Research Article

Received: September 6, 2019; Accepted: January 9, 2020

ผลของแป้งเมล็ดมะขามต่อสมบัติทางกายภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวไรซ์เบอรี่โดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

Effect of Tamarind Kernel Powder on Physical and Antioxidant Properties of Extruded Riceberry Snack

นิพัฒน์ ลิ้มสงวน* และจุฬาลักษณ์ จารุนุช

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

มาศอุบล ทองงาม และวีรเชษฐ์ จิตตาณิชย์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Nipat Limsangouan* and Chulaluck Charunuch

Department of Food Processing and Preservation, Institute of Food Research and Product Development,

Kasetsart University, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

Masubon Thongngam and Weerachet Jittanit

Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry,

Kasetsart University, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของแป้งเมล็ดมะขามที่ใช้ทดแทนข้าวไรซ์เบอรี่ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยใช้ปริมาณของแป้งเมล็ดมะขามทดแทนที่ 0-50 % วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสี (L*, a* และ b*) อัตราการพองตัว ความหนาแน่นรวม เนื้อสัมผัส (ความแข็งและความกรอบ) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด การทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนข้าวไรซ์เบอรี่ด้วยแป้งเมล็ดมะขามมากขึ้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี ความหนาแน่นรวม และความแข็งของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$) ขณะที่อัตราการพองตัว ความกรอบ และสมบัติเชิงสุขภาพของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นนี้เนื่องมาจากองค์ประกอบที่สำคัญในแป้งเมล็ดมะขาม เช่น โปรตีนและไขมันที่มีปริมาณสูง ขณะที่

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** ifrnpl@ku.ac.th

การเปลี่ยนแปลงเชิงสุขภาพเกิดขึ้นจากความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวไรซ์เบอรี่นั้นเป็นปัจจัยสำคัญ ดังนั้นการลดปริมาณของข้าวไรซ์เบอรี่จึงส่งผลกระทบต่อสมบัติดังกล่าวนั่นเอง ทั้งนี้สามารถใช้แป้งเมล็ดมะขามทดแทนได้ถึง 20 % ทำให้มีความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : แป้งเมล็ดมะขาม; ข้าวไรซ์เบอรี่; ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ; ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว; กระบวนการเอกซ์ทรูชัน

Abstract

The aim of this research was to evaluate the effect of tamarind kernel powder (TKP) substitute for Riceberry content in extruded snack. Physical and antioxidant properties as color (L*, a* and b*), expansion ratio, bulk density, texture (hardness and crispness), antioxidant capacity and total phenolic content of extruded Riceberry snack were investigated. The fortification of TKP ranged from 0 to 50 %. The results found that the colors (lightness, redness and yellowness), bulk density and hardness of extruded snack were significantly increased ($p < 0.05$) by rising of TKP. In contrast, the expansion ratio, crispness, antioxidant capacity and total phenolic content were decreased. The physical properties of extruded snack were depended on the basic elements as protein and fat content of TKP. In case of antioxidant properties, they were depended on the antioxidant capacity and total phenolic content of Riceberry. Then, while the Riceberry content was decreased, its functional properties were also down. The suitable TKP content in extruded Riceberry snack was up to 20 %. It is shown that TKP could be applied as a raw material in food industry especially for extrusion processing.

Keywords: tamarind kernel powder (TKP); Riceberry; physical property; antioxidant capacity; snack; extrusion

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยมีการพัฒนารูปแบบและรสชาติใหม่ ๆ ออกสู่ตลาดอยู่ตลอดเวลา เพื่อขยายฐานการตลาดให้กว้างขวางขึ้น ตลาดของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2558 มีมูลค่าทางการตลาดสูงถึง 35,000 ล้านบาท [1] ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการลงทุนและการแข่งขันค่อนข้างสูง ซึ่งนับว่าเป็นข้อดีที่ทำให้สินค้ามีความหลากหลาย เพื่อเสนอเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค โดยส่วนใหญ่ขนมขบเคี้ยวที่ปรากฏตามท้องตลาดจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ได้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบหรือขนมขึ้นรูป (extruded snack) เช่น ผลิตภัณฑ์ตรา ปาปริก้า คอนเน่ โปเต้ สแนคแจ็ค คอร์นพัฟ ทวิสตี้ ฯลฯ แต่ส่วนมากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมักจะถูกเรียกกันว่าเป็นอาหารขยะ หรือ junk food เนื่องจากวัตถุดิบส่วน

ใหญ่ที่ใช้ในการผลิตมักประกอบด้วยแป้ง น้ำตาล น้ำมัน ผงชูรส และเกลือ ทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ ขาดสารสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ และทำให้เกิดโรคอ้วนในเด็กที่รับประทานเป็นประจำ แต่ปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้น ทำให้เริ่มมองหาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการและดีต่อสุขภาพ เน้นการปรุงแต่งโดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการในอนาคต ที่การผลิตขนมขบเคี้ยวต้องคำนึงถึงสุขภาพและการควบคุมน้ำหนัก นอกเหนือไปจากรสชาติ เนื้อสัมผัส และรูปลักษณ์ที่สนองความต้องการของผู้บริโภค รวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการตามมาตรฐานกำหนด [2] ทั้งนี้ในการผลิตขนมขบเคี้ยว จำเป็นต้องมีการใช้วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแป้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองกรอบ มีคุณลักษณะเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และผนวกกับคุณค่าเชิงสุขภาพเพิ่มเติมให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์แข่งขันในตลาดได้ แนวทางหนึ่งคือ การใช้วัตถุดิบที่เป็นทั้งแหล่งของแป้งและแหล่งของสารเสริมสร้างสุขภาพ เช่น ข้าวไรซ์เบอรี่ (Riceberry)

ข้าวไรซ์เบอรี่เป็นข้าวพันธุ์ใหม่ที่เกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีลักษณะเป็นข้าวเจ้า สีม่วงเข้ม รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ข้าวไรซ์เบอรี่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว โดยความร่วมมือจากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยให้ความสนใจศึกษาสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอรี่ โดยในปี ค.ศ. 2011 Leardkamolkarn และคณะ [3] ได้ศึกษาสมบัติดังกล่าวของข้าวไรซ์เบอรี่ พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูง เนื่องจากมีองค์ประกอบจำพวก polyphenol (ferulic acid, cyaniding-3-glucoside และ peonidin-3-glucoside) และ phytosterols (γ-oryzanol, β-sitosterol และ triterpene alcohol) ปริมาณสูง นอกจากนี้ได้มีการศึกษาฤทธิ์ของรำข้าวไรซ์เบอรี่ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จุลพยาธิวิทยา (histopathological) ภาวะเครียดของเซลล์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative stress) และปฏิกิริยาของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant enzyme activity) ในหนูทดลอง พบว่าสารสกัดจากรำข้าวไรซ์เบอรี่ส่งผลดีต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น Posuwan และคณะ [4] และ Prangthip และคณะ [5] ได้วิเคราะห์ความสามารถของอาหารเสริมจากข้าวไรซ์เบอรี่ในการรักษาอาการภาวะน้ำตาลสูง (hyperglycemia) ภาวะไขมันในเลือดสูง (hyperlipidemia) ความเครียดของเซลล์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และภาวะอักเสบ (inflammation) ในหนูที่ถูกกระตุ้นให้เป็นโรคเบาหวาน การศึกษาพบว่าอาหารเสริมดังกล่าวมีฤทธิ์ในการเยียวยารักษาโรคต่าง ๆ ได้จริง มีการนำข้าวไรซ์เบอรี่มาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในเชิงพาณิชย์ เช่น ผลิตภัณฑ์ Riceberry snack ซึ่งผลิตโดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยในส่วนผสมมีการเติมข้าวโพดบดหยาบ และแป้งถั่วเหลือง เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากข้าวไรซ์เบอรี่มีปริมาณโปรตีนต่ำและมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีความต้องการในการค้นหาวัตถุดิบที่มีราคาถูกและมีคุณค่าทางโภชนาการด้วย หนึ่งในวัตถุดิบที่น่าสนใจได้แก่ แป้งเมล็ดมะขาม (tamarind kernel powder: TKP) ซึ่งมีราคาถูกและบริโภคได้

แป้งเมล็ดมะขามเป็นวัตถุดิบที่ได้จากส่วนเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อมะขาม จัดว่าเป็นแหล่งสำคัญของโปรตีน ไขมัน กรดอะมิโนที่จำเป็น และคาร์โบไฮเดรต พบว่ามีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน 17.63 % ไขมัน 6.10 % เถ้า 3.46 % และคาร์โบไฮเดรต 72.81 % [6] จึงมีความเป็นไปได้ในการ

นำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้ ซึ่งปกติแป้งเมล็ดมะขามถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทั้งที่ไม่ได้เกี่ยวกับอาหาร โดยนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับเส้นใยผ้า การย้อมผ้า การย้อมสีหนังสัตว์ กาวในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ การตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำ เป็นต้น [7] และใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา ได้แก่ การใช้เป็นอาหารสัตว์ การใช้เป็นสารกักเก็บตัวยาสำคัญ สารให้ความข้นหนืด สารก่อให้เกิดเจล สารอิมัลซิไฟเออร์ สารทำให้คงตัว และสารต้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นต้น [8] ในประเทศไทย มีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกัมจากเมล็ดมะขามหลากหลายวิธี เช่น การต้มด้วยน้ำร้อน [9] การใช้ไมโครเวฟ [10] และการใช้ subcritical water [6] ซึ่งกัมที่ได้ส่วนใหญ่นำมาใช้เป็นสารให้ความหนืดหรือสารก่อให้เกิดเจล ทดแทนการใช้เพคติน เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จึงพบว่าแป้งเมล็ดมะขามถูกนำมาสกัดเพื่อให้ได้สารสกัดก่อนนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แต่ยังไม่พบการนำเอาแป้งเมล็ดมะขามมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารมากนัก

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของแป้งเมล็ดมะขามที่ปริมาณทดแทนที่แตกต่างกัน ต่อสมบัติทางกายภาพ และเชิงสุขภาพในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวไรซ์เบอรี่ที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการศึกษาครั้งนี้ โดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ผลการทดลองนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำแป้งเมล็ดมะขามมาประยุกต์ใช้โดยตรงในอุตสาหกรรมอาหารที่ใช้กระบวนการเอกซ์ทรูชันและกระบวนการแปรรูปอาหารอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดมะขามที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอีกด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีวิจัย

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

แป้งเมล็ดมะขามจากบริษัท Freshy Thai จำกัด ข้าวไรซ์เบอรี่จากศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว จังหวัดนครปฐม ข้าวโพดบดหยาบ (corn grit) จากบริษัท ไทยเมซ โปรดักส์ จำกัด แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม (full fat soy flour) จากบริษัท ดอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด แป้งถั่วเหลืองพร่องไขมัน (defatted soy flour) จากบริษัท ADM ไทย จำกัด น้ำตาลทราย (sugar) จากบริษัท มิตรผล จำกัด น้ำมันรำข้าว (rice bran oil) จากบริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด และแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) จากบริษัท เอฟ.เอ. ฟู้ดส์ จำกัด

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำข้าวไรซ์เบอรี่มาบดให้ละเอียดด้วย Fitz mill (Comminutor serial #1871, USA) และ Pin mill (Alpine Augsbug, Germany) เก็บใส่ถุงพลาสติกก่อนนำมาผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด ดังตารางที่ 1 โดยสูตรควบคุม (control) หรือสูตรต้นแบบ ซึ่งเป็นสูตรที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีลักษณะที่ดีเหมาะสมในการนำมาศึกษาต่อไป

2.3 กระบวนการเอกซ์ทรูชัน

นำวัตถุดิบที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้วเป็นเนื้อเดียวกัน ป้อนเข้าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูคู่ที่หมุนตามกัน (twin screw extruder, Hermann Berstoff Laboratory Co- rotating Twin Screw Extruder รุ่น ZE 25x33D, Germany) ซึ่งประกอบด้วยบาเรล 7 หัว ความยาวของบาเรลต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 870 : 25 ผนังบาเรลให้ความร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าซึ่งควบคุมได้ ในผนังบาเรลบางส่วนเป็นแจ็กเก็ตสองชั้นที่มีท่อน้ำสำหรับปั๊มน้ำเย็นเข้าไปหมุนเวียนด้วยอัตราการไหลที่ควบคุมได้ เพื่อป้องกันความร้อนที่สูงเกินไป ส่วนท้ายสุดของบาเรลประกอบด้วยหน้าแปลน ซึ่งมีลักษณะเป็นรูกลม เส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 3.0 มม. ส่วนผสมวัตถุดิบถูกป้อนเข้าสู่เครื่องด้วยถังป้อนที่มีสกรูคู่อยู่ที่ก้นถังทำหน้าที่ป้อนวัตถุดิบแบบปริมาตร ซึ่งในสภาวะการผลิตของการทดลองนี้จะปรับอัตราการป้อนให้คงที่ และปรับปริมาณน้ำเข้าไปผสมกับวัตถุดิบที่ 30-40 % stoke รวมถึงปรับความเร็วรอบของสกรู (screw speed) ที่ 400 รอบต่อนาที โดยจัดอุณหภูมิที่บาเรลให้คงที่ จัดอุณหภูมิแต่ละบาเรลดังนี้ H2: 35 °C; H3: 55 °C; H4: 130 °C; H5: 140 °C; H6: 150 °C; H7: 140 °C; Die: 130 °C หลังจากผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เก็บตัวอย่างเอกซ์ทรูเดตที่ได้ในซองอะลูมินั่ม เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่อไป

2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

2.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม

(1) ความชื้น (moisture) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแป้งเมล็ดมะขาม 2 g ใส่ใน moisture can ที่ทราบน้ำหนักคงที่แล้ว นำไปเข้า oven ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกมาใส่ใน desiccator 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา % moisture

(2) การวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร (proximate analysis) ในตัวอย่างแป้งเมล็ดมะขามตามวิธีของ AOAC [11]

2.4.2 สี (color)

นำตัวอย่างขนมขบเคี้ยวที่ได้จากกระบวนการเอกซ์ทรูชันและผ่านการบดด้วยเครื่องบดร่อนผ่านตะแกรงร่อน (ขนาด 50 mesh) นำผงของตัวอย่างที่ได้บรรจุใส่ในถุงพลาสติกใส และวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Spectraflash 600 plus, Data color International, USA) บันทึกค่าสี L*, a* และ b* ในระบบ CIE Lab โดยค่า L* คือ ค่าความสว่าง (0 = สีดำ , 100 = สีขาว) ค่า a* คือ ค่าสีแดง-เขียว (+ = สีแดง, - = สีเขียว) และค่า b* คือ ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (+ = สีเหลือง, - = สีน้ำเงิน)

Table 1 The formulation of extruded riceberry snack fortified with the tamarind kernel powder

Ingredients	Formula						
	Control	5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
Riceberry	55.00	50.00	45.00	35.00	25.00	15.00	5.00
Corn grit	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Soy flour	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Defatted soy flour	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Sugar	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Rice bran oil	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Calcium carbonate	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Tamarind kernel powder	0.00	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00
Total (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

2.4.3 อัตราการพองตัว (expansion ratio)

นำเครื่องวัดขนาด (vernier caliper) มาวัดขนาดของตัวอย่างขนมขบเคี้ยวที่ได้จากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน (วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภาคตัดขวาง) นำค่าที่วัดได้หารด้วยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าแปลน จะได้ค่า expansion ratio

อัตราการพองตัว = (ขนาดของตัวอย่าง) ÷ (ขนาดของหน้าแปลน)

2.4.4 ความหนาแน่นรวม (bulk density)

ใส่ตัวอย่างที่ได้จากกระบวนการเอกซ์ทรูชันลงในกระบอกตวง 100 mL จนถึงระดับ ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างเทียบกับปริมาตรของกระบอกตวง จะได้ค่า bulk density

ความหนาแน่นรวม = (น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในภาชนะ) ÷ (ปริมาตรของภาชนะที่บรรจุ)

2.4.5 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analysis)

วิเคราะห์ค่าความกรอบและความแข็งโดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer: TA.XT plus) หัววัดที่ใช้ คือ หัวใบมีดตัด (HDP/BS, blade set with knife) ซึ่งเป็นการจำลองลักษณะของการกัดด้วยฟันหน้า โดยค่าความกรอบแปลผลจากจำนวน positive peak ที่เกิดขึ้นระหว่างการวัด ส่วนค่าความแข็งคือแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการวัดเนื้อสัมผัส (g force)

2.4.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ชั่งตัวอย่าง 1 g ใส่ในหลอดทดลอง สกัดด้วยเมทานอล 80 % ปริมาตร 10 mL ผสมให้เข้ากัน แช่ในอ่างอัลตราโซนิก เป็นเวลา 15 min นำไปหมุนเหวี่ยง (centrifuge: Hettich, Germany) เก็บสารละลายส่วนใสในหลอดขนาด 50 mL สกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรสารสกัดให้ได้ 50 mL ก่อนนำไปใช้วิเคราะห์สมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical-scavenging method วิเคราะห์ตามวิธีของ Tachibana และคณะ [14] โดยมีการดัดแปลงให้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่ใช้ ซึ่งมีวิธีวิเคราะห์ดังนี้ นำสารสกัดที่ได้ 3 mL ผสมกับสารละลาย DPPH (ความเข้มข้น 200 μM) ปริมาตร 3 มล. เก็บในที่มืด 40 นาที ก่อนนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer: Genesys 10 UV, Thermo scientific, USA) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร (สร้างกราฟมาตรฐานด้วยสารละลาย Trolox ที่ความเข้มข้น 0-100 μM) ค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงในหน่วย Trolox Equivalents (TE)

2.4.7 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์ตามวิธีของ Li และคณะ [16] รายละเอียดการวิเคราะห์ นำสารสกัด 0.2 mL ผสมกับสาร Folin-Ciocalteau reagent (เจือจาง 1 : 10) เมื่อครบ 4 นาที ให้เติมสารละลายอิ่มตัว Na_2CO_3 ปริมาตร 0.8 mL ตั้งทิ้งไว้ 30 min แล้วจึงนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ความเร็วรอบ 5,000 rpm นาน 10 min วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร (สร้างกราฟมาตรฐานด้วย gallic acid) ค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงในหน่วย mg GAE/g

2.5 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design ทดลอง 3 ซ้ำ โดยศึกษาอิทธิพลของปริมาณแป้งเมล็ดมะขาม 7 ระดับ ได้แก่ 0, 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 % ข้อมูลที่ได้คือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS® version 12 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) วิเคราะห์ความแปรปรวนโดย one-way

analysis of variance (ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple-range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในแป้งเมล็ดมะขามพบว่ามีองค์ประกอบ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต 72.81 % ไขมัน 6.10 % โปรตีน 17.63 % และเถ้า 3.46 % [6] ซึ่งการวิเคราะห์นี้ให้ผลการทดลองที่ต่างเล็กน้อยกับรายงานของ Kaur และคณะ [12] ที่มีปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่สูงกว่า (10.18 และ 75.26 %) แต่มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่า (16.63 %) โดยความแตกต่างนี้เกิดขึ้นจากความแตกต่างของเมล็ดมะขามต่างสายพันธุ์ ความแก่ และกระบวนการผลิตตัวแป้งเมล็ดมะขามนั่นเอง เมื่อผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวไรซ์เบอรี่โดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวดังรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณของแป้งเมล็ดมะขามที่ต่างกันส่งผลต่อสี ขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน โดยรายละเอียดของความแตกต่างที่เกิดขึ้นแสดงดังนี้

3.1 ผลของปริมาณแป้งเมล็ดมะขามต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์

การศึกษาผลของปริมาณแป้งเมล็ดมะขาม (สีครีม-น้ำตาล มีค่า L* = 85.87±0.47, a* = 1.97±0.11 และ b* = 14.62±0.17) ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี (ระบบ CIE Lab) L*, a* และ b* ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวไรซ์เบอรี่ที่ใช้ทดสอบได้ผลดังนี้ ค่า L* ซึ่งบ่งบอกถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์ หากมีค่าต่ำกว่าแสดงถึงการที่ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น ซึ่งจากการทดลองสามารถแสดงผลดังตารางที่ 2 ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อปริมาณของแป้งเมล็ดมะขามเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่า L* สูงสุดในผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมแป้งเมล็ดมะขามที่ 50 % เนื่องจากแป้งเมล็ดมะขามที่เติมไปมีความสว่างมากกว่าแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ จึงทำให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Nayak และคณะ [13] ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูเดทที่ได้จากการผสมของแป้งมันเทศสีม่วงและถั่ว yellow pea ที่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของแป้งถั่ว yellow pea จะทำให้ค่าความสว่างเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแป้งมันเทศสีม่วงและข้าวไรซ์เบอรี่มีรงควัตถุชนิดเดียวกัน คือ แอนโทไซยานิน ดังนั้นจึงสามารถเทียบเคียงผลการศึกษากันนั่นเอง รวมถึงผลการทดลองของ นันท์ชนก และคณะ [14] ซึ่งรายงานว่า การเพิ่มแป้งข้าวไรซ์เบอรี่พรีเจลาติไนซ์มีผล

Figure 1 Extruded Riceberry snack fortified with the tamarind kernel powder

Table 2 Color values and texture of extruded Riceberry snack fortified with the tamarind kernel powder

Treatments	Color Values			Hardness (g force)	Crispness
	L*	a*	b*		
Control	69.73±0.10^{f}	3.26±0.09^{e}	10.13±0.18^{g}	876.59±74.41^{e}	26.70±2.83^{a}
5 % TKP	71.35±0.38^{e}	3.44±0.02^{d}	11.97±0.10^{f}	1,336.91±126.31^{d}	15.30±1.83^{b}
10 % TKP	72.30±0.15^{d}	3.90±0.03^{c}	13.05±0.07^{e}	1,700.08±194.78^{c}	13.00±1.76^{c}
20 % TKP	75.60±0.16^{c}	3.91±0.05^{c}	14.67±0.05^{d}	1,976.65±186.51^{b}	10.90±0.99^{d}
30 % TKP	75.98±0.59^{c}	3.94±0.11^{bc}	16.94±0.20^{c}	1,949.69±242.60^{b}	9.60±1.26^{e}
40 % TKP	77.68±0.31^{b}	4.05±0.12^{b}	19.29±0.06^{b}	2,013.57±155.44^{ab}	5.10±0.74^{f}
50 % TKP	78.49±0.31^{a}	4.76±0.02^{a}	22.06±0.16^{a}	2,158.38±180.63^{a}	2.80±0.79^{g}

$^{a-g}$Mean values with different letter in a column are significantly different ($p < 0.05$).

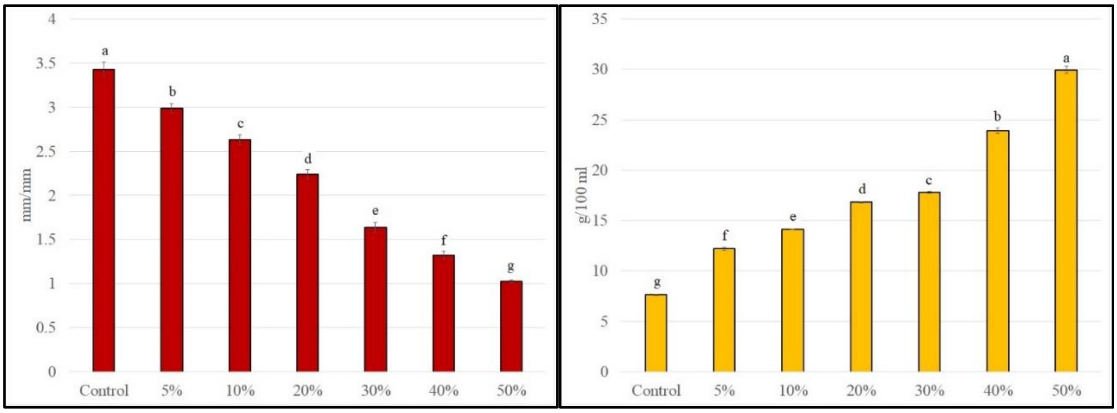
ทำให้ค่า L* ของผลิตภัณฑ์ขนมปั้นขลิบลดลง เนื่องด้วยแอนโทไซยานินจัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่เป็นสารให้สีม่วง เมื่อเติมมากขึ้นในผลิตภัณฑ์ย่อมส่งผลต่อการลดค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์นั่นเอง และงานวิจัยของ นิพาดา และคณะ [15] ซึ่งใช้แป้งข้าวไรซ์เบอรี่ในผลิต ภัณฑ์บราวนี่ ก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกันด้วย

ค่า a* ซึ่งแสดงความเป็นสีแดง และ b* ที่แสดงความเป็นสีเหลืองในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมแป้งเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าสีทั้งสองค่าเช่นเดียวกัน เนื่องจากแป้งเมล็ดมะขามที่มีสีครีมน้ำตาล เมื่อผสมลงไปในอัตราส่วนที่มากขึ้น ย่อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีครีมน้ำตาลมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Nayak และคณะ [13] เช่นกัน ดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่การทดลองผสมแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ในขนมบราวนี่ [15] กลับพบว่าค่า a* เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเติมแป้งข้าวไรซ์เบอรี่มากขึ้น ความแตกต่างดังกล่าวอาจเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการอบขนมที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาล (browning reaction) ร่วมกับวัตถุดิบจำพวกโกโก้ที่มีการเติมในสูตรการผลิตมากกว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ได้มีสีออกไปทางสีแดงมากขึ้น

3.2 ผลของปริมาณแป้งเมล็ดมะขามต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการพองตัวและความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์

อัตราการพองตัวและความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีการทดแทนด้วยแป้งเมล็ดมะขามที่ต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2 โดยอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์มีค่า 1.03-3.43 mm/mm และค่าความหนาแน่นรวม 7.64-29.95 g/100 mL ซึ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าเมื่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวไรซ์เบอรี่มีการทดแทนแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ด้วยแป้งเมล็ดมะขามมากขึ้น จะส่งผลให้อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมแป้งเมล็ดมะขาม 50 % จะมีอัตราการพองตัวที่ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมแป้งดังกล่าวน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเมล็ดมะขามมีปริมาณของโปรตีนสูง ซึ่งจะทำให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลงจากการที่ผนังของเซลล์อาหารเกิดการแตก

เปราะจากโมเลกุลของโปรตีน [16] และยับยั้งการพองตัวของเซลล์อาหาร ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการที่ในสูตรการผลิตมีปริมาณใยอาหารสูงเช่นกัน [17] อีกทั้งการที่แป้งเมล็ดมะขามมีปริมาณไขมัน/น้ำมันที่สูงก็ส่งผลต่ออัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเช่นกัน เนื่องจากไขมัน/น้ำมันในวัตถุดิบจะไปลดความข้นหนืดของส่วนผสมระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ทำให้แรงเฉือนภายในระบบลดลง ความดันในระบบจึงลดลงด้วย เป็นเหตุให้การพองตัวลดลงเช่นกัน [18] ส่วนค่าความหนาแน่นรวมนั้นมีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับอัตราการพองตัว กล่าวคือ หากผลิตภัณฑ์มีอัตราการพองตัวสูง ทำให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น จึงทำให้ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงด้วย



(a) (b)

Figure 2 Expansion ratios (a) and bulk density (b) of extruded Riceberry snack fortified with the tamarind kernel powder (The different letters on each graph are significantly different, $p < 0.05$.)

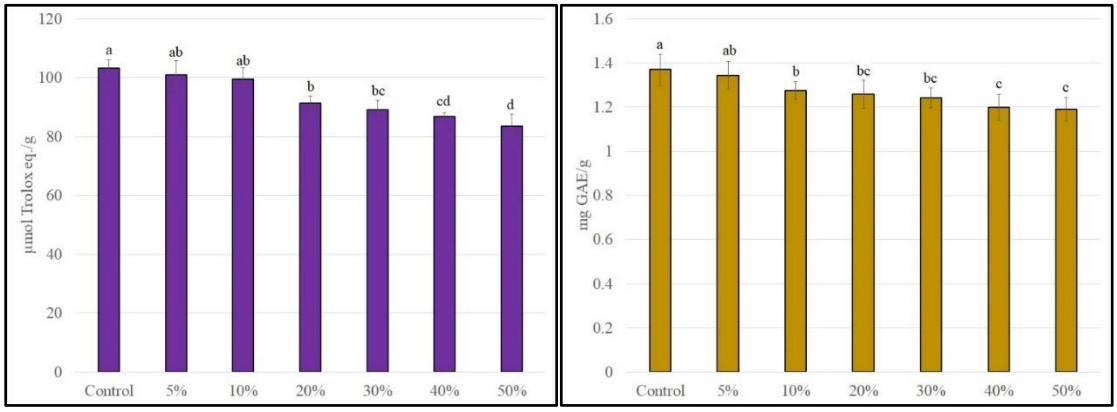
3.3 ผลของปริมาณแป้งเมล็ดมะขามต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งและความกรอบของเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์

ความแข็ง (hardness) และความกรอบ (crispness) ถือเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เช่นเดียวกับอัตราการพองตัวและความหนาแน่นรวม ารวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 2 กล่าวคือ ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมแป้งเมล็ดมะขาม 876.59-2,158.38 g (force) ขณะที่ค่าความกรอบมีค่า 2.8-26.7 ค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการทดแทนแป้งข้าวไรซ์เบอรี่ด้วยแป้งเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้น โดยค่าความแข็งสูงสุดในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีการเติมแป้งเมล็ดมะขาม 50 % ซึ่งความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นนี้มาจากการที่แป้งเมล็ดมะขามมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูง จึงยับยั้งการพองตัว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแน่นเนื้อสูง (ผลการทดลองสัมพันธ์กับอัตราการพองตัวและความหนาแน่นรวม) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากขึ้น [19] ส่วนค่าความกรอบพบว่าเมื่อผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากขึ้น เนื่องจากอัตราการพองตัวต่ำ ทำให้โพรงอากาศที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้อยลง จึงทำให้ความกรอบลดลง [19] เมื่อมีการใช้

แป้งเมล็ดมะขามในสูตรเพิ่มมากขึ้นด้วย ผลการวิเคราะห์นี้ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Charunuch และคณะ [17] กล่าวคือ การที่ในวัตถุดิบมีปริมาณสารที่ยับยั้งการพองตัวสูง เช่น ใยอาหารหรือโปรตีนย่อมส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันนั่นเอง

3.4 ผลของปริมาณแป้งเมล็ดมะขามต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์

ข้าวไรซ์เบอรี่ที่นำมาทดลองนั้นมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 253.40±11.86 μmol Trolox eq./g และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คือ 2.13±0.16 mg GAE/g ขณะที่แป้งเมล็ดมะขามมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 41.24±1.74 μmol Trolox eq./g และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คือ 0.83±0.02 mg GAE/g ทั้งนี้การที่ข้าวไรซ์เบอรี่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งเมล็ดมะขาม เนื่องจากข้าวไรซ์เบอรี่มีสารสำคัญ ได้แก่ แอนโทไซยานิน ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ [14] และเป็นสารประกอบฟีนอลิกด้วย เมื่อใช้วัตถุดิบทั้งสองชนิดนี้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว แล้ววิเคราะห์ความสามารถดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวไรซ์เบอรี่ที่มีการทดแทนด้วยแป้งเมล็ดมะขามที่ต่างกัน มีค่า 83.64-103.27 μmol Trolox eq./g เมื่อมีการเติมแป้งเมล็ดมะขามมากขึ้น ทำให้ความสามารถนี้มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเมล็ดมะขามนี้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าข้าวไรซ์เบอรี่นั่นเอง วัตถุดิบที่สำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวนี้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง คือ ข้าวไรซ์เบอรี่ ซึ่งการทดลองนี้ให้ผลการศึกษาเช่นเดียวกับ Luang-In และคณะ [20] ซึ่งศึกษาฤทธิ์ดังกล่าวในปลายข้าวไรซ์เบอรี่และน้ำมันรำข้าวไรซ์เบอรี่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ศึกษานี้ (รูปที่ 3) มีปริมาณ 1.19-1.37 mg GAE/g โดยผลการทดลองที่ได้มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ [21] กล่าวคือ เมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น จะ



(a) (b)

Figure 3 Antioxidant capacity (a) and total phenolic content (b) of extruded riceberry snack fortified with the tamarind kernel powder (The different letters on each graph are significantly different, $p < 0.05$)

ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระนั่นเอง [20] โดยสรุปแล้วค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดขึ้นอยู่กับปริมาณของข้าวไรซ์เบอรี่ในสูตรเป็นสำคัญ

4. สรุป

การศึกษาผลของปริมาณแป้งเมล็ดมะขามที่ใช้ทดแทนข้าวไรซ์เบอรี่ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเมล็ดมะขามจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของผลิตภัณฑ์ โดยทำให้ค่า L*, a* และ b* เพิ่มมากขึ้น ขณะที่อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์กลับมีค่าลดลง แต่มีความหนาแน่นรวมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วย กล่าวคือ เมื่อผลิตภัณฑ์มีอัตราการพองตัวสูงจะทำให้ค่าความแข็งลดลง มีค่าความกรอบสูงขึ้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและความกรอบลดลงด้วย ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้ ปริมาณของแป้งเมล็ดมะขามที่เหมาะสมในการนำมาทดแทนข้าวไรซ์เบอรี่ได้ไม่เกิน 20 % เนื่องจากหากมีการทดแทนสูงกว่านี้ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้จะมีความแข็งและไม่กรอบ ซึ่งไม่ใช่ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการ การนำแป้งเมล็ดมะขามมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน น่าที่จะเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ในเชิงธุรกิจสำหรับอุตสาหกรรมอาหารต่อไปในอนาคต ทั้งนี้งานวิจัยในอนาคตสามารถนำแป้งเมล็ดมะขามมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ จากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติสำเร็จรูป ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งจำเป็นต้องมีการวิจัยต่อยอดอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ และขอขอบคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการปฏิบัติงาน พร้อมเครื่องจักร และอุปกรณ์ทั้งหมดในการทดลอง

6. References

[1] Excellence Center for Food Industrial, The Marketing of Snack in Thailand, Available Source: http: / / fic. nfi. or. th/ MarketOverviewDomesticDetail. php?id= 116, July 6, 2019. (in Thai)

[2] Charunuch, C., 2007, Snack from extrusion technology, Food 37(3): 211-222. (in Thai)

[3] Leardkamolkarn, V., Thongthep, W., Suttiarporn, P., Kongkachuichai, R., Wongpornchai, S. and Wanavijitr, A., 2011, Chemopreventive properties of the bran extracted from a newly- developed Thai rice: The Riceberry, Food Chem. 125: 978-985.

[4] Posuwan, J., Prangthip, P., Leardkamol karn, V., Yamborisut, U., Surasiang, R., Charoensiri, R. and Kongkachuichai, R., 2013, Long-term supplementation of high pigmented rice bran oil (*Oryza sativa* L.) on amelioration of oxidative stress and histological changes in streptozotocin-induced diabetic rats fed a high fat diet: Riceberry bran oil, Food Chem. 138: 501-508.

[5] Prangthip, P., Surasiang, R., Charoensiri, R., Leardkamolkarn, V., Komindr, S., Yambori sut, U., Vanavichit, A. and Kongkachuichai, R., 2013, Amelioration of hyperglycemia, hyperlipidemia, oxidative stress and inflammation in steptozotocin- induced diabetic rats fed a high fat diet by riceberry supplement, J. Funct. Foods. 5: 195-203.

[6] Limsangouan, N., Milasing, N., Thongngam, M., Khuwijitjaru, P. and Jittanit, W., 2019, Physical and chemical properties, antioxidant capacity, and total phenolic content of xyloglucan component in tamarind (*Tamarindus indica*) seed extracted using subcritical water, J. Food Process. Preserv, 2019: e14146.

[7] Surati, B.I. and Minocherhomji, F.P., 2018, Benefit of tamarind kernel powder- A natural polymer, Int. J. Adv. Res. 6: 54-57.

[8] Kumar, C.S. and Bhattacharya, S., 2008, Tamarind seed: Properties, processing and utilization, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 48: 1-20.

[9] Noo-sing, S. and Sompongse, W., 2015, Study on the optimization of extraction and drying methods on physicochemical properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) gum, Thai Sci. Technol. J. 23(1): 43-58. (in Thai)

[10] Sompongse, W., Teerasilvesakul, P. and Seesaleekularat, K., 2016, Extraction of tamarind seed (*Tamarindus indica* L.) gum by microwave and its application in strawberry jam, Thai Sci. Technol. J. 24(2): 288-298. (in Thai)

[11] AOAC, 2012, Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th Ed., AOAC International, Gaithersburg, MD.

[12] Kaur, M. and Sandhu, K. S., 2013, Pasting properties of tamarind (*Tamarindus indica*) kernel powder in the presence of xanthan, carboxymethylcellulose and locust bean gum in comparison to rice and potato flour, J. Food Sci. Technol. 50: 809-814.

[13] Nayak, B., Berrios, J.J., Powers, J.R. and Tang, J., 2011. Effect of extrusion on the antioxidant capacity and color attributes of expanded extrudates prepared from purple potato and yellow pea flour mixes, J. Food Sci. 76: 874-883.

[14] Nanthachai, N., Pancharoen, P. and Noytheaw, P., 2018, Physical and chemical properties of Khanon- pun- klib from pregelatinized riceberry flour, Agric. Sci. J. 49(2)(Suppl.): 649-652. (in Thai)

[15] Klamklin, N., Yossombat, N., Phumchuen, S., Sungsub, S. and Chattong, U., 2017, Effect of Riceberry flour on physico-chemical and sensory properties of brownie, pp. 757-764, In Innovative and Academic Technology 2017, Rajamangala University of Technology Isan, Surin. (in Thai)

[16] Onwulata, C., Konstance, R.P. and Smith,

P.W., 1998. Physical properties of extruded products as affected by cheese whey, J. Food Sci. 63: 1-5.

[17] Charunuch, C., Limsangouan, N., Prasert, W. and Butsuwan, P., 2011, Optimization of extrusion conditions for functional ready-to-eat breakfast cereal, Food Sci. Technol. Res. 17: 415-422.

[18] Ilo, S., Schoenlechner, R. and Berghofe, E., 2000, Role of lipids in the extrusion cooking processes, Grasas y Aceites 51: 97-110.

[19] Harper, J.M., 1981, Extrusion of Foods, Vol. I, CRT Press, Inc., Davie, FL.

[20] Luang-In, V., Yotchaisarn, M., Somboon watthanakul, I. and Deeseenthum, S., 2018. Bioactives of organic riceberry broken rice and crude riceberry rice oil, Thai J. Pharma. Sci. 42: 161-168.

[21] Settapramote, N., Laokuldilok, T., Boonyawan, D. and Utama-ang, N., 2018, Physicochemical, antioxidant activities and anthocyanin of Riceberry rice from different locations in Thailand, Food Appl. Biosci. J. 6: 84-94.