วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 29 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2567
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 29 (No.1) January – April 2024 บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบโดยใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์

Development of Crispy Roti Flour Using Riceberry Flour as Substitute for All Purpose Wheat Flour

วัฒนา วิริวุฒิกร*

Wattana Wirivutthikorn*

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประเทศไทย

Division of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Received : 18 October 2023, Received in revised form : 20 January 2024, Accepted : 21 January 2024

Available online : 5 February 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และเป็นแหล่งธาตุเหล็ก แคลเซียม และวิตามินอีที่ดี การใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์บางส่วนในแป้งโรตีกรอบ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เพื่อทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยผันแปรที่ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) 40, 60 และ 80

วิธีดำเนินการวิจัย : ศึกษาสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพ และทางเคมีของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่าน และไม่ผ่านการให้ความร้อน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คุณสมบัติสมบัติทางกายภาพที่ศึกษา ได้แก่ ความสว่าง สี และเนื้อสัมผัส คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ ใยอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระ และแอนโธไซยานิน นอกจากนี้ยังมีศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาด้านจุลินทรีย์ทั้งหมด และศึกษาการยอมรับประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

ผลการวิจัย : ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพความสว่าง สีแดง สีเหลือง ค่าความแข็ง และค่าความแตกหักพบว่า ลักษณะปรากฏมีสีม่วงอ่อนถึงเข้ม ความสว่าง สีแดง สีเหลือง ค่าความแข็ง และค่าความแตกหักอยู่ในช่วง 17.99-62.29, 7.91-10.55, 5.61-33.85, 267.26-2517.96 นิวตัน และ 0.80-6.90 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มากขึ้นมีผลทำให้ค่าที่วัดได้ คือ ค่าความสว่าง ค่าสี และเนื้อสัมผัสมีค่าลดลง ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี้ในช่วง 0.50-0.71 ความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1.28-3.62 ใยอาหารในช่วงร้อยละ 0.35-2.15 แอนโธไซยานินในช่วง 0.00-22.09 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และสารต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ในช่วง 0.00-45.11 มิลลิกรัมสมมูลโทร็อกซ์/ 100 กรัม ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาพบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแป้งโรตีกรอบ (มผช.503/2547) ส่วน

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า การเติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 40 ให้คะแนนการยอมรับโดยรวมด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีค่าสูงสุด คือ 7.57, 7.97, 7.67 และ 7.87 ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย : สรุปการใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ในปริมาณสูงขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบมีลักษณะคุณภาพเนื้อสัมผัสดีขึ้นรวมถึงเพิ่มใยอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระ และแอนโธไซยานิน

คำสำคัญ : ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ; โรตีกรอบ; แป้งสาลีอเนกประสงค์ ; ผลิตภัณฑ์แป้ง

Abstract

Background and Objectives : Riceberry is an antioxidant and a good source of iron, calcium and vitamin E. Riceberry flour was used to increase nutrition value and partially substitute all purpose wheat flour in crispy roti flour. Therefore, the purpose of this research was to develop the crispy roti flour products in order to substitute all purpose wheat flour with 0% (as a control formula), 40%, 60% and 80% of riceberry flour.

Methodology : The study of the physical and chemical properties of heated and unheated riceberry flour revealed that they were significantly different. Physical properties such as lightness, colour and texture, as well as chemical properties such as moisture content, water activity, crude fiber as well as anthocyanin and DPPH inhibition varied. Furthermore, microbiological properties including total plate count were also evaluated. In addition, the results of sensory evaluation of each product's in terms of colour, odour, texture and overall acceptability were performed by 30 panelists using the 9-point hedonic scale.

Main Results : With respect to the physical properties of lightness, redness, yellowness, hardness and fracturability, it was found that all experiments were significantly different ($p \leq 0.05$). The lightness, redness, yellowness, hardness and fracturability exhibited a light purple to dark purple colour in the range of 17.99-62.29, 7.91-10.55, 5.61-33.85, 267.26-2517.96 N and 0.80-6.90 mm, respectively. As the amount of riceberry flour increased, lightness, colour and texture also significantly decreased. The chemical properties showed that they were significantly different, except for the moisture. The water activity, moisture content, crude fiber, anthocyanin and DPPH inhibition were in the range of 0.50-0.71, 1.28-3.62%, 0.35-2.15%, 0.00-22.09 mg/g dry weight and 0.00-45.11 mg eq trolox/100g, respectively. The microbiological results revealed that total plate count met the standard regulation according to the Thai Industrial Standards Institute crispy roti (CPS.503/2004). The sensory evaluation indicated that colour, odour, texture and overall acceptability of crispy roti product supplemented with 40% riceberry flour gave the highest scores of 7.57, 7.97, 7.67 and 7.87, respectively.

Conclusions : In conclusion, higher amounts of riceberry flour used in order to replace all purpose wheat flour in the crispy roti flour product resulted in a high quality texture together with crude fiber, DPPH inhibition and anthocyanin.

Keywords : riceberry; crispy roti; all purpose wheat flour; flour product

***Corresponding author. E-mail** : wattana@rmutt.ac.th

บทนำ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีลักษณะเรียวยาว ผิวมันวาวเป็นข้าวจ้าวสีม่วงเข้มคล้ายกับลูกเบอร์รี่ที่มีสีม่วงเข้มเมื่อสุก หากเป็นข้าวกล้องจะมีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวอีกทั้งยังมีรสชาติหอมมัน เนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม เนื่องจากผ่านการขัดสีเพียงแค่บางส่วนเท่านั้นจึงยังทำให้คงคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้อย่างครบถ้วน ข้าวสายพันธุ์พิเศษสีม่วงนี้สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี มีอายุเก็บเกี่ยว 130 วัน ข้าวไรซ์เบอร์รี่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารสูงโดยคุณประโยชน์ที่เด่นชัดที่สุดพบได้ในน้ำมันรำข้าว และรำข้าว มีคุณสมบัติต่อต้านอนุมูลอิสระได้ดีมีฤทธิ์สูงกว่าวิตามินซี และวิตามินอี 2 เท่า อุดมไปด้วยโฟเลตในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยสารอาหารอื่นๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี วิตามินบี 1 ลูทีน แทนนิน สังกะสี โอเมก้า 3 ธาตุเหล็ก โพลีฟีนอล และใยอาหาร เป็นต้น ซึ่งสารอาหารเหล่านี้มีส่วนช่วยในการบำรุงร่างกาย บำรุงสายตา บำรุงระบบประสาท ลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง และช่วยป้องกันโรคต่างๆ ได้อย่างมาก (Vanavichit, 2015; Pukdee & Sripisut, 2016)

การปรับสภาพของแป้ง (pretreatment) มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์การใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน หรือแป้งที่ได้จากการโม่แห้งจะมีคุณภาพต่ำ ค่อนข้างหยาบ เก็บได้ไม่นาน และเหม็นหืนง่ายเพราะ ประกอบด้วยไขมันสูงเมื่อนำมาผลิตผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบอาจส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และการขึ้นฟูเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูงมีคุณสมบัติดีขึ้น (Wongtom, 2019) การใช้ความร้อนจึงเป็นวิธีที่ดีในการปรับปรุงคุณภาพแป้งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแป้งที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน จากรายงานวิจัยพบว่า แป้งข้าวฟ่างที่ถูกให้ความร้อนแห้งอุณหภูมิ (95 และ 125 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15, 30 และ 45 นาที ส่งผลต่อความหนืด ปริมาตร และเซลล์ต่อพื้นที่ชิ้นทั้งหมดของขนมปัง และเค้ก (Marston *et al*., 2016) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อเพิ่ม หรือลดอุณหภูมิกับแป้งดิบด้วยความร้อนส่งผลทำให้แป้งสุกโดยกระบวนการเจลาติไนเซชันมีผลทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งถูกเปลี่ยนแปลงในระหว่างการให้ความร้อนทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ และการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งบางส่วนส่งผลต่อการเพิ่มความหนืดของแป้ง (Neill *et al*., 2012)

ปัจจุบันมีแนวโน้มในการเลือกรับประทานอาหารที่ดีมีประโยชน์ต่อสุขภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมสูงมากขึ้นกว่าในอดีต (Boriphatmongkon *et al*., 2011) โรตีกรอบจัดเป็นอาหารว่างที่เป็นที่นิยมทั่วไปที่มีรสชาติหวานสามารถรับประทานร่วมกับชา และกาแฟได้ซึ่งดัดแปลงมาจากแผ่นแป้งโรตีที่นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถเพิ่มมูลค่า สร้างรายได้โดยการทอด และผสมเครื่องปรุงต่างๆ ได้แก่ เกลือ น้ำตาล และน้ำมันนวด

จนได้ก้อนแป้งที่เนียน จากนั้นจึงนำมารีดเป็นแผ่น ม้วน และรีดให้เป็นแผ่นแบนอีกครั้ง ตัดเป็นชิ้น และนำไปทอดราดด้วยนมข้นหวาน น้ำตาลทราย และอาจมีการเติมสีหรือกลิ่นเพิ่มเติมซึ่งในการทำโรตีใช้แป้งสาลีเป็นส่วนผสมซึ่งในแป้งสาลีมีโปรตีนชนิดหนึ่งที่เรียกว่า กลูเตนซึ่งไม่เป็นอันตราย สำหรับคนทั่วไปเพียงแต่จะต้องรับประทานอย่างเหมาะสมเพราะถ้าได้รับกลูเตนในปริมาณที่มากจนเกินไปอาจทำให้ส่งผลกระทบต่อภูมิคุ้มกันที่ทำให้เกิดสภาวะแพ้กลูเตนได้ และนอกจากนี้อาจมีผู้ที่ร่างกายไม่สามารถย่อยกลูเตนได้ก็จะทำให้เกิดอาการท้องเสีย หรืออาเจียน (Namhong, 2012; Kosum *et al*., 2013; Thanomvaraporn, 2019; Kangsanant *et al*., 2022; Chinachoti & Anakkul, 2023)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบที่ผลิตจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เพื่อการพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบเพื่อปรับอัตราส่วนเรื่องของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้เหมาะสมมีผลทำให้ลักษณะภายนอกด้านสีของผลิตภัณฑ์ดูมีความน่าสนใจเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจาก ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบโดยปกติทั่วไปที่ได้หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีสีขาวอมน้ำตาลทำให้ดูไม่น่ารับประทาน และไม่เป็นที่สนใจกับความต้องการของผู้บริโภค การใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มาปรับปรุงในเรื่องของสีสันนั้นน่าจะสามารถทำให้ลักษณะของแป้งโรตีกรอบที่ออกมามีแนวโน้มไปในทางที่ดีขึ้นรวมถึงสารประกอบทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น แอนโธไซยานิน และสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบที่ได้ประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และมีประโยชน์ต่อร่างกาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีคุณสมบัติที่สำคัญทางเภสัชศาสตร์ในด้านเป็นยารักษาโรคได้ซึ่งน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ทำให้ประชาชนบริโภคพืชผักมากขึ้น เพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพในการป้องกันโรค และเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Kosum *et al*., 2013; Raungrusmee *et al*., 2018; Khumkhom, 2019; Thanomvaraporn, 2019) และเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่มีความสนใจผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพประกอบกับจากการศึกษาข้อมูลพบว่า ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังไม่มีการรายงานไว้อย่างชัดเจนในด้านส่วนผสมที่เหมาะสม ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาอาหารว่างที่เป็นไปได้ คือ การผสมกับธัญพืชอื่นๆ เช่น แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยเป็นการเพิ่มมูลค่าข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นการส่งเสริมสินค้าที่ผลิตจากวัตถุดิบในประเทศเป็นการช่วยทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างรูปแบบใหม่ที่ทำให้เกิดความหลากหลาย และเป็นทางเลือกของผู้ประกอบการในการนำไปขยายต่อยอดในเชิงพาณิชย์ต่อไป โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ และวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ส่วน คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์

1. การเตรียมโรตีกรอบสูตรควบคุม

วัตถุดิบ และส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมโรตีกรอบแป้งสาลีอเนกประสงค์หรือตัวอย่างควบคุม ได้แก่

แป้งชั้นนอก แป้งสาลีอเนกประสงค์ 800 กรัม น้ำปูนใส 175 มิลลิลิตร น้ำมันปาล์ม 100 มิลลิลิตร น้ำตาลทราย 15 กรัม เกลือ 5 กรัม น้ำสะอาด 150 มิลลิลิตร และไข่ไก่ 1 ฟอง

แป้งชั้นใน แป้งสาลีอเนกประสงค์ 100 กรัม เกลือ 5 กรัม และน้ำมันปาล์ม 75 มิลลิลิตร

ร่อนแป้งสาลีอเนกประสงค์ และแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 นาที ด้วยตะแกรงขนาด 120 เมช เติมน้ำปูนใส น้ำเปล่า ไข่ไก่ น้ำตาล เกลือ และน้ำมันพืชผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน นำแป้งสาลีเอนกประสงค์ และแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มาผสมกับน้ำที่ผสมให้ค่อยๆ ผสมในชามผสมทีละน้อยๆ ให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน สังเกตลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อแป้งเข้าผสมกันเป็นเนื้อเนียน ไม่แฉะเกินไป แล้วพักแป้งในชามผสมไว้ พักแป้งไว้ 15 นาที คลุมด้วยผ้าขาวบางผสมแป้งสาลีอเนกประสงค์ น้ำมัน และเกลือให้เข้ากัน และพักไว้ในชามผสม นำแป้งชั้นนอกมารีดเป็นแผ่นบางๆ ทาส่วนผสมแป้งชั้นในบางๆ ในแป้งชั้นนอก จากนั้นม้วนแผ่นแป้งเข้าหากัน ตัดแป้งแบ่งออกเป็นชิ้นเล็ก หรือขนาดที่ต้องการ นำแป้งที่ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ มารีดให้เป็นแผ่นบางความหนา 2 มิลลิเมตร และยาว 3 เซนติเมตร ตั้งน้ำมันให้ท่วมกระทะอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำแป้งสาลีอเนกประสงค์ และแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ลงไปทอดจนเหลืองกรอบนำมาพักสะเด็ดน้ำมัน และจัดเก็บไว้ในกล่องพลาสติกดำเนินการจัดเก็บผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ ดัดแปลงจาก Phuangklang & Mahidsanan (2021); Kangsanant *et al*. (2022)

2. การเตรียมแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ และการวิเคราะห์คุณภาพของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

ศึกษาคุณภาพทางกายภาพของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้แก่ ความสว่าง (L^*) สีแดง (a^*) สีเหลือง (b^*) และด้านเคมี ได้แก่ ความชื้น ใยอาหาร และ วอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity; a_w) และจุลชีววิทยา ได้แก่ การวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมดในรูปแบคทีเรีย ดังรายละเอียดการวิเคราะห์ต่อไปนี้

-การวิเคราะห์ค่าความสว่าง และค่าสีแดง และสีเหลืองด้วยเครื่อง L^*, a^* และb^* ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex ทำโดยการเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบนำมาใส่ในภาชนะ และทำการวัดค่า L^*, a^* และ b^* บันทึกค่าที่ได้ (CIE, 1986)

-การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ทำได้โดยการเตรียมเครื่องต่อเข้ากับแขนสำหรับต่อหัววัดของ Texture analyzer ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA.XT ประเทศอังกฤษ ใช้หัววัด HDP/3PB โดยการนำผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบมาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก 8 ชิ้น/แผ่นขนาด 22 x 60 มิลลิเมตร ตัดด้านขอบออก วัดความแข็งของโรตีโดยใช้หัววัด HDP/BS ตัดตัวอย่างจนขาด บันทึกค่าความแข็ง (hardness; N) และความแตกเปราะ (fracturability; mm) ที่ใช้ตัดตัวอย่าง (Bourne, 2002)

-การวิเคราะห์ความชื้น โดยชั่งผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ 1-3 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักนำไปอบในตู้อบลมร้อนยี่ห้อ Medcenter Enrichtungen-GmbH รุ่น D-82166 ประเทศเยอรมนีที่อุณหภูมิ 105$\pm$5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างจากนั้นนำกลับไปเข้าตู้อบ และกระทำซ้ำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม คำนวณหาความชื้นดังสมการ (1) (AOAC, 2000)

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักก่อนอบและหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100 \quad (1)$$

-การวิเคราะห์วอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ทำการ calibrate เครื่องวัดค่า(a_w) ด้วยน้ำกลั่นให้ได้ค่า(a_w) มากกว่า 0.995 บรรจุตัวอย่างผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบที่ผ่านการบดละเอียดลงในตลับพลาสติกปริมาณ 1/4 ของตลับพลาสติกแล้วนำตลับตัวอย่างใส่ในตลับพลาสติก เริ่มทำการวัดค่า(a_w) แล้วบันทึกค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่ได้ (AOAC, 2000)

-การวิเคราะห์ใยอาหารชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ 25 กรัม ใส่ในบิกเกอร์ เติม 0.255 นอร์มอล กรดซัลฟูริก 200 มิลลิลิตร ต้มเดือดอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นานประมาณ 30 นาที ปิดฝาด้วยกระจกนาฬิกา (ขณะต้มพยายามรักษาปริมาตรให้คงที่โดยการเติมน้ำร้อนให้เท่าเดิม และเขย่าเป็นครั้งคราว) ทำให้เย็นใน 1 นาที กรองด้วย Buchner funnel ผ่านผ้ากรอง ล้างด้วยน้ำร้อนจนกรดหมดทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสใส่บิกเกอร์ เติม 0.313 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 200 มิลลิลิตร และทำการย่อยด้วยการต้มทำให้เย็นภายใน 1 นาที กรองด้วย Buchner funnel ผ่านผ้ากรอง ล้างด้วยน้ำร้อนจนด่างหมดทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส ล้างด้วยเอทานอลปริมาตร 10 มิลลิลิตรจำนวน 2 ครั้ง และล้างด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง นำกากถ่ายใส่กระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักนำไปใส่ในจานแก้วแล้วนำไปอบตู้อบลมร้อนยี่ห้อ Medcenter Enrichtungen-GmbH รุ่น D-82166 ประเทศเยอรมนี ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ และนำไปเผาในเตาเผายี่ห้อ Carbolite รุ่น ELF ประเทศอังกฤษ ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณหาใยอาหารดังสมการ (2) (AOAC, 2000)

$$\text{ร้อยละใยอาหาร} = 100 \times (W_1 - W_2)/W \quad (2)$$

เมื่อ W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_1 = น้ำหนักของกากหลังจากอบแห้ง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของเถ้า (กรัม) (AOAC, 2000)

-การวิเคราะห์แอนโธไซยานิน โดยเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบจำนวน 1 กรัม ใส่ลงในสารละลายเอทาโนลิกไฮโดรคลอริก (เอทธานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 85 มิลลิลิตรต่อกรดไฮโดรคลอริก 1.5 นอร์มอล ปริมาตร 15 มิลลิลิตร) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันปิดฝาด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 ปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทาโนลิกไฮโดรคลอริกให้มีปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายเอทาโนลิกไฮโดรคลอริกเป็นตัวปรับศูนย์ (blank) คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสมการที่ (3) และ (4) ดัดแปลงจาก Ranganna (1977); Suwan (2005) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

$$\text{Total absorbance} = (\text{OD } 535 \times V \times 100)/W \quad (3)$$

Total anthocyanin content (mg/g) = Total absorbance/98.2 (4)

โดยที่ V คือ ปริมาตรสารละลายที่นำมาหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาหาปริมาณสารแอนโธไซยานิน (กรัม)

OD 535 คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร

-การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (antioxidant activity) นำผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนความละเอียด 100 เมช เก็บตัวอย่างในถุงลามิเนทกันความชื้นที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส ดัดแปลงวิธีของ Shao *et al*. (2014) และทดสอบด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ดัดแปลงจากวิธีของ Pellati *et al*. (2004) โดยเตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ละลายด้วยเอธานอลร้อยละ 99 ปิเปตสารสกัดของตัวอย่าง 100 ไมโครลิตรผสมกับสารละลาย DPPH 2.9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วปล่อยให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยเทียบกับสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ (trolox) และรายงานผลในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของโทรล็อกซ์ต่อ 100 กรัมน้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัมสมมูลโทรล็อกซ์/ 100 กรัม) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

-การวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมดในรูปแบคทีเรีย ขั้นแรกเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar บรรจุลงในฟลาส์กรูปชมพู่ เตรียมจานเลี้ยงเชื้อ และหลอดทดลองที่ประกอบด้วยน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อด้วยวิธีเครื่องฆ่าเชื้อหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ปิเปตตัวอย่างผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองที่ระดับการเจือจางตั้งแต่ 10^{-1} ถึง 10^{-3} จำนวน 3 ซ้ำ ลงในจานเพาะเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้วเททับด้วยอาหาร plate count agar ประมาณ 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส หมุนจานอาหารเป็นวงกลมช้าๆ ตั้งทิ้งให้อาหารแข็งตัวประมาณ 15 นาที นำจานเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส ในลักษณะคว่ำจานเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีเชื้อจุลินทรีย์บนอาหารแต่ละความเจือจาง (30-300 โคโลนี) บันทึกผล คำนวณจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เป็นหน่วยนับโคโลนี/มิลลิลิตร (ซีเอฟยู/กรัม)

การเตรียมข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระบวนการอบแห้งในตู้อบลมร้อนยี่ห้อ Medcenter Enrichtungen-GmbH รุ่น D-82166 ประเทศเยอรมนี อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นบดข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมยี่ห้อฟิลิปส์ รุ่น HR2041/50 และกรองผ่านตะแกรงขนาด 120 เมช นำผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้นำไปบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์แบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ดัดแปลงจาก Khumkhom (2019) เพื่อใช้ในการทดลองในหัวข้อต่อไป

3. ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ในผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ

โดยการแปรปริมาณการทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์สูตรควบคุมด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน 4 ระดับ คือ สูตรควบคุม (ร้อยละ 0), 40, 60 และ 80 ของแป้งสาลีทั้งหมดที่ใช้ในสูตรโดยมีสูตรแป้งสาลี

อเนกประสงค์(ร้อยละ 0) เป็นสูตรควบคุม ดัดแปลงสูตรพื้นฐานจาก Phuangklang & Mahidsanan (2021); Kangsanant *et al*. (2022)

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบมาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9 - point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ช่วงอายุ 20-40 ปี ตัวแปรที่ทำการทดสอบ ได้แก่ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม (Wiriyajaree, 2018)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel 2016 (เป็นโปรแกรมการวิเคราะห์ค่าสถิติในชุดโปรแกรม Microsoft) การทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี สำหรับการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance ; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) (Wiriyajaree, 2018)

ผลการวิจัย

1. ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่าน หรือไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน ผลการศึกษาดัง Table 1 จากผลการวิจัยพบว่า ทุกค่าที่วัดได้สำหรับแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่าน หรือไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนค่าที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Table 1 Physical and chemical properties of non treated and treated riceberry flour with heat

physical and chemical properties	heating process	
	non treated*	treated*
*L**	$52.78^{b} \pm 0.22$	$54.16^{a} \pm 0.56$
*a**	$4.24^{a} \pm 0.11$	$3.83^{b} \pm 0.05$
*b**	$1.79^{b} \pm 0.12$	$2.89^{a} \pm 0.05$
moisture (%wet basis)	$10.04^{a} \pm 0.07$	$7.99^{b} \pm 0.12$
water activity	$0.39^{a} \pm 0.42$	$0.57^{b} \pm 0.01$
crude fiber (%wet basis)	$9.02^{a} \pm 1.12$	$1.77^{b} \pm 0.04$

N.B.: Different letters within a column indicate differences determined by Duncan's new multiple range test DMRT) at the 95 percent level of significance ($p \leq 0.05$)

2. สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ ได้แก่ ค่าความสว่าง ค่าสี ค่าความแข็ง และความแตกเปราะ ผลการศึกษาดัง Table 2 จากผลการวิจัยพบว่า ทุกค่าที่วัดได้สำหรับสมบัติทางกายภาพค่าที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Table 2 Physical properties of crispy roti flour product with various riceberry flour

riceberry flour (%)	values				
	*L**	*a**	*b**	hardness (N)	fracturability (mm)
0	62.29^{a}±0.20	10.55^{a}±0.40	33.85^{a}±1.49	2517.96^{a}±394.42	6.90^{a}±1.19
40	26.17^{b}±0.92	9.56^{ab}±0.40	13.76^{b}±1.24	1714.33^{b} ±211.21	5.00^{ab}±3.56
60	23.70^{c}±0.19	9.07^{b}±0.25	8.19^{c}±0.72	480.75^{c}±275.15	2.27^{b} ±2.35
80	17.99^{d}±1.83	7.91^{c}±1.17	5.61^{d}±0.69	267.26^{c} ±114.02	0.80^{c} ±2.66

N.B.: Different letters within a column indicate differences determined by Duncan's new multiple range test DMRT) at the 95 percent level of significance ($p \leq 0.05$)

3. สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ ได้แก่ ความชื้น a_w ใยอาหาร แอนโธไซยานิน และสารต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ผลการศึกษาดัง Table 3 จากผลการวิจัยพบว่า ค่า a_w เส้นใยอาหาร แอนโธไซยานิน และสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นความชื้น

Table 3 Chemical properties of crispy roti flour product with various riceberry flour

riceberry flour (%)	values				
	moisture (%wet basis)^{ns}	water activity*	crude fiber (%wet basis)*	anthocyanin (mg/g wet weight)*	DPPH (mg eq Trolox/wet100g)*
0	1.28±0.51	0.50^{b}±0.11	0.35^{c}±0.12	0.00^{d}±0.00	0.00^{d}±0,00
40	2.67±2.31	0.51^{b}±0.00	1.95^{b}±0.37	7.68^{c}±0.32	32.23^{c}±0.87
60	3.14±4.29	0.71^{a}±0.00	1.96^{b}±0.23	9.98^{b}±0.21	40.21^{b}±0.55
80	3.62±0.46	0.56^{b}±0.01	2.15^{a}±0.19	10.65^{a}±0.48	45.11^{a}±0.32

N.B.: *Different letters within a column indicate differences determined by Duncan's new multiple range test DMRT) at the 95 percent level of significance ($p \leq 0.05$), ns = non significant

4. สมบัติทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ

จากการวิเคราะห์จุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ โดยมีการตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมดวันที่ 0 ผลการศึกษาพบว่า การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ ผลการศึกษาดัง Table 4 จากผลการวิจัยพบว่าค่าจำนวนโคโลนีแบคทีเรียที่นับได้เมื่อแปรร้อยละแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่างกันมีปริมาณน้อยกว่า 1

Table 4 Total bacteria of crispy roti flour product with various riceberry flour

riceberry flour (%)	total bacteria (CFU/g)
0	<1
40	<1
60	<1
80	<1

5. สมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ

จากการวิเคราะห์การประเมินผลลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9- point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คนที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ตัวแปรที่ต้องการทดสอบ คือ ความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ จากผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่ทำการทดสอบมีความแตกต่างกันทางสถิติตามอัตราส่วนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไป ผลการศึกษาดัง Table 5

Table 5 Sensory evaluation of crispy roti flour product with various riceberry flour

riceberry flour (%)	liking scores			
	colour*	odour*	texture*	overall acceptability*
0	7.47^{a}±1.07	7.10^{b}±1.09	7.23^{a}±1.28	7.60^{a}±1.00
40	7.57^{a}±1.41	7.97^{a}±0.89	7.67^{a}±1.35	7.87^{a}±1.33
60	6.03^{b}±1.47	6.37^{bc}±1.63	6.23^{b}±1.50	6.13^{b}±1.50
80	5.17^{c}±2.05	5.67^{c}±2.09	5.47^{c}±1.53	5.67^{c}±1.86

N.B.: *Different letters within a column indicate differences determined by Duncan's new multiple range test DMRT) at the 95 percent level of significance ($p \leq 0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการศึกษาดัง Table 1 แสดงการวิเคราะห์ทางเคมีของการเตรียมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเปรียบเทียบกับแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยความร้อนที่ใช้ในการอบแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือ

150 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 นาที ซึ่งผลการวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raungrusmee *et al*. (2018) เมื่อนำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการความร้อนมีค่าวิเคราะห์ทางเคมีแตกต่างกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อนำไปวิเคราะห์ทางกายภาพด้านความสว่าง และค่าสีพบว่า ความสว่าง และสีเหลืองของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ส่วนค่าสีแดงของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ทั้งนี้เนื่องจาก แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีผลทำให้เกิดการเร่งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์ (กลูโคส และฟรุกโตส) กับกลุ่มกรดอะมิโนอิสระโดยเฉพาะกรดกลูตามิก และกลูตามีนที่มีปริมาณสูงที่สุดในวัตถุดิบหลัก และเกิดการสลายตัวของรงควัตถุแอนโธไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุหลักในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากในแป้งสาลีนั้นมีองค์ประกอบทั้งน้ำตาล และกรดอะมิโนส่งผลให้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนทำให้มีค่าสีน้ำตาลแดงเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น แต่ค่าสีแดงซึ่งผลการวิจัยที่ได้ไม่สอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดสีน้ำตาลค่าความสว่างควรลดลง แต่ค่าสีแดงควรเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างการให้ความร้อนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ (treated) เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งอาจจะใช้เวลาน้อยไป ถ้าใช้เวลาในการให้ความร้อนที่มากกว่านี้อาจจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น หรือการควบคุมสภาวะอุณหภูมิในตู้อบลมร้อน ตำแหน่งที่วางตัวอย่างในการอบมีผลทำให้การให้ความร้อนในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่อาจไม่สม่ำเสมอทั่วถึง (Gökmen & Senyuva, 2006; Hidalgo & Brandolini, 2011; Litwinek *et al*., 2020; Phuangklang & Mahidsanan, 2021) แต่ค่าใยอาหารไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Raungrusmee *et al*. (2018) ผลการวิจัยที่ได้ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rufián-Henares *et al*. (2009) กล่าวว่าอุณหภูมิในการแปรรูปอาหารจะกระตุ้นปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) มีผลทำให้ค่าสี และค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลีลดลง ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีค่าปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความชื้นของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีค่าร้อยละ 7.99 สอดคล้องกับงานวิจัย Raungrusmee *et al*. (2018) และงานวิจัยของ Phuangklang & Mahidsanan (2021) รายงานไว้ว่า ความชื้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.89 แต่แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีค่าใยอาหารน้อยกว่าแต่ค่า a_w มากกว่าแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน เนื่องจากการให้ความร้อนแก่แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยการอบแห้งมีผลทำให้ค่าใยอาหารลดลง แต่ค่า a_w ของข้าวไรซ์เบอร์รี่เพิ่มขึ้น ค่าดังกล่าวน่าจะลดลงอาจจะเป็นขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเนื่องจากการให้ความร้อนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ 10 นาที ซึ่งอาจจะใช้เวลาน้อยไป หรือการควบคุมสภาวะการให้ความร้อนอาจไม่สม่ำเสมอทั่วถึงซึ่งผลการวิจัยนี้ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Raungrusmee *et al*. (2018) ในการวิจัยนี้จึงได้นำแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 นาที มาใช้ศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบต่อไป

จากการศึกษาสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบทั้ง 4 การทดลองโดยแปรปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่แตกต่างกันดัง Table 2 พบว่า การเติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ต่างกันมีผลทำให้คุณลักษณะผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบแตกต่างกันทั้ง 4 การทดลองที่วิเคราะห์ในรูปค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง และเนื้อสัมผัสในรูปความแข็ง และความแตกหักมีความ

แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก การใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณที่แตกต่างกันโดยเฉพาะการทดลองที่ไม่ได้เติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ตัวควบคุม) การเติมปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มากขึ้นทำให้มีกลิ่น รสชาติค่อนข้างไปทางกลิ่นแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ซึ่งเป็นกลิ่นวัตถุดิบหลักโดยเฉพาะการทดลองที่มีการเติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 80 มีค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง และค่าเนื้อสัมผัสในรูปความแข็ง และความแตกเปราะต่ำกว่าทุกการทดลอง ค่าความสว่าง และค่าสีนับเป็นปัจจัยหนึ่งของการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบจึงคำนึงถึงปัจจัยนี้เป็นอันดับแรกๆ (Parnsakhorn & Langkapin, 2021) ผลการวิจัยจาก Table 2 โดยจากผลการวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มากขึ้นก็จะมีผลทำให้ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองที่วัดได้มีแนวโน้มลดลง (Khamklin *et al*., 2017; Raungrusmee *et al*., 2018; Saiyaphun *et al*., 2019; Sapantupong, 2019; Zhu & Sun, 2019; Kangsanant *et al*., 2022) เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของข้าวไรซ์เบอร์รี่ประกอบด้วยรงควัตถุแอนโธไซยานินเป็นหลักมีผลทำให้เนื้อแป้งมีสีม่วง-แดงและน้ำเงิน (Pukdee & Sripisut, 2016; Khumkhom, 2019; Zhu & Sun, 2019) เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบก็จะทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีสีม่วงเข้มมากขึ้นตามปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไป เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม การให้ความร้อนส่งผลลักษณะผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลเข้มเป็นผลเนื่องมาจากการให้ความร้อนในการแปรรูปสามารถยับยั้งการเกิดสามารถเกิดปฏิกิริยาโดยฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เมื่อสารประกอบฟีนอลิกและออกซิเจนสัมผัสกันโดยมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสารโมโนฟีนอล (mono-phenol) ซึ่งไม่มีสีจะถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งไม่มีสีและถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น **O**-quinone ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล และรวมตัวกันเป็นโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่มีสีน้ำตาล ความร้อน ก๊าซออกซิเจน และแสงมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแอนโธไซยานิน (Pukdee & Sripisut, 2016; Sapantupong, 2019; Zhu & Sun, 2019; Parnsakhorn & Langkapin, 2021, 2023) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ฯ ได้รับอิทธิพลจากปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลชนิดไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่มาจากส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ฯ ที่ประกอบด้วยน้ำตาล และโปรตีนจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนของโปรตีนในแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ และในไข่มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ฯ มีสีน้ำตาล ผลิตภัณฑ์นี้จึงมีสีที่ม่วงเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มากขึ้น (Pukdee & Sripisut, 2016; Sapantupong, 2019; Zhu & Sun, 2019) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในทุกการทดลองเกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงมีการเกิดโพลิเมอร์ของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทั้งแบบใช้เอนไซม์ และไม่ใช้เอนไซม์เป็นผลเนื่องมาจาก การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง และเวลาในการให้ความร้อนที่นานจะทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลให้เห็นได้ชัดเจนขึ้น ผลของความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และการสร้างสารพิษจากจุลินทรีย์ได้ (Pukdee & Sripisut, 2016; Parnsakhorn & Langkapin, 2021, 2023)

การวัดเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบเป็นสิ่งที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ด้วยการสัมผัส ผู้บริโภคสามารถรับรู้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ฯ โดยการสัมผัสผลิตภัณฑ์ฯ ด้วยมือ แตะ และบีบตัวผลิตภัณฑ์เบาๆ หรือการสัมผัสด้วยการกัด

ด้วยฟัน เพดานปาก ลิ้น และอาจรับรู้ด้วยเสียงจากการกัด หรือเคี้ยวมีบทบาทสำคัญมากในแง่คุณภาพ และการยอมรับของผู้บริโภค (Parnsakhorn & Langkapin, 2021) ซึ่งในผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้านความแข็ง และการแตกหักของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไป ความแข็ง และค่าความแตกเปราะที่วัดได้มีค่าต่างกันในช่วง 267-2,517 กรัมแรง และ 0.80-6.90 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดัง Table 2 ตามปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไป การทดลองที่ไม่เติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความแข็งมากที่สุดเท่ากับ 2517 N และ 6.90 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่านี้จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 80 การเติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความแข็ง และค่าความแตกหักที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลงทั้งนี้ผลงานวิจัยนี้ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Culetu *et al*. (2018); Zhong *et al*. (2020) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก แป้งเกิดปฏิกิริยารีโทรกราเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัวของแป้งโดยโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพกทินจะรวมตัวกับน้ำภายในผลิตภัณฑ์โมเลกุลน้ำตาลกลูโคสภายในสายจะเชื่อมต่อกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน และกำจัดน้ำที่เคยจับอยู่ออกจากโมเลกุลได้น้อยทำให้เกิดเป็นผลึกใหม่ที่แข็งแรงไม่มากส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่มีความแข็งน้อยลงเกิดขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์ฯ ผ่านการให้ความร้อน (Pukdee & Sripisut, 2016; Cao *et al*., 2019; Khumkhom, 2019; Saiyaphun *et al*., 2019; Sapantupong, 2019; Zhu & Sun, 2019; Kangsanant *et al*., 2022) และแป้งสาลีจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้ทำแป้งโรตีกรอบ เนื่องจากมีโปรตีนไกลแอดิน (gliadin) และกลูเตนิน (glutenin) ที่มีคุณสมบัติในการรวมตัวเป็นร่างแหเป็นโครงสร้างที่มีความซับซ้อนจากพันธะโปรตีนไกลแอดิน และกลูเตนินจับยึดแน่นมากขึ้นจึงทำให้แป้งโรตีมีความกรอบมากกว่าการเติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ซึ่งข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่มีโปรตีนดังกล่าว ดังนั้นการทดแทนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่แทนแป้งข้าวสาลีทดแทนได้บางส่วน (Thi-on & Supavititpatana, 2011; Khamklin *et al*., 2017; Sinchaipanit *et al*., 2017; Cao *et al*., 2019; Khumkhom, 2019; Zhu & Sun, 2019)

จากการทดลองทดสอบคุณภาพทางด้านเคมีดัง Table 3 ได้แก่ ความชื้น a_w ใยอาหาร แอนโธไซยานิน และสารต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH มีความแตกต่างมีนัยสำคัญสถิติ ยกเว้นความชื้น ความชื้นที่วัดได้ของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไปในช่วงร้อยละ 1.28-3.62 จากผลการวิจัยพบว่า ผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบที่มีการเติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 0, 40 และ 80 มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 กลุ่มอาหารแห้งค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 ในช่วงดังกล่าวจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ค่าที่วิเคราะห์นี้มีความสัมพันธ์กับการตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินเกณฑ์มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์โรตีแป้งกรอบเก็บได้นาน

ใยอาหาร เป็นองค์ประกอบที่พบในผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบ ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.35-2.15 ตามปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไปมีประโยชน์ต่อร่างกายในเรื่องช่วยในเรื่องระบบการขับถ่ายได้ดี ผลการวิเคราะห์ที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kosum *et al*. (2013); Raungrusmee *et al*. (2018); Wamark *et al*. (2018) และมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Noisumran *et al*. (2021) มีค่าเท่ากับร้อยละ 3.35

แอนโธไซยานิน เป็นสารประกอบฟีนอลชนิดหนึ่งเป็นรงควัตถุสีแดง ดำ หรือม่วงสะสมอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดสมบัติของแอนโทไซยานินที่ละลายได้ดีในน้ำ ไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน และแสงเมื่อโครงสร้างเปลี่ยนแปลงสีจะเปลี่ยนไปด้วย (Ratthanatham *et al*., 2013; Raungrusmee *et al*., 2018; Parnsakhorn & Langkapin, 2021, 2023)

ค่าแอนโธไซยานินที่วัดได้มีค่าสูงขึ้นเมื่อเติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เพิ่มขึ้นค่านี้สัมพันธ์กับค่าการวัดสารต้านอนุมูลอิสระ (Pukdee & Sripisut, 2016) ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบหลักซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Parnsakhorn & Langkapin (2023) กล่าวไว้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสมีแอนโธไซยานินเท่ากับ 22.60 มิลลิกรัม/100 กรัม แต่เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส มีผลทำปริมาณแอนโธไซยานินลดลงเหลือ 20.36 มิลลิกรัม/100 กรัม Yawadio *et al*. (2007) รายงานว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีแอนโธไซยานินสูงถึง 87.46 มิลลิกรัม/100 กรัม แต่ทั้งนี้หลังการนำมาผลิตเป็นข้าวห่อใบบัวต้องผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่ง และการใช้อัตราส่วนน้ำในการหุงที่สูงขึ้น จึงอาจส่งผลต่อการลดลงของแอนโธไซยานิน เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานของแอนโธไซยานินประกอบด้วยฟลาวีเลียมแคทไอออน (flavylium cation) ละลายน้ำได้ดีมากจะสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีออกซิเจนอยู่ด้วย อัตราการสลายตัวของแอนโธไซยานินจะเร็วขึ้น และอาจเกิดการแตกสลายเป็นอนุพันธ์ coumarin รวมถึงอาจเกิดการสลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่น (polymerization) และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ (Patras *et al*., 2010) และสอดคล้องกับงานวิจัย Khumkhom (2019) ที่พบว่าการใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ซาลาเปาส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารแอนโทไซยานิน และมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH

การตรวจวัดฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ที่รายงานค่าเป็นมิลลิกรัมน้ำหนักสมมูลโทร็อกซ์/100 กรัม โดยวิธี DPPH เป็นการทดสอบความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลอิสระของ DPPH ซึ่งเป็นวิธีที่วิเคราะห์ง่าย สะดวก มีความเสถียร และสามารถใช้กับตัวอย่างหลายชนิด (Parnsakhorn & Langkapin, 2021) วิธีนี้เป็นการทดสอบความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลอิสระของ DPPH จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จะเห็นได้ว่าค่านี้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เติมลงไปเนื่องจาก ในข้าวไรซ์เบอร์รี่ประกอบด้วยสาร protocatechuic acid และ ferulic acid ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกและcyanidin-3-glucoside ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในกลุ่มของสารแอนโทไซยานินซึ่งสารเหล่านี้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Wang *et al*., 1997; Ou & Kwok, 2004; Ratthanatham *et al*., 2013) สูงจึงทำให้ปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้นี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการให้ความร้อนจำนวน 2 ครั้ง คือ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นผลของการให้ความร้อนทั้ง 2 ครั้งมีผลทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงได้ ดัง Table 3 (Manok & Lincharoen, 2015; Pukdee & Sripisut, 2016; Khamklin *et al*., 2017; Khumkhom, 2019) Parnsakhorn & Langkapin (2023) กล่าวไว้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH เท่ากับ 68.67 มิลลิกรัมน้ำหนักสมมูลโทร็อกซ์/100 กรัม แต่เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ลดลงเหลือ 62.48 มิลลิกรัมน้ำหนักสมมูลโทร็อกซ์/100 กรัม

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบดัง Table 4 โดยเริ่มตรวจหาปริมาณแบคทีเรียทั้ง 4 การทดลอง พบว่า ผลการตรวจวัดปริมาณแบคทีเรียเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนโรตีกรอบ (มผช.503/2547) ซึ่งกำหนดไว้ว่า ผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบจะต้องตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 โคโลนี/ตัวอย่าง

1 กรัม (Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry, 2004) จากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบทั้ง 4 การทดลอง ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตรวจจุลินทรีย์ทั้งหมดแสดงว่า ผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบผ่านการให้ความร้อนรวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ กระบวนการเทคนิคขั้นตอนในการผลิตมีความสะอาด และมีความปลอดภัย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสุขลักษณะที่ดีในการผลิต และกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสม (Sapantupong, 2019; Noisumran, *et al*., 2021; Parnsakhorn & Langkapin, 2021; Phuangklang & Mahidsanan, 2021; Parnsakhorn & Langkapin, 2023)

การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัสมีบทบาทสำคัญในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์การบริโภคอาหารความรู้สึกที่ซับซ้อนที่เกิดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้จะส่งผลให้เกิดการยอมรับของผู้บริโภคหรือไม่ (Parnsakhorn & Langkapin, 2021) จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบทั้ง 4 การทดลองผลการวิจัยดัง Table 5 โดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 9-point hedonic scale โดยผู้ทดสอบชิมไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ด้านความชอบลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมพบว่า ทุกค่าที่วิเคราะห์มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบที่มีการเสริมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 40 พบว่า มีค่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมมากที่สุดเท่ากับ 7.57, 7.97, 7.67 และ 7.87 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์มีการเสริมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณที่มากขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบมีสีม่วงน้ำตาลมากขึ้น ทำให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งแป้งที่ได้มาจากโม่แห้งส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของแผ่นโรตีกรอบมีลักษณะหยาบและแห้งซึ่งการเสริมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 40 มีผลทำให้สี กลิ่น และรสชาติเข้มข้นมากเกินไป และยังทำให้เนื้อสัมผัสที่ได้มีความกรอบลดลงจึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Noppakonmomgcon *et al*., 2014; Raungrusmee *et al*., 2018) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Muad Eiad (2015) กล่าวว่าสูตรโรตีกรอบที่มีปริมาณรำข้าวน้อยจะมีคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านต่างๆ มากกว่าสูตรโรตีที่เสริมรำข้าวมากทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณรำข้าวส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์โรตีคล้ำขึ้น และแข็งมากขึ้นแสดงให้เห็นว่าทั้ง 4 การทดลองมีผลต่อความชอบด้านรสชาติของผู้ทดสอบ งานวิจัยของ Raungrusmee *et al*. (2018) ศึกษาการทดแทนรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 20 ในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชผสมรำข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่า คุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างจากขนมปังแซนด์วิชสูตรควบคุม และได้รับคะแนนความชอบใกล้เคียงกับสูตรควบคุม งานวิจัยของ Kangsanant *et al*. (2022) ศึกษาปริมาณน้ำมัลเบอร์รีในโรตีกรอบได้ถึงร้อยละ 80 เป็นปริมาณที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมัลเบอร์รีถึงระดับร้อยละ 100 มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านสีลดลง แต่ไม่มีผลกับคะแนนความชอบด้านอื่นๆ และงานวิจัยของ Sapantupong (2019) ศึกษาปริมาณรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมปังรำข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่า ปริมาณรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 30 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับทุกด้านสูงสุด

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสพบว่า ปริมาณแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ต่างกันมีผลต่อการวัดค่าทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสพบว่า ผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบที่ประกอบด้วยแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 40 มีความเหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม การเติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มากกว่าร้อยละ 40 ผู้ทดสอบชิมมีแนวโน้มให้คะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่ลดลงทุกด้านเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ (สูตรควบคุม) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใส่แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มากขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นเฉพาะตัวแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มากเกินไปซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ส่วนผลการวิจัยด้านจุลชีววิทยาพบว่า ผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบทุกการทดลองพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนโรตีกรอบ (มผช.503/2547) และมีข้อเสนอแนะจากงานวิจัยนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมด้านสมุนไพรชนิดอื่นเพิ่มเติมเพื่อเสริมสารประกอบชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ชาเขียว งาขาว ปรับปรุงด้านวิธีการกำจัดกลิ่นรสแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ การพัฒนาผลิตภัณฑ์สารให้กลิ่นรส เช่น ผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบเสริมงาดำ การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งโรตีกรอบโดยใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารชั้นปีที่ 4 เจ้าหน้าที่สาขาฯ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ช่วยเหลือด้านการเตรียมตัวอย่าง การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ในการปฏิบัติการตลอดจนการสนับสนุนทุนวิจัยด้วยเงินงบประมาณคณะฯ จนแล้วเสร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

AOAC. (2000). *AOAC Official methods of analysis (Association of Official Analytical Chemists, 17th ed)*. International Inc. Arlington Virginia, USA.

Boriphatmongkon, K., Jirawatkul, W., & Taweechoktiphat, N. (2011). Production and sales of cookie from the riceberry rice. (Master of Business Administration). Thammasat University. (in Thai)

Bourne, M.C. (2002). *Food texture and viscosity*. 2 nd Edition. Concept and measurement. New York : Academic Press.

Cao, Y., Zhang, F., Guo, P., Dong, S., & Li, H. (2019). Effect of wheat flour substitution with potato pulp on dough rheology, the quality of steamed bread and in vitro starch digestibility. *LWT Food Sci.Technol*, *111*, 527- 533.

Chinachoti, P., & Anakkul, N. (2023). Factors affecting consumer purchasing decision of frozen roti from community enterprise of muslim food legend Ban Talad Kaew. *Sukhothai Thammathirat Open University Journal*, *36*(1), 72-93. (in Thai)

CIE. (1986). *CIE Colorimetry*. 2 nd Edition. Commission Internationale de l'Eclairage, Vienna.

Culetu, A., Duta, D.E., & Andlauer, W. (2018). Influence of black tea fractions addition on dough characteristics, textural properties and shelf life of wheat bread. *European Food Research and Technology*, *244,* 1133–1145.

Gökmen, V., & Senyuva, H.Z. (2006). Study of colour and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. *Food Chemistry*, *99*, 238–243.

Hidalgo, A., & Brandolini, A. (2011). Evaluation of heat damage, sugars, amylases and colour in breads from einkorn, durum and bread wheat flours. *Journal of Cereal Science, 54,* 90–97.

Kangsanant, S., Promnuy, S., Rakhom, S., & Taowan, A. (2022). Utilization of mulberry to reduce oil absorption in crispy roti. *PBRU Science Journal*, *19*(2), 29-40. (in Thai)

Khamklin, N., Yossombat, N., Phumchuen, S., Sungsub, S., & Chattong, U. (2017). Effect of riceberry flour on physico-chemical and sensory properties of brownie. In *Conference Proceedings ITC 2017*. (pp. A-757- A-764). Bangkok. (in Thai)

Khumkhom, S. (2019). Effect of riceberry flour on physicochemical properties and antioxidant activities of steamed bun. *Thai Science and Technology Journal*, *28*(11), 2025-2038. (in Thai)

Kosum, S., Thedkwanchai, S., & Tubchan, C. (2013). Development of dietary fiber supplement food from used coconut residue. Research Report. Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)

Litwinek, D., Gambus, H., Mickowska, B., Ziec, G., & Berski, W. (2020). Amino acids composition of proteins in wheat and oat flours used in breads production. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *9*(4), 1725-1733.

Manok, S., & Lincharoen, P. (2015). Investigating antioxidant activity by DPPH, ABTS and FRAP assay and total phenolic compounds of herbal extracts in Ya-Hom Thepphachit. *Advanced Science*, *15*(1), 106–117. (in Thai)

Marston, K., Khouryieh, H., & 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.

Muad Eiad, K. (2015). Development of crispy roti products fortified with dietary fiber from rice bran. Research Report. Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University. (in Thai)

Namhong, T. (2012). Shelf life extension of spring roll papers. Research Report. Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. (in Thai)

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.

Noisumran, A., Klamklomjit, S., Wooti, C., & Leelahapongstron, A. (2021). Product of riceberry rice flour Pan Sib with pineapple filling. *Dusit Thani College Journal*, *15*(1), 223-235. (in Thai)

Noppakonmomgcon, K., Saenkla, P., & Chaleawai, P. (2014). Using riceberry flour replace wheat flour in sweet bread. Bachelor of Home Economics. Faculty of Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)

Ou, S., & Kwok, K.C. (2004). Ferulic acid: Pharmaceutical functions, preparation and applications in foods. *J. Sci. Food Agric*, *84,* 1261-1269.

Parnsakhorn, S., & Langkapin, J. (2021). Effects of processing and heating on antioxidant activity and quality of riceberry malted beverage. *Thai Science and Technology Journal (TSTJ), 29*(1), 119-133. (in Thai)

Parnsakhorn, S., & Langkapin, J. (2023). Effect of riceberry rice on antioxidant activities of rice wrapped lotus leaf frozen product and changes in physical properties after thawing. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*, *22*(1), 1-12. (in Thai)

Patras, A., Brunton, N.P., Donnell, C.O., & Tiwari, B.K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science and Technology*, *21*, 3-11.

Pellati, F., Benvenuti, S., Magro, L., Melegari, M., & Soragni, F. (2004). Analysis of phenolic compounds and radical scavenging activity of *Echinacea* spp. *J. Pharmaceut Biomed*, *35*(2), 289-301.

Phuangklang, C., & Mahidsanan, T. (2021). Effect of environmentally degradable packaging on physical and microbiological quality of flatbread roti. *Burapa Science Journal*, *26*(2), 1080-1095. (in Thai)

Pukdee, W., & Sripisut, T. (2016). Development of riceberry extract for antioxidant activity. Research Report. School of Cosmetic Science, Mae Fah Luang University. (in Thai)

Ranganna, S. (1977). *Manual of analysis of fruit and vegetable product*. Tata McGraw-Hill Publishing Co., Ltd., New Delhi.

Ratthanatham, P., Laohakunjit, N., & Kerdchoechuen, O. (2013). Phenolic compound, anthocyanin and antioxidant activity of germinated colored rice. *Agricultural Science*, *44*(2)(Suppl), 441-444. (in Thai)

Raungrusmee, S., Jadwong, K., & Wongtong, O. (2018). Development sandwich bread formulation substituted wheat flour with riceberry rice bran. *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*, *13*(1), 123-138. (in Thai)

Rufián-Henares, J.A., Delgado-Andrade, C., & Morales, F.J. (2009). Assessing the Maillard reaction development during the toasting process of common flours employed by the cereal products industry. *Food Chemistry*, *114*(1), 93-99.

Saiyaphun, T., Tunti-Emon, N., & Chysirichote, T. (2019). The substitution of wheat flour with red jasmine rice flour in savory crispy snack (Krob Khem). *Journal of Thai Food Culture*, *1*(2), 50-61. (in Thai)

Sapantupong, S. (2019). Development of bread with riceberry rice bran. *RMUTP Research Journal*, *13*(2), 186-195. (in Thai)

Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J., & Beta, T. (2014). Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). *J. Cereal Sci*, *59*(2), 211-218.

Sinchaipanit, P., Budpong, K., Disnil, S., & Twichatwitayakul, R. (2017). Influences of riceberry flour as a wheat flour substitute in brownie: textural and quality attributes. *SDU Res. J*, *10*(2), 69-69. (in Thai)

Suwan, N. (2005). Effect of coating materials on controlling of browning and weight loss in lychee fruit. Master Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)

Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry. (2004). *Thai community product standard crispy roti (CPS.503/2004)*. (1st ed). Bangkok: Thai Industrial Standards Institute. (in Thai)

Thanomvaraporn, S. (2019). The study of using preservatives and synthetic colors in Thai pancake burritos in Pha Nakorn Si Ayutthaya. *Thai Food and Drug Journal*, *26*(2), 76-92. (in Thai)

Thi-on, S., & Supavititpatana, P. (2011). Development of sandwich bread using partial replacement wheat flour with rice bran. *Naresuan Agriculture Journal*, *13*(1), 1-9. (in Thai)

Vanavichit, A. (2015). *Riceberry*. Department of Agronomy Faculty of Agriculture Kamphaeng Saen Nakhon Pathom. (in Thai)

Wang, H., Cao, G., & Ronald, L. (1997). Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *J. Agric. Food Chem*, *45*, 304-309.

Wamark, S., Chuayrueang, W., & Chaicharoen, T. (2018). Effect of partial substitution of wheat flour with riceberry flour on quality of Mantou. In *National Conference Proceedings* Pibulsongkram research. (pp.61-64). (in Thai)

Wiriyajaree, P. (2018). *Sensory evaluation*. Chiang Mai: Faculty of Agro Industry, Chiang Mai University. (in Thai)

Wongtom, R. (2019). Effects of pretreatment and drying methods on the quality of sorghum flour and its application in pancake production. *Journal of Food Technology Siam University*, *14*(1), 37-47. (in Thai)

Yawadio, R., Tanimori, S., & Morita, N. (2007). Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. *Food Chemistry*, *101*(4),1616-1625.

Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y., & Xiao, H. (2020). Biodegradable polymers and green - based antimicrobial packaging materials: A mini-review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, *3,* 27–35.

Zhu, F., & Sun, J. (2019). Physicochemical and sensory properties of steamed bread fortified with purple sweet potato flour. *Food Bio Sci*, *30*, 100411.