.07^{a}	7.53±1.04^{a}
4	7.5	7.00±1.23^{a}	7.03±1.33^{ab}	7.03±1.03^{a}	6.80±0.89^{b}	6.43±1.14^{a}	7.30±0.92^{a}

Remarks: Mean values are the mean ± SD, Mean values within columns with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

สรุปผลการทดลอง

การเสริมผงผักเคลที่ปริมาณร้อยละ 0 2.5 5.0 และ 7.5 โดยน้ำหนัก ในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกมีผลต่อต่อคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ สี อัตราการขยายตัว ค่าความแข็ง ค่าปริมาณน้ำอิสระและการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ปริมาณผงผักเคลที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ ค่าสี *L* a* b** และ *C** ลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีสีเขียวที่เข้มขึ้น โดยมีเฉดสีอยู่ที่เฉดสีเหลืองถึงเขียว (h° อยู่ระหว่าง 90° ถึง 180°) ในส่วนของค่าอัตราการขยายตัวและค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้ง 4 สูตร อยู่ใน มผช. 523/2563 คือ มีค่าต่ำกว่า 0.6 แครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกเสริมผงผักเคลที่ร้อยละ 5.0 (สูตรที่ 3) ผู้บริโภคให้คะแนนการยอบรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุดในทุกด้าน โดยมีค่าคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ที่ 7.53 การเสริมผงผักเคลเพิ่มเป็นร้อยละ 7.5 มีผลทำให้คะแนนการยอบรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคลดลง โดยเฉพาะด้านความกรอบ ดังนั้น สามารถเสริมผงผักกเคลในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกได้สูงสุดที่ ร้อยละ 5.0 ทั้งนี้ข้อมูลจากการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์แครกเกอร์แป้งข้าวฮางงอกเสริมผงผักเคลในเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตร เพิ่มคุณค่าทางโภชนการให้กับผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ อีกทั้งยังเพิ่มกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพและกลุ่มที่แพ้กลูเตนได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

โชติกานต์ แขนอก, วิภา ลำพาย, อรัญญา พรหมกูล และอาภัสสร ศิริจริยวัตร. 2565. การพัฒนาบราวนี่ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวฮางงอก. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 27(2), 1393-1406.

ญาณิศา โพธิ์รัตน์โส, สุนันท์ บุตรศาสตร์ และพรพิษณุ ธรรมปัทม์. 2562. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน. วารสารเกษตรพระวรุณ. 16(2), 221-227.

สุภกาญจน์ พรหมขันธ์ พนอจิต นิติสุข และศุกฤชชญา เหมะธุลิน. 2556. รายงานการวิจัย เรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพชนิดผงพร้อมชงจากข้าวฮางงอก ประจำปีงบประมาณ 2556. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน: สกลนคร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2563. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ขนมปังกรอบ (มผช.523/2563). สืบค้น วันที่ 12 ธันวาคม 2566, จาก https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0523_63 (ขนมปักรอบ).pdf.

อุไรวรรณ วัฒนกุล, ศุภลักษณ์ สุดขาว และพีรพงษ์ พึ่งแย้ม. 2561. รายงานการวิจัย เรื่อง คุณภาพทางเคมี-กายภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกเร็วจากข้าวกล้องงอกผสม 3 สายพันธุ์ ประจำปีงบประมาณ 2561. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

AACC. 2000. Approved Methods of the AACC. 10th Ed. St Paul: American Association of Cereal Chemists.

Drisya, C.R., Swetha, B.G., Velu, V., Indrani, D. and Singh, R.P. 2015. Effect of dried *Murraya koenigii* leaves on nutritional, textural and organoleptic characteristics of cookies. Journal of Food Science and Technology. 52(1), 500-506.

Gallagher, E., Gormley, R.T. and Arendt, K.E. 2004. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. Trends in Food Science & Technology. 15, 143-152.

Kahlon, T.S., Chapman, M. H., and Smith, G.H. 2007. In vitro binding of bile acids by spinach, kale, brussels sprouts, broccoli, mustard greens, green bell pepper, cabbage and collards. Food Chemistry. 100(4), 1531-1536.

Kim, S.Y. 2017. Production of fermented kale juices with *Lactobacillus Strains* and nutritional composition. Preventive Nutrition and Food Science. 22(3), 231-236.

Sattasuwan, N., Nuengjamnong, N and Suksomboon, A. 2010. Development of rice crackers (Arare) from black glutinous rice. Agricultural Science Journal. 41(3/1)(Suppl.): 165 168.

USFDA. 2014. Water Activity (a_w) in Foods. January 13, 2024, Retrieved, from: https://www.fda.gov.

USDA. 2019. Kale, raw. December 13, 2 0 23, Retrieved, from: https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168421/nutrients

เกษตรอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขง