วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 26 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2564
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 26 (No.1) January – April 2021 บทความวิจัย

ผลของปริมาณแป้งกระจับและการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ การต้านอนุมูลอิสระ และทางประสาทสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก

Effect of Water Chestnut Flour Contents and Hot-Air Drying on Physicochemical, Antioxidative and Sensory Properties of Noodle

วิจิตรา เหลียวตระกูล*, วชิรญา เหลียวตระกูล และ วรรภา วงศ์แสงธรรม

Wijitra Liaotrakoon*, Vachiraya Liaotrakoon and Wanpa Wongsaengtham

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Received : 5 April 2020
Revised : 9 July 2020
Accepted : 20 July 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และการประเมินทางประสาทสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กจากแป้งกระจับร้อยละ 0 (สูตรควบคุม), 10, 20 และ 30 ทดแทนแป้งข้าวเจ้า และศึกษาผลของอุณหภูมิการทำแห้งที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้าพบว่า การเติมแป้งกระจับร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมรับประทานมีปริมาณความชื้น และความเหนียวน้อยกว่าสูตรควบคุม ($p<0.05$) เมื่อปริมาณแป้งกระจับมากขึ้น เส้นก๋วยเตี๋ยวจะมีความเหนียวลดลง ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้แป้งกระจับร้อยละ 10 ทดแทนแป้งข้าวเจ้าในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ กลิ่น สี และความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p<0.05$) และเมื่อนำเส้นก๋วยเตี๋ยวนี้ไปทำแห้งพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวสูงขึ้นจาก 50 เป็น 70 องศาเซลเซียส ทำให้ใช้เวลาในการทำแห้งลดลง (120, 75 และ 60 นาที ตามลำดับ) โดยมีอัตราการทำแห้งสูงขึ้นจาก 0.29 เป็น 0.53 กรัมต่อนาที เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมแป้งกระจับร้อยละ 10 ทั้งพร้อมรับประทานและอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเป็น 2.53-13.23 และ 1.28-1.95 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิค/ 100 กรัม เส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับมีการคืนตัวและความเหนียวเป็น 1.55-1.82 เท่าเทียบกับน้ำหนักก๋วยเตี๋ยวอบแห้งก่อนการคืนตัว และ 243.67-321.38 กรัม ตามลำดับ ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการคืนตัวแล้วที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมากที่สุด ($p<0.05$) ดังนั้นปริมาณแป้งกระจับและอุณหภูมิการทำแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปที่เหมาะสมที่สุด เป็นดังนี้ ใช้แป้งกระจับร้อยละ 10 ทดแทนแป้งข้าวเจ้าโดยน้ำหนัก และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 75 นาที

คำสำคัญ : แป้งกระจับ ; คุณภาพทางเคมีกายภาพ ; เส้นก๋วยเตี๋ยว ; อัตราการทำแห้ง ; สารต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The objective of this research is to investigate physicochemical properties, antioxidative activity, and sensory properties of rice noodle substituted with 10%, 20% and 30% (w/w) water chestnut flour. Sample made from 100% rice flour or 0% (w/w) water chestnut served as control. The obtained noodle from the appropriate formula was subsequently dried at different temperatures of 50, 60 and 70 ºC, and the quality of instant noodles were evaluated. It was found that moisture content and cohesiveness of fresh noodles substituted with 10-30% water chestnut flour was lower than control sample ($p<0.05$). Cohesiveness of noodle decreased with increasing of water chestnut flour substitution. Fresh rice noodle substituted with 10% water chestnut was most accepted by panelist in terms of appearance, texture, taste, aroma, color, and overall liking ($p<0.05$). In drying fresh noodle into dried noodle, the increased drying temperature from 50 to 70 ºC significantly reduced time required to dry samples to 120, 75 and 60 min, respectively, and drying rate were increased from 0.29 to 0.53 g/ min. The total phenolic contents and antioxidant activity of both fresh and dried rice noodles substituted with 10% (w/w) water chestnut flour were 2.53-13.23 and 1.28-1.95 mg gallic acid equivalent/ 100 g. The rehydration ratio and cohesiveness values of instant noodle from water chestnut flour were 1.55-1.82 times compared to the weight of dry noodle, and 243.67-321.38 g, respectively. Dried rice noodles after drying at 60 ºC was most accepted when rehydrated than other samples ($p<0.05$). Therefore, the optimum amount of water chestnut flour substituted in rice flour was 10% (w/w) and drying temperature was 60 ºC for 75 min.

Keywords : water chestnut flour ; physicochemical properties ; noodle ; drying rate ; antioxidant

***Corresponding author. E-mail** : L_wijitra@hotmail.com

บทนำ

กระจับ (*Trapa bisphinosa*) เป็นพืชน้ำล้มลุก ลักษณะเป็นกอลอยน้ำ ผลหรือฝักกระจับมีสีดำขนาดใหญ่ เปลือกหนาแข็ง เขางอโค้งคล้ายเขาควาย เนื้อในสีขาว นิยมนำผลมารับประทาน และมีการปลูกกระจับมากในแถบภาคกลางของประเทศไทย กระจับอุดมด้วยคุณค่าทางโภชนาการและคุณค่าทางสารอาหาร โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรต วิตามินและแร่ธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม วิตามินเอ เหล็ก ไนอาซีน และวิตามินบีสอง (Niyomwit, 2007; Prafulla *et al.*, 2014) และมีความสามารถในการออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบโพลีฟีนอล ซาโปนิน แอลคาลอยด์ และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (Prafulla *et al.*, 2014; Liaotrakoon & Liaotrakoon, 2017) และเนื่องจากในผลกระจับมีปริมาณแป้งสูง จึงสามารถนำมาผลิตเป็นแป้งกระจับได้ (Lutfi *et al.*, 2017; Liaotrakoon & Liaotrakoon, 2020)

ปัจจุบันมีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากความต้องการของผู้บริโภคมีมากขึ้นและผลิตภัณฑ์อาหารมีความหลากหลาย จึงต้องการแป้งที่มีสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกัน เป็นผลมาจากองค์ประกอบของวัตถุดิบและวิธีการทำแป้งที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์พืช แป้งเป็นสารคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรด์ แบ่งเป็นแอมิโลส (amylose) และแอมิโลเพคติน (amylopectin) สัดส่วนขึ้นกับชนิดของแป้งแต่ละชนิด โดยทั่วไปแป้งข้าวเจ้าจะใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว ซึ่งนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในเอเชีย คุณสมบัติของแป้งที่เหมาะสมในการผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว จะใช้ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมากกว่าร้อยละ 25 จะทำให้มีความเหนียวเมื่อแป้งเย็นตัว แป้งสุกมีความคงตัวสูง ทนทานต่อการสลายตัวระหว่างหุงต้มและสามารถทำเป็นแผ่นได้ดี เนื่องจากโครงสร้างของแอมิโลสมีบทบาทสำคัญสำหรับเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว แป้งที่มาจากข้าวแต่ละสายพันธุ์ จะส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ สมบัติความหนืด และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว (Fu, 2008; Likitcholatarn *et al.*, 2018) จากงานวิจัยพบว่า การผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ด้วยการใช้แป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 25 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด มีความเหนียวและความยืดหยุ่น รวมทั้งมีปริมาณโปรตีน และเส้นใยมากกว่าสูตรควบคุม ($p<0.05$) (Rodmui, 2010) นอกจากนี้ Parnsakhorn *et al.* (2018) รายงานว่า การผสมแป้งข้าวกล้องหอมนิลนึ่งร่วมกับแป้งข้าวในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ทำให้เพิ่มปริมาณแอนโธไซยานิน (anthocyanin) จากข้าวกล้องหอมนิล และเส้นมีความเหนียวนุ่มมากขึ้น อุณหภูมิในการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวมีผลต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวสูงขึ้นจาก 50 เป็น 70 องศาเซลเซียส ทำให้สีและปริมาณแอนโธไซยานินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนรายงานของ Sukboonyasatit *et al.* (2018) พบว่า เมื่อเสริมผงใบย่านางร้อยละ 1-5 ในเส้นก๋วยเตี๋ยว ทำให้ปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม และทำให้การยับยั้งสารอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น แต่ทำให้มีค่าแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยที่ศึกษาผลของการเติมแป้งข้าวทดแทนแป้งข้าวสาลีในผลิตภัณฑ์บะหมี่ ดังนี้ Sirichokworrakit *et al.* (2015) ได้ทำการศึกษาการใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ (*Oryza sativa* L.) ทดแทนแป้งสาลีในการผลิตเส้นบะหมี่ ทำให้ความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยว การดูดซึมน้ำ คุณภาพการหุงต้ม ระยะเวลาในการแตกตัวของเม็ดแป้ง และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นบะหมี่ต้มสุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากการสูญเสียและความต้านทานแรงดึงของเส้นก๋วยเตี๋ยวเพิ่มขึ้น ส่วน Ginting & Yulifianti (2015) พบว่า ลักษณะของเส้นบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีผสมกับมันเทศร้อยละ 40 ทำให้สีและลักษณะปรากฏของเส้นบะหมี่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม จากงานวิจัยของ Liaotrakoon & Liaotrakoon (2020) พบว่า แป้ง

กระจับมีปริมาณแอมิโลสสูงถึงร้อยละ 35 และแป้งกระจับโม่ผสมมีความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้า จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของปริมาณแป้งกระจับและการอบแห้งต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก ถือเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งกระจับ เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลผลิตทางการเกษตรที่เป็นพืชท้องถิ่น และเป็นทางเลือกใหม่ให้แก่ผู้บริโภคอีกด้วย

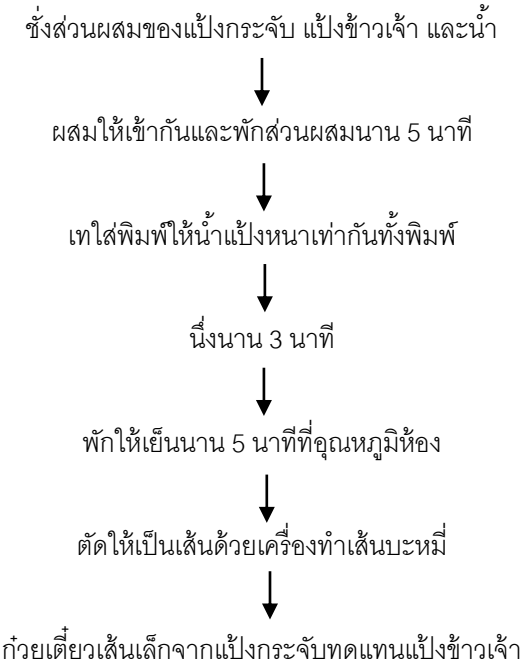
วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมแป้งกระจับ

กระจับปลูกในพื้นที่อำเภอสามโก้ จังหวัดอ่างทอง ทำการเก็บเกี่ยวกระจับที่โตเต็มที่โดยเปลือกเป็นสีดำ นำมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นเนื้อในฝักกระจับเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 0.5 เซนติเมตร จากนั้นนำกระจับไปผ่านกระบวนการผลิตแป้งกระจับแบบโม่ผสม (Liaotrakoon & Liaotrakoon, 2020) โดยนำกระจับที่หั่นแล้วไปแช่ในน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก แช่น้ำทิ้งไว้นาน 4 ชั่วโมง นำกระจับที่แช่น้ำไปสะเด็ดน้ำ แล้วนำไปอบในเตาอบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60±2 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง จากนั้นนำแป้งกระจับมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดแป้ง (MF10, IKA) ที่ความเร็วรอบ 4,500 รอบต่อนาที และใช้ขนาดตะแกรง 2 มิลลิเมตร (MF 2.0 Sieve, IKA) เก็บแป้งกระจับในถุงพลาสติกบรรจุปิดสนิท

การศึกษาผลของปริมาณแป้งกระจับต่อคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า

การศึกษาผลของปริมาณแป้งกระจับต่อคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กพร้อมรับประทานจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า โดยปริมาณใช้แป้งกระจับร้อยละ 0 (สูตรควบคุม), 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักจากร้อยละของแป้งข้าวเจ้าทั้งหมดผสมกับน้ำในอัตราส่วนของแป้งทั้งหมดและน้ำเป็น 3:1 โดยน้ำหนัก และนำมาผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กตามภาพที่ 1 โดยความหนาของเส้นประมาณ 0.3 มิลลิเมตร และขนาดของเส้นหลังจากตัดให้เป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวกว้างประมาณ 0.5 เซนติเมตรและยาวประมาณ 15 เซนติเมตร จากนั้นนำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าสี และวิเคราะห์เนื้อสัมผัส และการประเมินทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกปริมาณแป้งกระจับที่เหมาะสมในการศึกษาการทำเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปต่อไป



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กพร้อมรับประทาน

การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำแห้งต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า

นำเส้นก๋วยเตี๋ยวจากการใช้อัตราส่วนของแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสมที่สุด นำมาอบแห้งด้วยอุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ด้วยเตาอบลมร้อนแบบถาด บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเส้นก๋วยเตี๋ยวทุก ๆ 15 นาที จนกระทั่งน้ำหนักของเส้นก๋วยเตี๋ยวคงที่ โดยมีปริมาณความชื้นสุดท้ายร้อยละ 11$\pm$1 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งที่กำหนดความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก (Thai Industrial Standards Institute, 2005) จากนั้นนำมาทำกราฟการทำแห้ง (drying curve) ระหว่างร้อยละของน้ำหนักของตัวอย่างอบแห้งเทียบกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นและเวลาในการทำแห้ง รวมทั้งคำนวณหาอัตราการทำแห้ง (drying rate) จากปริมาณน้ำที่ระเหยระหว่างการทำแห้งต่อหน่วยเวลา จากนั้นนำเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งจากแป้งข้าวเจ้าทางการค้าหรือชุดควบคุม (control) ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าสี และวิเคราะห์เนื้อสัมผัส การคืนตัวของเส้นก๋วยเตี๋ยว กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และการประเมินทางประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมีกายภาพ

วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ ดังนี้ วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยใช้เตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105$\pm$2 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักทุกชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นหน่วยเป็นร้อยละ (AOAC, 2000) ค่าสี L*, a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Color QuestXE, HunterLab, USA) ซึ่งค่า L* แสดงค่าความสว่าง (lightness) จากค่า (+L*) แสดงถึง

สีขาว จนไปถึง (-L*) แสดงถึงสีดำ ส่วน a* มีค่า + สีจะไปในทิศทางของสีแดง ถ้า a* มีค่า – สีจะไปในทิศทางของสีเขียว ส่วน b* มีค่า + สีจะไปในทิศทางของสีเหลือง ถ้า b* มีค่า – สีจะไปในทิศทางของสีน้ำเงิน วิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture analyzer (Stabe Micro Systems, TA-XT plus, ประเทศอังกฤษ) โดยใช้หัววัดแบบแรงตัด กำหนดแรงกด 25 กิโลกรัม ความเร็วหัว 2.0 มิลลิเมตร/ วินาที ระยะทาง 50 มิลลิเมตร และวิเคราะห์การคืนตัวของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 15 กรัม แล้วนำไปแช่น้ำสะอาด 100 มิลลิลิตร นาน 5 นาที ต้มในน้ำเดือด นาน 10 นาที พักให้สะเด็ดน้ำ และคำนวณเป็นเท่าของการคืนตัวจากน้ำหนักหลังคืนตัวหารด้วยน้ำหนักก่อนการคืนตัว วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

สกัดตัวอย่างสำหรับนำมาวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยชั่งตัวอย่าง 20 กรัม เติมอะซิโตนความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ผสมเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมากรอง นำสารสกัดเก็บในขวดสีชาเก็บที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงวิธีจาก Mahattanatawee *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2006) วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu's reagent (Lim *et al.*, 2007) นำสารสกัด 0.3 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดนาน 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV spectrophotometer, Genesys 10SUV-VIS) ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยคำนวณหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิค รายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิค/ 100 กรัมตัวอย่าง (mg GAE/ 100 g)

ส่วนความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH (ดัดแปลงวิธีจาก Wu *et al.*, 2006) วิเคราะห์โดยนำสารสกัดจากตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 2,2-diphenyl-1 picryl-hydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 0.6 มิลลิโมลาร์ 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันนาน 15 วินาที ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV spectrophotometer, Genesys 10SUV-VIS) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร และคำนวณหาความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิครายงานผลเป็น mg GAE/ 100 g และวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์สารอนุมูลอิสระ โดยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) (Lim *et al.*, 2007) โดยใช้สารสกัด 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย phosphate buffer ที่ pH 6.6 และ potassium ferricyanide ความเข้มข้นร้อยละ 1 อย่างละ 2.5 มิลลิลิตร บ่มในในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เติมสารละลาย trichloroacetic acid ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ปิเปตส่วนผสม 2.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร และสารละลาย $FeCl_3$ ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้นาน 30 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร (A_{700})

การวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยการทดสอบความชอบของผู้บริโภคด้วยวิธี 9-point hedonic scale ระดับคะแนน 1 ถึง 9 โดยคะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด จนถึงคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด เตรียมตัวอย่างเส้น

ก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปอบแห้งโดยนำเส้นมาต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที และพักให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ กลิ่น สี และความชอบโดยรวมด้วยผู้ทดสอบชิม (panelists) จำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษาผลของปริมาณแป้งกระจับและการอบแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และการต้านอนุมูลอิสระของเส้นก๋วยเตี๋ยวมีการวางแผนการทดลองสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) ส่วนการวิเคราะห์ผลการศึกษาการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสมีการวางแผนการทดลองสุ่มแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยรายงานเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัย

ผลของปริมาณแป้งกระจับต่อคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กพร้อมรับประทานจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า

จากการศึกษาปริมาณแป้งกระจับที่แตกต่างกันคือ ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม), 10, 20 และ 30 ต่อคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า ได้ผลคุณภาพทางเคมีกายภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมรับประทานแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า เมื่อใช้แป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า และปริมาณแป้งกระจับเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 10-30) ทำให้ปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวลดลง (ร้อยละ 62.17-63.38) และน้อยกว่าสูตรควบคุม (ร้อยละ 79.41) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากอนุภาคของแป้งข้าวเจ้ามีความละเอียดกว่าแป้งกระจับ เม็ดแป้งข้าวเจ้าจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า ทำให้แป้งข้าวเจ้าสามารถดูดซับน้ำเข้ามาในโมเลกุลของแป้งได้มากกว่าแป้งกระจับ โดยในระหว่างกระบวนการเจลาติไนเซชัน (gelatinization) เม็ดแป้งจะละลายน้ำ ทำให้เกิดการดูดซับน้ำและพองตัว นอกจากนี้แร่ธาตุ ไขมัน และโปรตีน อาจส่งผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง (Swinkels, 1985; Guha *et al.*, 1997) และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จากแป้งได้ และพบว่า เมื่อปริมาณแป้งกระจับมากขึ้น ทำให้ความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยวลดลง โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวสูตรควบคุมมีความเหนียวมากที่สุด (726.39 กรัม) และเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีปริมาณแป้งกระจับร้อยละ 30 มีความเหนียวน้อยที่สุด (283.25 กรัม) ($p<0.05$) และเมื่อปริมาณของแป้งกระจับเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) เป็นร้อยละ 30 พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวมีสีเข้มขึ้น โดยสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวสูตรควบคุมมีสีขาวมากที่สุด เนื่องมาจากสีของแป้งกระจับที่มีสีขาวออกน้ำตาลเล็กน้อยจากเปลือกในกระจับ จึงทำให้สีของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้าเข้มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณแป้งกระจับมากขึ้น จากตารางที่ 1 พบว่า ค่าสี L* (ค่าความสว่าง), ค่าสี a* (ค่าสีแดง-เขียว) และค่าสี b* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมรับประทานจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้าทั้ง 4 อัตราส่วน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวสูตรควบคุมมีค่า L* มากที่สุด (62.31) ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีปริมาณแป้งกระจับร้อยละ 30 มีค่า a* และค่า b* มากที่สุด คือ 1.25 และ 3.39 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้น ความเหนียวและค่าสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมรับประทานจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า

แป้งกระจับ (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	ความเหนียว (กรัม)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
0	79.41±2.30^{a}	726.39±31.98^{a}	62.31±1.99^{a}	-1.44±0.15^{c}	1.06±0.50^{c}
10	63.38±2.33^{b}	550.56±26.18^{b}	56.22±0.36^{b}	-0.27±0.17^{b}	3.87±0.20^{b}
20	62.30±1.14^{b}	515.92±22.96^{b}	53.11±1.77^{bc}	-0.49±0.18^{b}	4.24±0.28^{a}
30	62.17±0.73^{b}	283.25±11.18^{c}	50.33±1.79^{c}	1.25±0.11^{a}	3.39±0.23^{b}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการประเมินด้านประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กพร้อมรับประทานจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีปริมาณแป้งกระจับร้อยละ 10 ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ กลิ่น สี และความชอบโดยรวมมากที่สุด และได้รับคะแนนการยอมรับมากกว่าสูตรควบคุม ($p<0.05$) และเมื่อเส้นก๋วยเตี๋ยวมีปริมาณแป้งกระจับมากขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับในทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสน้อยลง เนื่องจากเมื่อปริมาณแป้งกระจับเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 30 ความเหนียวหรือเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวจะลดลง และสีจะเข้มขึ้น สอดคล้องกับผลที่แสดงในตารางที่ 1 แป้งกระจับส่งผลต่อกลิ่นและรสชาติของเส้นก๋วยเตี๋ยว เนื่องจากกระจับที่เป็นวัตถุดิบในการทำแป้งกระจับมีกลิ่นของกระจับคล้ายกลิ่นมัน และมีรสหวานมัน เมื่อใส่แป้งกระจับมากขึ้น เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้าจึงมีกลิ่นรสของกระจับมากขึ้น ส่งผลทำให้คะแนนความชอบของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้านรสชาติและกลิ่นลดลง ดังนั้นการใช้แป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 10 จึงเหมาะสมที่สุดในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

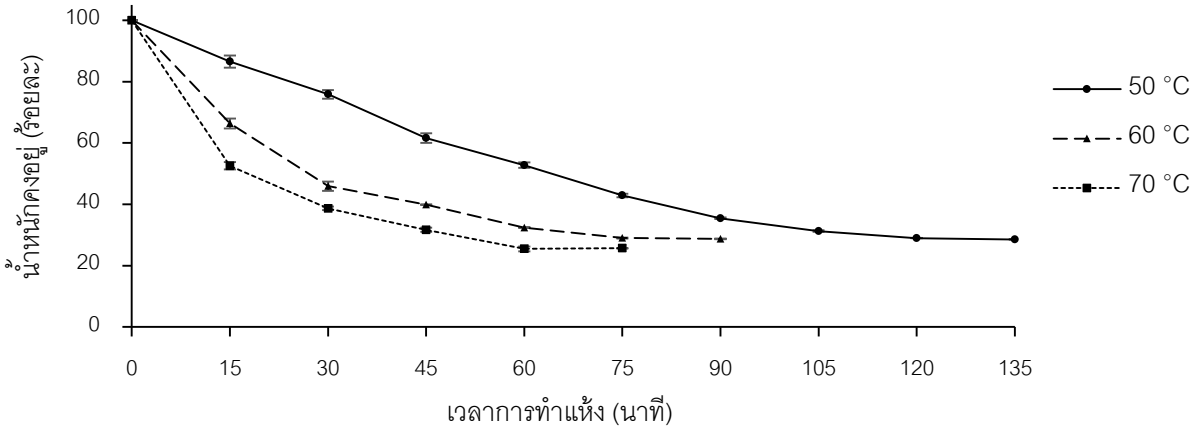
ตารางที่ 2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมรับประทานจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า

แป้งกระจับ (ร้อยละ)	คุณภาพทางประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	กลิ่น	สี	ความชอบโดยรวม
0	7.10±1.01^{b}	7.47±0.76^{b}	6.93±1.00^{b}	6.60±0.99^{b}	6.83±0.86^{b}	7.07±1.12^{b}
10	8.00±0.93^{a}	8.13±0.81^{a}	8.20±0.83^{a}	7.73±0.96^{a}	8.03±0.80^{a}	8.00±0.93^{a}
20	6.00±0.82^{c}	7.07±0.73^{b}	6.57±1.09^{b}	6.30±1.00^{b}	6.27±1.09^{c}	6.93±1.12^{b}
30	5.00±0.99^{d}	6.33±0.98^{c}	6.03±0.71^{c}	6.30±1.04^{b}	6.30±0.97^{c}	6.20±1.11^{c}

หมายเหตุ:อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลของอุณหภูมิการทำแห้งต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า

จากการศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีปริมาณแป้งกระจับร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของแป้งข้าวเจ้าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ทำให้ใช้เวลาในการทำแห้งลดลงเป็น 120, 75 และ 60 นาที ตามลำดับ จากภาพที่ 2 พบว่า น้ำหนักของเส้นก๋วยเตี๋ยวจะลดลงอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะช่วงแรกของการทำแห้ง ซึ่งกราฟการทำแห้งจะมีความชันมากกว่าช่วงอื่น ๆ จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง จนน้ำหนักของเส้นก๋วยเตี๋ยวคงที่ในช่วงท้ายของการทำแห้ง และเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นจาก 50 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส เส้นกราฟการทำแห้งจะมีความชันมากขึ้น และทำให้อัตราการทำแห้งของเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น โดยเมื่ออบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีอัตราการทำแห้งเป็น 0.29±0.08, 0.40±0.07 และ 0.53±0.05 กรัมต่อนาที



ภาพที่ 2 กราฟการทำแห้งของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า

คุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูป จากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยอุณหภูมิทำแห้งแตกต่างกัน ดังตารางที่ 3 พบว่า หลังทำแห้ง เส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณความชื้นลดลงจากร้อยละ 63.38 เป็นร้อยละ 11.26-11.81 เมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำจะทำให้สามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานานขึ้น เมื่อเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งจากแป้งข้าวเจ้าทางการค้าหรือชุดควบคุมพบว่า ชุดควบคุมมีความชื้น (ร้อยละ 12.52) สูงกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า อย่างไรก็ตามพบว่า ปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวชุดควบคุมและเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง (Thai Industrial Standards Institute, 2005) ส่วนความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งกระจับที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสหลังการคืนตัวมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จาก 321.38 กรัมลดลงเป็น 243.67 กรัม ตามลำดับ เมื่อนำเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปมาทำการคืนตัวพบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งกระจับร้อยละ 10 และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการคืนตัวดีที่สุดคือ 1.82 เท่า ซึ่งลักษณะของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีลักษณะเหนียวนุ่มและไม่แตกหักง่าย

จากตารางที่ 3 การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ต่างกัน ทำให้สีของเส้นก๋วยเตี๋ยวแตกต่างกัน โดยสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีสีเข้มที่สุด รองลงมาคือ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และพบว่า ค่าสี L* (ค่าความสว่าง), a* (ค่าสีแดง-เขียว) และ b* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่า L* มากที่สุด คือ 75.60 เนื่องจากการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งนาน 75 นาที ซึ่งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (120 นาที) ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวสีคล้ำน้อยกว่า และเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ มีค่า a* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 3 ปริมาณความชื้น ความเหนียว การคืนตัวและค่าสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า

อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (ร้อยละ)	ความเหนียว (กรัม)	การคืนตัว (เท่า)	ค่าสี		
				L*	a*[ns]	b*
ชุดควบคุม	12.52±0.09[a]	273.02±5.40[b]	1.29±0.05[d]	45.94±1.63[c]	0.73±0.29	1.32±0.17[a]
50	11.81±0.07[b]	321.38±4.36[a]	1.55±0.05[c]	64.06±1.80[b]	-0.80±0.37	1.02±0.01[a]
60	11.26±0.11[c]	267.87±4.12[b]	1.82±0.04[a]	75.60±2.12[a]	-1.23±0.28	4.12±0.46[b]
70	11.30±0.15[c]	243.67±9.70[c]	1.70±0.02[b]	49.33±1.71[c]	-1.14±0.25	10.62±0.24[c]

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
ns คือ ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$)
ความชื้นแสดงเป็นปริมาณร้อยละความชื้นฐานเปียก (%, wet basis)
ชุดควบคุม (control) หมายถึง เส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งจากแป้งข้าวเจ้าทางการค้า

จากตารางที่ 4 พบว่า แป้งข้าวเจ้าและแป้งกระจับมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดใกล้เคียงกันคือ 22.02-26.49 mg GAE/ 100 g ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมรับประทานจากแป้งกระจับร้อยละ 10 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเป็น 13.23 mg GAE/ 100 g และพบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปที่ทำแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมรับประทานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.53-5.73 mg GAE/ 100 g ส่วนผลกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH แสดงผลสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้ โดยแป้งข้าวเจ้าและแป้งกระจับ (9.45-10.43 mg GAE/ 100 g) มีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมรับประทาน (1.95 mg GAE/ 100 g) และเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูป (1.28-1.89 mg GAE/ 100 g) และพบว่า ผลกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP แสดงผลสอดคล้องเช่นเดียวกันโดยแป้งข้าวเจ้าและแป้งกระจับ (0.51-0.55) มีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมรับประทาน (0.21) และเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูป (0.13-0.17) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบแห้ง ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดย DPPH และ FRAP ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และ

พบว่า ชุดควบคุมมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดย DPPH และ FRAP ใกล้เคียงกับเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับร้อยละ 10 ทดแทนแป้งข้าวเจ้า

ตารางที่ 4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแป้งและเส้นก๋วยเตี๋ยว

ตัวอย่าง	**ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด** (mg GAE/ 100 g)	**กิจกรรมการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ**	
		DPPH (mg GAE/ 100 g)	FRAP (A_{700})
แป้ง			
แป้งกระจับ	22.02±2.17^{b}	9.45±0.13^{b}	0.51±0.02^{b}
แป้งข้าวเจ้า	26.49±1.28^{a}	10.43±0.02^{a}	0.55±0.01^{a}
เส้นก๋วยเตี๋ยว			
ชุดควบคุม (control)	5.95±0.19^{d}	1.63±0.08^{d}	0.16±0.01^{d}
เส้นก๋วยเตี๋ยวแป้งกระจับพร้อมรับประทาน	13.23±1.37^{c}	1.95±0.09^{c}	0.21±0.01^{c}
เส้นก๋วยเตี๋ยวแป้งกระจับอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส	5.73±0.92^{d}	1.89±0.13^{c}	0.17±0.01^{d}
เส้นก๋วยเตี๋ยวแป้งกระจับอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส	4.38±0.54^{e}	1.60±0.07^{d}	0.14±0.01^{e}
เส้นก๋วยเตี๋ยวแป้งกระจับอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส	2.53±0.03^{f}	1.28±0.03^{e}	0.13±0.02^{e}

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
ชุดควบคุม (control) หมายถึง เส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งจากแป้งข้าวเจ้าทางการค้า

ตารางที่ 5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า

อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	**คุณภาพทางประสาทสัมผัส**					
	ลักษณะปรากฏ	**เนื้อสัมผัส**	**รสชาติ**	**กลิ่น**	**สี**	**ความชอบโดยรวม**
ชุดควบคุม	6.93±0.73^{b}	7.17±0.69^{b}	6.53±0.76^{b}	8.27±0.93^{a}	6.60±0.92^{b}	7.17±0.69^{b}
50	6.87±0.96^{b}	6.53±0.76^{c}	6.10±0.75^{b}	7.43±1.02^{b}	6.83±0.86^{b}	6.53±0.76^{c}
60	7.93±0.89^{a}	8.00±1.00^{a}	7.53±1.06^{a}	7.73±1.03^{b}	8.07±0.96^{a}	8.00±1.00^{a}
70	6.50±0.72^{b}	6.33±1.04^{c}	6.20±1.01^{b}	7.20±1.01^{b}	6.80±1.17^{b}	6.33±1.04^{c}

หมายเหตุ :อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
ชุดควบคุม (control) หมายถึง เส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งจากแป้งข้าวเจ้าทางการค้า

จากการทดสอบด้านทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปแสดงดังตารางที่ 5 พบว่า หลังการคืนตัวเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด ($p<0.05$) ในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ กลิ่น สี และความชอบโดยรวม เนื่องจากเมื่อมีการคืนตัว เส้นก๋วยเตี๋ยวจะมีลักษณะที่เหนียวนุ่ม และมีการคืนตัวได้ดีที่สุด และมีสีขาวสว่างกว่าตัวอย่างอื่น ๆ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับตารางที่ 3 อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง ส่งผลต่อเนื้อสัมผัส รสชาติและสีของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยการอบแห้งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนมาที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ หากใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งจะทำให้ใช้เวลานาน มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งจะทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้งเร็ว และผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ แต่เมื่อใช้อุณหภูมิที่เหมาะสม จะทำให้การถ่ายเทความร้อนในระหว่างการอบแห้งเป็นไปอย่างสมดุล เนื้อสัมผัสไม่แห้งกระด้าง และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีน้อย

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลของปริมาณแป้งกระจับต่อคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กพร้อมรับประทานจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า

ในการศึกษาครั้งนี้แป้งที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กคือ แป้งกระจับ และแป้งข้าวเจ้า เมื่อปริมาณแป้งกระจับมากขึ้น ทำให้ความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยวลดลง งานวิจัยของ Liaotrakoon & Liaotrakoon (2020) แสดงให้เห็นว่าแป้งกระจับมีคุณสมบัติด้านความหนืดต่างจากแป้งข้าวเจ้า และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยว จากผลวิจัยที่ได้สามารถใช้แป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้าได้ถึงร้อยละ 30 แต่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีปริมาณแป้งกระจับร้อยละ 10 มากที่สุด ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งกระจับร้อยละ 10 ทดแทนแป้งข้าวเจ้าอาจทำให้มีปริมาณแอมิโลสเหมาะสมสำหรับการเกิดเจลและเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Rodmui (2010) พบว่า ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สามารถใช้แป้งข้าวหอมนิลร้อยละ 25 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแป้งที่ใช้ทดแทนเป็นข้าวเจ้าเช่นเดียวกัน จึงสามารถทดแทนได้ในปริมาณมากกว่าการใช้แป้งกระจับในการศึกษาครั้งนี้

จากผลการใช้แป้งกระจับทำให้ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้ ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีความเหนียวลดลงนั้น เนื่องมาจากชนิดของแป้งที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน ส่งผลทำให้มีความหนืดต่างกัน โดยมีรายงานว่า แป้งกระจับมีค่าความหนืดลดลง (breakdown) และค่าการคืนตัว (setback) น้อยกว่าแป้งข้าวเจ้า จึงทำให้ค่าความเหนียวลดลง เมื่อแป้งกระจับเกิดการคืนตัว (retrogradation) เทียบกับแป้งข้าวเจ้า (Liaotrakoon & Liaotrakoon, 2020) นอกจากนี้ปริมาณแอมิโลสมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เช่นกัน โดยมีรายงานว่า เม็ดแป้งข้าวเจ้ามีโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรง และมีปริมาณแอมิโลสสูง เมื่อนำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อน แป้งข้าวเจ้าจะเกิดการพองตัวและความสามารถในการละลายที่ 95 องศาเซลเซียส น้อยกว่าแป้งข้าวเหนียวที่มีปริมาณแอมิโลเพคตินมากกว่า (Leach *et al*., 1959) ในกระบวนการทำเส้นก๋วยเตี๋ยวนั้น ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้งดิบ ทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแอมิโลสและแอมิโลเพคติน ทำให้เม็ดแป้งเกิดการดูดน้ำและพองตัวแบบผันกลับได้ (Kaletunc & Breslauer, 2003) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น น้ำจะเข้าไปในเม็ดแป้งได้มากขึ้น เม็ดแป้งเกิดการดูดน้ำและพองตัวได้มากขึ้น ทำลายแรงยึดเหนี่ยวให้อ่อนตัวลง ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น แอมิโลสจะแพร่ออกมานอกเม็ดแป้งที่พองตัว ทำให้ภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งเหลือแอมิโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงจนถึงจุดที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัวสูงที่สุด (peak viscosity) เม็ดแป้งก็จะเกิดการแตกออก ความหนืดลดลง ทำให้แป้งสุกหรือ

เกิดการเจลาติไนเซชัน เมื่อลดอุณหภูมิลงโดยการปล่อยแป้งสุกให้เย็นตัวลง โครงสร้างภายในเม็ดแป้งจะจัดเรียงตัวใหม่อย่างเป็นระเบียบ (recrystallization) ด้วยพันธะไฮโดรเจนที่มีความแข็งแรงกว่าเดิม หรือการคืนตัวของแป้ง เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายทำให้แป้งเกิดลักษณะเป็นเจล (Srirot & Piyachomkwan, 2003; Ratithammatorn, 2016)

ผลของอุณหภูมิการทำแห้งต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า

เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นจาก 50 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการทำแห้งของเส้นก๋วยเตี๋ยวเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้ความสามารถในการระเหยน้ำได้เร็วขึ้น จึงใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Parnsakhorn *et al.* (2018) ศึกษาผลของการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวกล้องหอมนิลนึ่งร่วมกับแป้งอุณหภูมิการอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด ส่วนสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งที่อุณหภูมิมีความแตกต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิทำแห้งสูง จะช่วยเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Millard reaction) เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง หรือใช้เวลาในการอบแห้งนาน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีของผลิตภัณฑ์มากขึ้น (Jamradloedluk *et al.,* 2007; Liaotrakoon *et al.,* 2018) เมื่ออบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งกระจับที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เส้นก๋วยเตี๋ยวมีค่าความสว่างมากกว่าที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งนานถึง 120 นาที จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้ามีสีคล้ำลงได้มากกว่าการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ที่ใช้เวลาสั้นกว่าการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาอบแห้งเพียง 75 นาที

กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH และ FRAP ลดลง เมื่อเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมรับประทาน เป็นผลมาจากกระบวนการอบแห้ง เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในพืชผัก ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (peroxidation) ในเยื่อหุ้มเซลล์ โดยการกำจัดออกซิเจน เพื่อป้องกันการเป็นโรคต่าง ๆ *(*Tesoriere *et al*., 2009*)* มีรายงานว่า ในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน และการเก็บรักษา สารต้านอนุมูลอิสระจะลดลง เนื่องจากความไม่คงตัวของสารต้านอนุมูลอิสระต่อความร้อนและแสง (Murcia *et al*., 2009)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของปริมาณแป้งกระจับและอุณหภูมิการทำแห้งต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และการประเมินทางประสาทสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กพบว่า การใช้แป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 10 เหมาะสมที่สุดในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า ให้ปริมาณความชื้นร้อยละ 63.38 มีความเหนียว 550.56 กรัม และผู้ทดสอบชิมให้คะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ กลิ่น สี และความชอบโดยรวมมากที่สุด (คะแนนอยู่ในช่วง 7.73-8.20) จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทำเส้นก๋วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูป และพบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นกึ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 75 นาที เหมาะสมที่สุดในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

กึ่งสำเร็จรูปจากแป้งกระจับทดแทนแป้งข้าวเจ้า ให้ปริมาณความชื้นร้อยละ 11.26 มีความเหนียว 267.87 กรัม การคืนตัว 1.82 เท่า และผู้ทดสอบชิมให้คะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ กลิ่น สี และความชอบโดยรวมมากที่สุด (คะแนนอยู่ในช่วง 7.53-8.07) ทั้งยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ จึงเป็นการประยุกต์ใช้แป้งกระจับในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากกระจับมีปริมาณแร่ธาตุและเยื่อใย สร้างความหลากหลายให้แก่ผู้บริโภค และทำให้สร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่กระจับที่เป็นผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณจากงบกองทุนส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ และขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

AOAC, 2000, Official Methods of Analysis of the Association of the Official Analysis Chemists, Association of Official Analytical Chemists, Arlington.

Fu, B.X. (2008). Asian noodles: history, classification, raw materials, and processing. *Journal of Food Research International*, *41*, 888-902.

Ginting, E., & Yulifianti, R. (2015). Characteristics of noodle prepared from orange-fleshed sweet potato and domestic wheat flour. *Food Science*, *3*, 289-302.

Guha, M., Ali, S.Z., & Bhattacharya, S. (1997). Twin-screw extrusion of rice flour without a die: effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *Journal of Food Engineering*, *32*(3), 251-267.

Jamradloedluk, J., Nathakaranakule, A., Soponronnarit, S., & Prachayawarakorn, S. (2007). Influences of drying medium and temperature on drying kinetics and quality attributes of durian chip. *Journal of Food Engineering*, *78*(1), 198-205.

Kaletunc, G., & Breslauer, K.J. (2003). Characterization of cereals and flours: properties, analysis, and applications. Food science and technology. New York: Marcel Dekker.

Leach, H.W., McCowen, L.D., & Schoch, T.J. (1959). Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chemistry*, *36*, 534-544.

Liaotrakoon, V., & Liaotrakoon, W. (2017). Total polyphenol content and antioxidant activity of water chestnut. In *Proceeding of the 8th RSPG Researchers Club Conference "Thai Resources: Enormous Potential to be Seen"*. (pp 528-531). Saraburi: Chulalongkorn University. (in Thai)

Liaotrakoon, W, Jirasatitanusorn, T., Aemnin, N., & Liaotrakoon, V. (2018). Effect of drying temperatures on drying rate, physical and antioxidative properties of *Sesbania javanica* Mig. flowers. *RMUTI JOURNAL Science and Technology*, *11*(3), 57-69. (in Thai)

Liaotrakoon, W., & Liaotrakoon, V. (2020). Effect of milling methods on physicochemical, pasting properties and syneresis of water chestnut (*Trapa bispinosa*) flour. *Thai Journal of Science and Technology*, *9*(2), 251-264. (in Thai)

Likitcholatarn, J., Ritthiruangdej, P., Rumpagaporn, P., Lumdubwong, N., & Ratanasumawong, S. (2018). Effect of mixed high amylose rice flour on pasting properties and texture of rice noodles. *Journal of Food Science and Agricultural Technology*, *4*, 53-58.

Lim, Y.Y., Lim T.T., & Tee. J.J. (2007). Antioxidant properties of several tropical fruits: a comparative study. *Food Chemistry*, *103,* 1003-1008.

Lutfi, Z., Nawab, A., Alam, F., & Hasnain, A. (2017). Morphological, physicochemical, and pasting properties of modified water chestnut (*Trapa bispinosa*) starch. *International Journal of Food Properties*, *20*(5), 1016-1028.

Mahattanatawee, K., Manthey, J.A., Luzio, G., Talcott, S.T., Goodner K., & Baldwin. E.A. (2006). Total antioxidant activity and fiber content of select Florida-grown tropical fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*, 7355-7363.

Murcia, M.A., Jiménez, A.M., & Martínez-Tomé, M. (2009). Vegetables antioxidant losses during industrial processing and refrigerated storage. *Food Research International*, *42*, 1046-1052.

Niyomwit, B. (2007). Water chestnut: the local plant food. *Food Journal*, *37*(4), 315-317.

Parnsakhorn, S., Lungapin, J., Chaiyaphol, A., & Sookpasan, A. (2018). Effect of drying on physicochemical properties of noodles made from parboiled Hom-Nin brown rice flour with mixed rice flour. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *46*(1), 117-128. (in Thai)

Prafulla, A., Amita, D., Shirishkumar, A., & Bhaskar, V.H. (2014). Trapa bispinosa Roxb.: A review on nutritional and pharmacological aspects. *Advances in Pharmaceutical Sciences*, *959830*, 1-13.

Ratithammatorn, T. (2016). Effects of heating and cooling on structural change and digestion of starch. *Burapha Science Journal*, *21*(2), 246-259. (in Thai)

Rodmui, A. (2010). The production of noodle from Hom Nin rice flour. *Journal of Food Technology, Siam University*, *5*(1), 64-71. (in Thai)

Sirichokworrakit, S., Phetkhut J., & Khommoon, A. (2015). Effect of partial substitution of wheat flour with riceberry flour on quality of noodles. *Food Science*, *197*, 1006-1012.

Srirot, K., & Piyachomkwan, K. (2003). Technology of starch (3rd Ed.). Bangkok: Kasetsart University.

Sukboonyasatit, D., Singporn, P., & Sawangwong, S. (2018). Effects of bamboo grass powder supplementation on chemical and physical properties of rice noodle. *Agricultural Science Journal*, 49(2)(Suppl.), 237-240. (in Thai)

Swinkels, J.J.M. (1985). Sources of starch, its chemistry and physics. Starch conversion technology. New York: Marcel Dekker, Inc.

Tesoriere, L., Allegra, M., Gentile, C., & Livrea, M.A. (2009). Betacyanins as phenol antioxidants. Chemistry and mechanistic aspects of the lipoperoxyl radical-scavenging activity in solution and liposomes. *Free Radical Research*, *43*(8), 706-717.

Thai Industrial Standards Institute. (2005). Dried rice noodles TCPS 730/2548. Thai Community Product Standard, Ministry of Industry, Thailand. (in Thai)

Wu, L.C., Hsu, H.W., Chen, Y.C., Chiu, C.C., Lin Y.I., & Ho. J.A.A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, *95*, 319-327.