รายงานการวิจัย

สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตอาหารขบเคี้ยวจากฟลาวข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่

Optimum production of snack food from indigenous brown rice flour of southern of Thailand with twin screw extruder

สุภาษิต ชูกลิ่น Supasit Chooklin

ผกามาส ปุรินทราภิบาล Pakamat Purintrapibal

ธีระพงค์ หมวดศรี Teerapong Muadsri

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2562 เป็นงานวิจัยประยุกต์เพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางอาหารด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค ตลอดจนผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางส่งเสริมให้มีการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับผู้ประกอบการอาหารขนาดย่อมหรืออุตสาหกรรม

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทั้งความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์ ตลอดจนสถานที่ในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยที่อุทิศกำลังกายและกำลังใจช่วยวิจัยครั้งนี้ลุล่วงด้วยดี ตลอดจนครอบครัวและผองเพื่อนที่ให้ความห่วงใย เป็นกำลังใจให้เสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านและหน่วยงาน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาส นี้

สุภาษิต ชูกลิ่น
ผกามาส ปุรินทราภิบาล
ธีระพงศ์ หมวดศรี
ธันวาคม 2562

สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตอาหารขบเคี้ยวจากฟลาวข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่

สุภาษิต ชูกลิ่น[1] ผกามาส ปุรินทราภิบาล[2] และธีระพงค์ หมวดศรี[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ และศึกษาผลของอัตราส่วนแป้งข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวที่ผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (ร้อยละ 5 - 40 โดยน้ำหนักของส่วนผสม) และผลของส่วนผสมหลักและรองต่อคุณภาพขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งรสต้มยำ เอกซ์ทรูเดตที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางกายภาพในด้านความแข็ง การพองตัว ทางเคมี ค่า water activity (a_w) ความชื้น และการทดสอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่า องค์ประกอบทางกายภาพของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้มีค่าสี L* (ความสว่าง) อยู่ระหว่าง 58.76 – 72.55 ค่า a* (สีแดง) อยู่ระหว่าง 4.63 – 8.48 และค่า b* (สีเหลือง) อยู่ระหว่าง 13.13 – 14.54 ส่วนองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย เถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 1.70 – 1.89, 2.98 – 4.94, 8.60 – 12.10, 7.44 – 8.89 และ 74.11 – 76.38 ตามลำดับ และค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 14.62 – 31.07 และ 0.75 – 2.76 mg GAE/g DW ตามลำดับ การเติมแป้งข้าวกล้องพื้นเมืองร้อยละ 30 มีค่าความแข็งมากที่สุด ส่วนการพองตัวที่การเติมข้าวกล้องพื้นเมืองร้อยละ 5 มีการพองตัวมากที่สุด การวิเคราะห์ทางด้านเคมี พบว่า การเติมแป้งข้าวกล้องพื้นเมืองที่มากขึ้นจะส่งผลให้ลักษณะของสีเอกซ์ทรูเดตเข้มขึ้นตามร้อยละการเติมแป้งข้าวกล้องที่สูงขึ้น ค่าความชื้น พบว่า ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ส่วนผลของส่วนผสมหลักและรองต่อคุณภาพขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งรสต้มยำ พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับคืออัตราส่วน 70 : 30 มากที่สุด

คำสำคัญ: ข้าวกล้อง ขนมขบเคี้ยว เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

[1,2,3] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มทร.ศรีวิชัย วข.นครศรีธรรมราช อ.ทุ่งใหญ่ จ.นครศรีธรรมราช

Optimum production of snack food from indigenous brown rice flour of southern of Thailand with twin screw extruder

Supasit Chooklin1 Pakamat Purintrapibal[2] and Teerapong Muadsri[3]

Abstract

This research aimed to evaluate physical properties, chemical properties, total phenolic content and anti-oxidant activity of indigenous brown rice in Southern and investigated the effect ratio of indigenous brown rice flour in southern on quality of snack food with extruder production (5 – 40%w/w) and the effect of major and minor ingredients on quality of extruded snack bar with tomyum flavor. The physical properties (hardness, expansion ratio and texture) and chemical properties (water activity and moisture content) of extruded snack were determined. The physical properties were found that color value of brown rice varieties as following: L*(brightness) is between 58.76 – 72.55, a*(red) is between 4.63 – 8.48 and b*(yellow) is between 13.13 – 14.54. The proximate analysis such as ash, fat, moisture, protein and carbohydrate is between 1.70 – 1.89%, 2.98 – 4.94%, 8.60 – 12.10%, 7.44 – 8.89% and 74.11 – 76.38%, respectively. Moreover, antioxidant activity and total phenolic content of these brown rice varieties were 14.62 – 31.07% and 0.75 – 2.76 mg GAE/g DW, respectively. It was found that the highest hardness and expansion ratio of extrudate by addition of indigenous brown rice flour at 30%w/w and 5%w/w, respectively. Moreover, chemical analysis result was showed that increasing of indigenous brown rice flour increased color value of extrudate. Moisture content was not significant different. The effect of major and minor ingredient on quality of snack bar was investigated. It was found that consumer the highest accepted at 70:30

Keywords: brown rice, snack food, extruder

[1,2,3]Department of Food Science and Technolgy, Faculty of Agro – Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Sri Thammarat campus, Thungyai, Nakhon Sri Thammarat

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญภาพ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
1.บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
หลักการแนวคิดและทฤษฎี	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	17
2.วิธีการดำเนินการวิจัย	18
3.ผลการวิจัยและวิจารณ์	22
4.สรุปผลการวิจัย	31
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก	
ก. วิธีการวิเคราะห์	37
ข. การเผยแพร่ผลงานวิจัย	44

สารบาญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะต้นข้าวสังข์หยดพัทลุง	3
2	โครงสร้างของเมล็ดข้าวกล้อง	8
3	สูตรโครงสร้างของ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH radical)	11
4	สูตรโครงสร้างของ 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt	12
5	ปฏิกิริยาของ FRAP assay	13
6	เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่	19
7	ข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้	23
8	ลักษณะปรากฏของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากส่วนประกอบหลักและรองต่างๆ	29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการการเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวสังข์หยดพัทลุง ข้าวเล็บนกปัตานี และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในตัวอย่างข้าวซ้อมมือ 100 กรัม	4
2	เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณของอนุมูลอิสระ	14
3	สูตรของเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้	20
4	ขนาดอนุภาคข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้	22
5	ค่าสีของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้	25
6	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้	26
7	สัดส่วนของแป้งข้าวกล้องพื้นเมืองต่อคุณภาพเอกซ์ทรูเดต	28
8	คุณสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากส่วนประกอบหลักและรองต่างๆ	29
9	การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดย 9 – point Hedonic scale จากส่วนประกอบหลักและรองต่างๆ	30

บทที่ 1
บทนำ (Introduction)

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ขนมขบเคี้ยว (Snack food) เป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมรับประทานเป็นอาหารว่างกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากรับประทานได้ง่าย สะดวกและรับประทานได้ตลอดเวลา ผู้บริโภคนอกจากจะเป็นเด็กเล็ก เด็กในวัยเรียนแล้วยังเป็นเด็กวัยรุ่นและคนในวัยทำงาน รูปแบบและรสชาติของขนมขบเคี้ยวจึงได้รับการพัฒนาปรับปรุงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขนมขบเคี้ยวตั้งแต่ยุคแรกจนถึงปัจจุบันมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันกล่าวคือ มีความกรอบ มีความพองตัว มีความหนาแน่นต่ำ โดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่นิยมในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถผลิตได้ด้วยอัตราการผลิตที่สูง ประหยัดพลังงาน ประหยัดพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องมือและสามารถควบคุมให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ (สมชายและคณะ, 2553) อีกทั้งการผลิตอาหารขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงในระยะเวลาสั้น ประกอบด้วยการทำงานหลายส่วน ได้แก่ ส่วนที่รับและส่งผ่านวัตถุดิบ ส่วนที่มีการผสม การนวด การให้ความร้อนและการขึ้นรูปโดยการอัดผ่านรูเปิดทำให้เกิดรูปร่าง (กมลวรรณ, 2541) คุณสมบัติของวัตถุดิบมีผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของอาหาร โดยมีปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ความชื้น ลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ โดยเฉพาะชนิดและปริมาณของแป้ง โปรตีน ไขมัน และน้ำตาล ซึ่งแป้งเป็นวัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรูปร่างของผลิตภัณฑ์ (วิไล, 2545) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จะมีการพองตัวโดยที่ไม่ต้องผ่านการทอดโดยน้ำมัน ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงมีไขมันต่ำเหมาะที่จะพัฒนาเป็นขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ (จุฬาลักษณ์, 2550) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่อาหารขบเคี้ยวจึงมีแนวคิดที่จะใช้ประโยชน์จากข้าวกล้องพื้นเมือง

ข้าวพันธุ์พื้นเมือง เป็นพันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกกันมาแต่ดั้งเดิมและนิยมบริโภคหรือใช้ประโยชน์ในท้องถิ่นเท่านั้น เนื่องจากมักมีข้อจากัดในด้านผลผลิตที่ต่ำ ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้พันธุ์ข้าวใหม่ๆ ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่า อย่างไรก็ตามข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีลักษณะเด่นบางประการ เช่น คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน ความหอม และความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม จึงมีความจำเป็นต้องอนุรักษ์พันธุ์ข้าวเหล่านี้ไว้ไม่ให้สูญพันธุ์และสามารถจะนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยพัฒนาพันธุ์ทั้งในปัจจุบันและอนาคต ปัจจุบันนี้ข้าวพันธุ์พื้นเมืองกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในแง่ของการนามาใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เภสัชกรรม เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมการแปรรูป ซึ่งเป็นแนวทางที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าข้าวและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร ข้าว

พื้นเมืองไทยแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันทั้งในลักษณะทางสัณฐานวิทยาลักษณะทางการเกษตร และองค์ประกอบทางโภชนาการ เป็นที่ทราบกันดีว่าสีของข้าวกล้องมีความสัมพันธ์กับคุณค่าทางโภชนาการ โดยพันธุ์ข้าวที่ข้าวกล้องมีสีเข้มมักจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าพันธุ์ที่มีข้าวกล้องสีขาว ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ชนิดต่างๆ อาทิ สังข์หยด เล็บนก เฉี้ยง ไข่มดริ้น ข้าวหอมดอกยอม กาบดำ ข้าวเบายอดม่วง ข้าวลูกปลา ข้าววงช้าง แม้จะมีการใช้ประโยชน์โดยกลุ่มเกษตรกรภาคใต้ แต่การใช้ประโยชน์ก็ยังอยู่ในวงจำกัด เนื่องจากขาดข้อมูลเชิงพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ได้มีข้อมูลรายงานว่าพืชจากหลายแหล่งมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันรวมทั้งข้าวพื้นเมืองด้วย โดยเมล็ดธัญพืชประเภทข้าวจัดเป็นแหล่งสารกันหืนจากธรรมชาติที่มีความสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากมีสารประกอบโพลีฟีโนลิกเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง สารประกอบโพลีฟีโนลิกเป็นสารสำคัญที่มีส่วนช่วยต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Sipat *et al*., 2009)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพจากข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของฟลาวข้าวเจ้าต่อฟลาวข้าวพื้นเมืองภาคใต้ และผลของส่วนผสมหลักและรองต่อคุณภาพขนมเคี้ยวชนิดแท่งรสต้มยำ

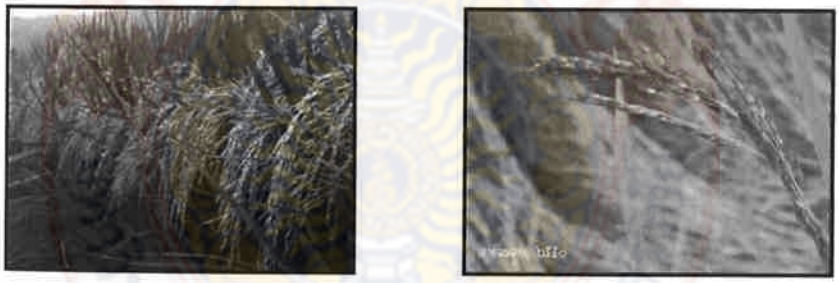
1.2 หลักการ แนวคิด ทฤษฎี

1. ข้าวสังข์หยดพัทลุง

ข้าวสังข์หยดพัทลุง (Sangyod Phatthalung rice) เป็นข้าวเจ้าพื้นเมืองพันธุ์เบา ข้าวนาสวน ไวต่อช่วงแสงปลูกฤดูนาปีในเขตพื้นที่จังหวัดพัทลุงเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองดั้งเดิมของจังหวัดพัทลุง จัดเป็นกลุ่มข้าวที่มีสีแดงหรือม่วง นิยมหุงบริโภคในรูปแบบข้าวกล้องหรือข้าวซ้อมมือ มีกลิ่นหอม นุ่มค่อนข้างเหนียว อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นอาหารธรรมชาติที่มีคุณค่าต่อสุขภาพของผู้บริโภค

1.1 ลักษณะของข้าวสังข์หยดพัทลุง

ลักษณะที่สำคัญของข้าวสังข์หยดพัทลุง เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง ซึ่งมีความสูงประมาณ 140 เซนติเมตร การแตกกอเฉลี่ย 8.3 ต้นต่อกอ ให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 330 กิโลกรัมต่อไร่ เปลือกเมล็ดมีสีฟาง เมล็ดเรียวยาว ข้าวเปลือกมีขนาดความยาวเมล็ดเฉลี่ย 9.334 มิลลิเมตร กว้าง 2.11 มิลลิเมตร หนา 1.77 มิลลิเมตร ส่วนขนาดของเมล็ดข้าวกล้องมีความยาวเฉลี่ย 6.70 มิลลิเมตร กว้าง 1.81 มิลลิเมตร หนา 1.64 มิลลิเมตร (รูปที่1) น้ำหนักข้าวเปลือกต่อถัง 10.60 กิโลกรัม คุณภาพการสีดี เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) มีสีแดง เมื่อสีเป็นข้าวสารจะมีลักษณะสีแดงเข้มปนสีขาวในเมล็ดเดียวกัน เมื่อหุงสุกมีลักษณะนิ่มค่อนข้างเหนียว (ธรณิศร, 2553)



รูปที่ 1 ลักษณะต้นข้าวสังข์หยดพัทลุง
ที่มา: ธรณิศร (2553)

ข้าวสังข์หยดพัทลุงมีลักษณะแตกต่างจากข้าวพันธุ์อื่น ๆ ทั่วไป คือ ข้าวสารหรือข้าวกล้องที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวปนสีแดงจางๆ จนถึงสีแดงเข้มคล้ายข้าวกล้อง (รูปที่ 1) มีปริมาณอะมิโลสต่ำร้อยละ 14.25 ในเมล็ดเดียวกันนั้นเมื่อข้าวหุงสุก จะมีความนุ่มมากไม่เหมือนข้าวกล้องที่จะแข็ง โดยข้าวสังข์หยดพัทลุงจะยังคงนุ่มอยู่เมื่อเย็นตัวลง นอกจากมีความนุ่มอร่อยแล้ว ยังให้คุณค่าทางอาหารสูงกว่าข้าวชนิดอื่นๆ

1.2 องค์ประกอบของข้าวสังข์หยดพัทลุง

ข้าวสังข์หยดพัทลุงประกอบด้วย จมูกข้าว หรือคัพภะ (Germ หรือ Embryo) รำข้าว (เยื่อหุ้มเมล็ด) และเมล็ดข้าวขาว หรือเมล็ดข้าวสาร (Endosperm) เป็นแหล่งสารอาหารจำนวนมาก เช่น ใยอาหาร กรดไฟติก วิตามินอีและบี และกาบา (Gamma aminobutyric acid; GABA) ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าข้าวขาว อีกทั้งยังพบสารประกอบฟีนอลิกประเภท Ferulic acid และ *p*-coumaric acid ในรูปอิสระ และในรูปคอนจูเกตเทตอีกด้วย (Champagne *et al.*, 2004) องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวสังข์หยดพัทลุง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการการเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ข้าวสังข์หยดพัทลุง ข้าวเล็บนกปัตตานี และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในตัวอย่างข้าวซ้อมมือ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ข้าวสังข์หยดพัทลุง	ข้าวเล็บนกปัตตานี	ข้าวขาวดอกมะลิ 105
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	364.22	366.22	361.35
ความชื้น (กรัม)	10.71	10.51	11.17
โปรตีน (กรัม)	7.30	7.11	8.34
ไขมัน (กรัม)	2.42	2.66	2.27
คาร์โบไฮเดรท (กรัม)	78.31	78.46	76.89
ใยอาหาร (กรัม)	4.81	4.10	5.12
เถ้า (กรัม)	1.26	1.26	1.33
วิตามินบี 1 (กรัม)	0.32	0.27	0.23
วิตามินบี 2 (กรัม)	6.46	5.45	5.69

ที่มา: สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพัทลุง (2549)

1.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวสังข์หยดพัทลุง

ประภัสสร (2555) พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองจากข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ปรุงหน้าด้วยปลาทูแขกหยอง โดยใช้เทคนิคไมโครเวฟในการทำแห้ง พบว่า ข้าวพองจากข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุงมีปริมาตรการพองตัวภายหลังการทอดเท่ากับ 10.37±0.11 มิลลิลิตรต่อกรัม มีร้อยละการพองตัวเท่ากับ 1.23±0.04 และมีค่าเนื้อสัมผัสด้านความแข็งเท่ากับ 160.39±56.05 นิวตัน และสภาวะที่ดีที่สุดในการทำแห้งข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ผ่านการหุงสุกแล้วโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบควบคุมกำลังวัตต์ได้ พบว่า กำลังวัตต์ที่เหมาะสมในการทำแห้งข้าวพองคือ 300 วัตต์ เป็นเวลา 48 นาที โดยข้าวกล้องอบแห้งที่ได้มีค่าความสว่างเท่ากับ 30.50±0.35 และมีคะแนน

ความชอบด้านสีเท่ากับ 7.5 คือ ชอบปานกลางถึงชอบมาก มีปริมาตรการพองตัวภายหลังการทอดเท่ากับ 10.36±0.07 มิลลิลิตรต่อกรัม และมีร้อยละการพองตัวเท่ากับ 1.26±0.09 และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของอาหารและการศึกษาหาอายุการเก็บรักษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวพองจากข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ปรุงหน้าด้วยปลาทูแขกหยองรสสมุนไพรมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 3.90±0.02 13.53±0.20 17.85± 0.04 3.67±0.03 2.06±0.03 และ 62.90±0.21 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่ ปรุงหน้าด้วยปลาทูแขกหยองรสสมุนไพรที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้นาน 64 วัน และ 52 วัน ตามลำดับ โดยจากการทดลองพบว่า การหืนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสื่อมคุณภาพ

รุจิรา (2556) ศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องอัดแท่ง ที่ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุงโดยใช้พันธุ์ข้าวกล้องข้าวเหนียวดำ ข้าวกล้องพันธุ์สังข์หยดพัทลุง ข้าวกล้องเล็บนกปัตตานี และข้าวกล้องพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง พบว่า กรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์ คือ แช่ข้าวกล้องในน้ำ 3-5 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการคั่วให้สุก ที่อุณหภูมิระหว่าง 60 - 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที บดข้าวที่คั่วแล้วให้ละเอียด ทำการผสมข้าวกล้องคั่วป่น 100 กรัม น้ำตาล 40 กรัม เกลี่ยใส่ถาด นำไปนึ่งนาน 20 นาที ตัดเป็นชิ้น ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที ผลจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ในตัวอย่างข้าวกล้องคั่ว 100 กรัม พบว่า ข้าวกล้องเหนียวดำคั่ว จะมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด (ร้อยละ 8.60) รองลงมาคือ ข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงคั่ว ร้อยละ 8.40 ข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงคั่ว จะมีปริมาณไขมัน และโพแทสเซียมสูงที่สุด ที่ 4.00 กรัม และ 1.12 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคือ ข้าวกล้องเหนียวดำคั่ว ซึ่งมี 3.70 กรัม และ 9.71 กรัม ตามลำดับ

ปานทิพย์และคณะ (2555) พัฒนาและแปรรูปแป้งข้าวกล้องสังข์หยดในผลิตภัณฑ์ขนมเกลียว พบว่า ปริมาณแป้งข้าวสังข์หยดที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์ขนมเกลียวที่อัตราส่วน 50:50 มีค่าเฉลี่ย ด้านสี 8.20 กลิ่น 7.79 รสชาติ 8.28 เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) 8.33 และความชอบรวม 8.32 โดยมีความชอบที่ระดับปานกลางถึงมาก เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราส่วนแป้งข้าวสังข์หยดที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์ขนมเกลียว พบว่า ด้านสี ด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ พบว่า ส่วนที่เพิ่มขึ้นได้แก่ พลังงาน (1.80 กิโลแคลอรี) โปรตีน (98.66 กรัม) คาร์โบไฮเดรต (226.80 กรัม) ใยอาหาร (8.10 กรัม) วิตามินบีหนึ่ง (2.00 มิลลิกรัม) และวิตามินบีสอง (1.38 มิลลิกรัม) ส่วนที่ลดลง คือ ไขมัน (113.45 กรัม)

อุไรวรรณ และคณะ (ม.ป.ป.) ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการบางประการในข้าวหมากที่ผลิตจากข้าวสังข์หยดพัทลุง พบว่า ปริมาณโปรตีนและไขมันในสูตรที่ใช้ส่วนผสมของข้าวกล้องสังข์

หยดพัทลุง มีค่าน้อยกว่าการใช้ข้าวเหนียวดำเพียงอย่างเดียว แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 3 สูตรที่มีการผสมของข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง พบว่า สูตรที่ผสมข้าวเหนียวดำต่อข้าวสังข์หยดพัทลุง อัตรา 1:1 ให้ค่าโปรตีนและไขมันใกล้เคียงกับข้าวเหนียวดำพัทลุงที่สุด มีค่าโปรตีนเท่ากับร้อยละ 3.60 และไขมันร้อยละ 0.31 ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณความชื้นและค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ในทุกสูตรทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ พบว่าทุกสูตรการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.23-0.47 ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 162/2546 แต่มีแนวโน้มว่าข้าวหมากที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำผสมข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงอัตรา 1:1 มีปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุด ส่วนข้าวหมากจากข้าวเหนียวดำพัทลุงให้ปริมาณแอลกอฮอล์น้อยที่สุด แต่มีปริมาณสารสีแอนโทไซยานินมากที่สุด เท่ากับ 84.26 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียก แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับสูตรอื่น

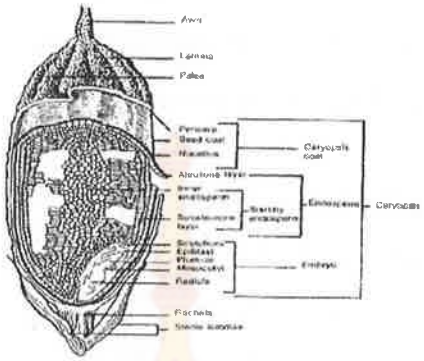
อิทธิพร (ม.ป.ป.) ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงด้วยกระบวนการอัดพอง พบว่า อุณหภูมิ (135-165 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบสกรู (300-400 รอบต่อนาที) และความชื้นของวัตถุดิบ (ร้อยละ 12.50-17.50) มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อย่างมาก ความชื้นของวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราการพองตัวที่ลดลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและผลิตภัณฑ์มีความแข็งกรอบเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อุณหภูมิบาร์เรลที่สูงขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราการพองตัวสูงขึ้น และเนื้อสัมผัสที่พองกรอบดีขึ้น สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวสังข์หยดพัทลุงคือ การผลิตที่อุณหภูมิสูง (165 องศาเซลเซียส) ความเร็วสกรูต่ำ (300 รอบต่อนาที) และความชื้นวัตถุดิบต่ำ (ร้อยละ 12.50) จากสภาวะข้างต้นนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการพองตัวสูงประมาณ 3.57 เท่าของแม่พิมพ์ ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำ และเนื้อสัมผัสพองกรอบที่ดี ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภค โดยผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับที่สูงอยู่ในระดับชอบถึงชอบมากทั้งในด้าน เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวม

1.4 ข้าวกล้อง (Brown rice)

ข้าวกล้องคือ ข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออก แต่ไม่ได้ขัดสีหรือเอารำออก ซึ่งยังมีคัพภะหรือจมูกข้าว (Embryo) และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) อยู่ทำให้ข้าวกล้องอุดมไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ เช่น ใยอาหาร (Fiber) กรดไฟติก (Phytic acid) วิตามินอี วิตามินบี และกรดแกมม่าอะมิโนบิวทิริก (γ-Aminobutyric acid) หรือสารกาบา (GABA) ที่มากกว่าข้าวขาวหรือข้าวขัดสี ซึ่งจะถูกขัดเอาส่วนของจมูกข้าวและรำข้าวออกไป (Juliano, 1972 อ้างอิงโดย น้ำทิพย์, 2548)

1. โครงสร้างของเมล็ดข้าวกล้อง

เมล็ดข้าวเป็นผลชนิดคารีออฟซิส (Caryopsis) เนื่องจากเป็นเมล็ดเดี่ยวติดอยู่กับผนังของรังไข่หรือเยื่อหุ้มผล (Pericarp) (Dendy and Dobraszczyk, 2001) ข้าวกล้องเป็นส่วนของเมล็ดข้าวที่เอาเปลือกออก ทำให้เหลือเป็นเมล็ดข้าวที่มีสีแดงจาง ๆ ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล มีประมาณร้อยละ 1 ถึง 2 ของเมล็ดข้าว มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous) ผนังเซลล์ของเยื่อหุ้มผลประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลส (Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เยื่อหุ้มผลนี้มีสารสีอยู่ทำให้เมล็ดข้าวกล้องมีสีต่าง ๆ เช่น ขาวแดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงดำ ข้าวกล้องที่มีสีแดงและม่วงมักมีสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลจะเป็นเยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) ซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถว และเป็นที่อยู่ของสารประเภทไขมัน นอกจากนี้ยังมีสารสีอยู่ เช่นเดียวกับเยื่อหุ้มผล ทำให้ข้าวกล้องมีสีแตกต่างกัน (งามชื่น, 2546) ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด คือ เยื่ออาลูโรน (Aleurone) มีประมาณร้อยละ 4 ถึง 6 ของเมล็ดข้าว เยื่ออาลูโรนเป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวสาร (Starchy endosperm) และคัพภะ โดยความหนาของชั้นอาลูโรนจะแตกต่างกันตามสายพันธุ์ของข้าว ผนังเซลล์ของเยื่ออาลูโรนประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ส่วนต่อมาเป็นคัพภะหรือจมูกข้าว มีประมาณร้อยละ 2 ถึง 3 ของเมล็ดข้าว เป็นส่วนที่มีโปรตีนและไขมันสูง ส่วนชั้นในสุดของเมล็ดข้าว คือ ส่วนของเมล็ดข้าวสาร ซึ่งเมล็ดข้าวมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักโดยพบสูงสุดประมาณร้อยละ 89 ถึง 94 ของน้ำหนักแห้ง (งามชื่น, 2546; Zhou *et al.*, 2002) โดยในเมล็ดข้าวเจ้ามีเม็ดแป้งอัดกันแน่นในส่วนของเอ็นโดสเปิร์ม (Endosperm) ทำให้เนื้อข้าวสารเจ้ามีลักษณะใสกว่าในข้าวสารเหนียว ซึ่งมีเม็ดแป้งอัดกันค่อนข้างหลวม ทั้งนี้ในเมล็ดข้าวเจ้ายังมีส่วนที่ขาวขุ่นซึ่ง เรียกว่า ท่องไข่หรือท้องปลาซิว (White abdomenหรือ Chalkiness) อันเนื่องมาจากการอัดตัวของเม็ดแป้งไม่แน่นพอ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากลักษณะของสายพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกไม่เหมาะสม ลักษณะท้องไข่นี้ถือเป็นลักษะด้อยสำหรับข้าวเจ้า เพราะทำให้น้ำหนักของเมล็ดเบาลงและมีลักษณะเปราะ (บุญหงส์, 2547) โครงสร้างของเมล็ดข้าว แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างของเมล็ดข้าวกล้อง
ที่มา: Zhou *et al.* (2002)

2. สารอาหารที่พบในข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง

ข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุงอุดมด้วยสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้าและใยอาหาร ดังนี้

ก. คาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักที่พบสูงที่สุดในข้าวสังข์หยดพัทลุง โดยมีประมาณร้อยละ 83.52 ถึง 85.17 ของน้ำหนักแห้ง (Banchuen *et al.*, 2009; Sompong *et al.*, 2011; Yodmanee *et al.*, 2011) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตที่พบในเมล็ดข้าวสังข์หยดพัทลุงคือ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และน้ำตาลอิสระ

ข. โปรตีน โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่พบมากรองจากคาร์โบไฮเดรต โดยโปรตีนที่พบในข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงมีปริมาณร้อยละ 8.06 ถึง 10.36 ของน้ำหนักแห้ง (Banchuen *et al.*, 2009; Sompong *et al.*, 2011; Yodmanee *et al.*, 2011) ดังนั้นข้าวสังข์หยดพัทลุงจึงจัดว่าเป็นพันธุ์ข้าวที่ให้โปรตีนสูง โดยข้าวที่มีโปรตีนสูงมักพบการกระจายของโปรตีนสม่ำเสมอ ซึ่งโปรตีนที่พบในเมล็ดข้าวมักอยู่ในส่วนของจมูกข้าว ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นโปรตีนโกลบูลินและอัลบูมิน

ค. ไขมัน ไขมันที่พบในเมล็ดข้าวมักอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ด ชั้นใต้เยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าว โดยในข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณไขมันร้อยละ 1.65 ถึง 2.67 ของน้ำหนักแห้ง (Banchuen *et al.*, 2009; Sompong *et al.*, 2011; Yodmanee *et al.*, 2011) ซึ่งไขมันที่พบในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก และกรดปาล์มิติก ส่วนกรดลอริกและกรดไมริสโตลีอิกมีเล็กน้อย

ง. เถ้า เถ้าเป็นส่วนของสารอนินทรีย์ในเมล็ดข้าวที่เหลืออยู่หลังจากการเผาที่อุณหภูมิสูงโดยในข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณเถ้าร้อยละ 1.20 ถึง 2.15 ของน้ำหนักแห้ง (Banchuen *et al*., 2009; Sompong *et al*., 2011; Yodmanee *et al*., 2011) ซึ่งเถ้าเป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนและคุณภาพของข้าว

จ. ใยอาหาร ใยอาหารที่พบในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่มักอยู่ที่ผิวนอกของเมล็ดข้าวที่เป็นรำโดยใยอาหารที่พบในข้าวสังข์หยดพัทลุงมีปริมาณร้อยละ 0.26 ถึง 4.51 ของน้ำหนักแห้ง (Banchuen *et al*., 2009; Sompong *et al*., 2011; Yodmanee *et al*., 2011) ดังนั้นข้าวสังข์หยดพัทลุงจึงจัดว่าเป็นแหล่งของใยอาหารที่ดี ซึ่งใยอาหารที่พบในเมล็ดข้าวมักเป็นเซลลูโลสและลิกนิน

3.สารต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้อง

สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นคำศัพท์ที่แปลมาจากคำว่า antiradical ปัจจุบันคำศัพท์นี้ได้ถูกบัญญัติใหม่เป็นสารขจัดหรือกำจัดอนุมูล (Radical scavenger) เพื่อให้ถูกต้องตรงกับการทำงาน และอาจใช้คำว่าสารต้านออกซิเดชันแทน สารต้านออกซิเดชันเป็นสารที่ใช้เป็นตัวชะลอหรือป้องกันการเกิดออกซิเดชันของสารที่ถูกออกซิไดซ์ (Oxidize) ได้ง่าย สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูลให้หมดไป หรือหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ สารต้านออกซิเดชันที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น กรดยูริค (Uric acid) บิลิรูบิน (Bilirubin) จะกำจัดอนุมูล ส่วนวิตามินซี วิตามินอี กลูตาไธโอน (Glutathione) เบตาแคโรทีน (Beta-carotene) และยูบิควิโนน (Ubiquinone) จะหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระ สารต้านออกซิเดชันประเภทหลังมีบทบาทสำคัญทำให้ลิพิดเปอร์ออกซิเดชันสิ้นสุดลง สารต้านออกซิเดชันที่กล่าวมามีโครงสร้างเคมีและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่แตกต่างกัน เช่น วิตามินอีมีโครงสร้างเคมีที่ละลายไขมันได้ดี ดังนั้นจึงสามารถเข้าไปออกฤทธิ์ที่เมมแบรนได้ วิตามินอีจัดเป็นสารต้านออกซิเดชันที่มีฤทธิ์แรงสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ วิตามินอีจะทำปฏิกิริยาขจัดอนุมูลลิพิดเปอร์ออกซีและได้เป็นอนุมูลวิตามินซี (E- $O^{\bullet}$) อนุมูล E-$O^{\bullet}$ เป็นอนุมูลอิสระที่มีความไวต่ำทำให้ไม่สามารถเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันต่อไปได้ วิตามินซีละลายน้ำได้ดีมีหน้าที่เปลี่ยนอนุมูล E-$O^{\bullet}$ ทำให้ได้วิตามินอีกลับคืนมา โดยการรับอิเลคตรอนจากอนุมูล E-$O^{\bullet}$ อนุมูลวิตามินซีจะถูกขับออกทางปัสสาวะ (โอภาและคณะ, 2549)

องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and drug Adminisstration; FDA) กำหนดให้สารกันหืน หรือสารต้านออกซิเดชันเป็นสารที่ใช้รักษาคุณภาพอาหารโดยชะลอการเสื่อมเสียที่เกิดจากการหืนหรือการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันสารต้านออกซิเดชันควรมีสมบัติดังนี้

1) ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

2) ต้องเป็นชนิดที่กฎหมายของแต่ละประเทศอนุญาตให้ใช้

3) ละลายหรือกระจายตัวได้ดีในไขมันและน้ำมัน และทำงานได้อย่างสม่ำเสมอในผลิตภัณฑ์

4) ไม่มีผลข้างเคียงต่อไขมันหรืออาหารที่มีไขมัน

5) ยังคงมีประสิทธิภาพอยู่ แม้ว่าจะผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว

6) เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

7) มีประสิทธิภาพเพียงพอเมื่อใช้ในปริมาณน้อย จึงไม่เพิ่มต้นทุนการผลิตมาก

8) หาได้ง่าย และราคาพอสมควร

3.1 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ

3.1.1. Primary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic substance) ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิชันของไขมัน นอกจากนี้ยังรวมถึงสารโทโคฟีรอลธรรมชาติและสังเคราะห์ (Natural and synthetic tocopherol) alkyl gallate, BHA, BHT, TBHQ และอื่น ๆ ซึ่งสารในกลุ่มดังกล่าวทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน

3.1.2. Oxygen scavenger

สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิคหรือวิตามินซี ascorbyl palmitate erythorbic acid (Isoascorbic acid) และ sodium erythorbate เป็นต้น สารในกลุ่มนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จึงเป็นการช่วยกำจัดออกซิเจนในระบบปิดได้

3.1.3. Secondary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ dilauryl thiopropionate และ thiopropionic acid ทำหน้าที่สลายโมเลกุลของ lipid hydroperoxide ให้เป็นสารที่มีความเสถียร

3.14. Enzymic antioxidant

สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ เอนไซม์ต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็น primary antioxidant enzyme และ ancillary antioxidant enzyme สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนหรืออนุพันธ์ของออกซิเจนโดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

3.1.5. Chelating agent หรือ sequestrant

สารในกลุ่มนี้ เช่น กรดซิตริค กรดอะมิโน และ ethylenediaminetetra-acetic acid (EDTA) เป็นต้น สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ไปจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก และ

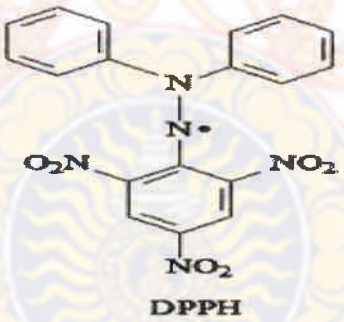
ทองแดง ซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นไอออนที่ส่งเสริมและเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรขึ้น (อัญชนา, 2544)

3.2. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณของอนุมูลอิสระ

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณของอนุมูลอิสระเป็นการวัดความสามารถในการเป็นตัวต้านออกซิเดชันของโมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว โดยวิธีที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์จากข้าวและผักผลไม้ชนิดต่างๆ ได้แก่ 2,2-azobis (3-ethyl-benzothialzoline-6-sulfonic acid) (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ the oxygen radical absorption capacity (ORAC) และอื่นๆ

3.2.1 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity assay (DPPH assay)

DPPH assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งใช้ reagent คือ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (รูปที่ 3) เป็น stable radical ในตัวทำละลาย methanol ซึ่งสารละลายนี้มีสีม่วง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 nm



DPPH

รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างของ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH radical)
ที่มา: Osman (2011)

โดย DPPH● จะเกิดปฏิกิริยากับantioxidant (AH) หรือกับ radical species (R●) ได้ดังสมการที่ (1) และ (2)

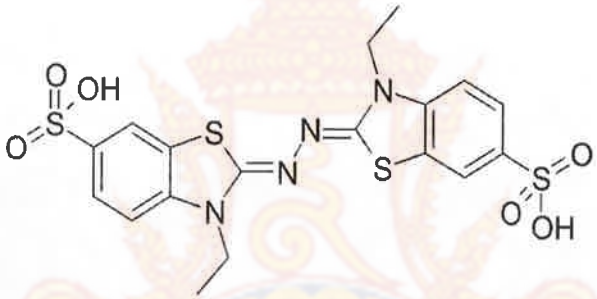
$$DPPH● + AH \longrightarrow DPPH\text{-}H + A● \quad (1)$$

$$DPPH● + R● \longrightarrow DPPH\text{-}R \quad (2)$$

ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ความเข้มของสารละลายสีม่วง ก็จะลดลง ซึ่งจะรายงานผลการทดลองเป็นค่า 50% effective concentration (EC50) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH● เหลืออยู่50%

3.2.2 วิธี 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) cation radical -scavenging assay : (ABTS assay)

ABTS assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (antioxidant capacity) ซึ่งใช้ reagent คือ 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (รูปที่ 8) เป็น stable radical ใน aqueous solution สารละลายนี้มีสีเขียว ดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 734 nm รูปที่ 4 สูตรโครงสร้างของ 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6- sulfonic acid) diammonium salt



รูปที่ 4 สูตรโครงสร้างของ 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt

ที่มา: Osman (2011)

การทำให้เกิด ABTS cation radical ทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. ใช้ enzyme reaction คือ ใช้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิด ABTS cation radical เช่น peroxidase, myoglobin เป็นต้น

2. ใช้ chemical reaction โดยใช้ สารเคมี เช่น manganese dioxide, potassium persulfate,2,2'-azo-bis-(2-amidinopropane)(ABAP) เป็นต้น

$$OH + ABTS \longrightarrow ABTS+ + H_2O$$

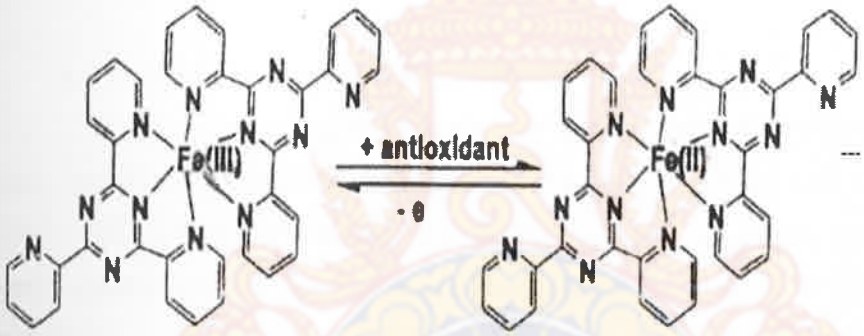
antioxidant (AH) จะทำปฏิกิริยากับ ABTS+ ดังนี้

$$ABTS+ AH \longrightarrow ABTS + A$$

มีผลให้ ความเข้มของสารละลายสีเขียวลดลงด้วย โดยจะรายงานผลการทดลองเป็นค่า 50% effective concentration (EC50) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ ABTS+ เหลืออยู่50% หรือรายงานผลเป็น 50% inhibition concentration (IC_{50}) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ ABTS+ ลดลง 50%

3.2.3 Ferric reducing antioxidant power (FRAP assay)

FRAP assay เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ ในการตรวจสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ และติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบเชิงซ้อน คือ เมื่อสารประกอบเชิงซ้อน ferric tripyridyltriazine (Fe^{3+}-TPTZ) ได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชันแล้วจะ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน ferrous tripyridyltriazine (Fe^{2+}-TPTZ) ที่มีสีม่วงน้ำเงิน ดังสมการ



รูปที่ 5 ปฏิกิริยาของ FRAP assay
ที่มา: Osman (2011)

วิธี FRAP สามารถติดตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยวัดค่า absorbance ที่595 nm จากนั้นศึกษา ความสามารถในการต้านออกซิเดชันในสารตัวอย่าง โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Ferrous sulfate แล้วรายงานเป็นค่า FRAP value ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ เสียค่าใช้จ่ายน้อย สะดวกรวดเร็ว มีขั้นตอนในการทดลองไม่ยุ่งยาก ซับซ้อนและมี reproducibility ดี

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณของอนุมูลอิสระ

วิธีการวิเคราะห์	ข้อดี	ข้อเสีย
1.DPPH	-เป็นวิธีการที่ง่าย - มีความถูกต้องแม่นยำ	-ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระนาน
2. ABTS	- ใช้เวลาสั้นในการเกิดปฏิกิริยา -ใช้ได้ในช่วง pH กว้าง	- ไม่สามารถยับยั้งกระบวนการเกิดออกซิเดชั่นแต่ตัวอย่างจะเกิดปฏิสัมพันธ์กับ ABTS ได้
3.FRAP	- เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว - ราคาไม่แพงและไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ	- ไม่สามารถตรวจสอบสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่ม Thiol เช่น Glutathione

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารต้านออกซิเดชัน

Zhou *et al*. (2004) ศึกษาการกระจายตัวของกรดฟีนอลิกในข้าว พบว่า ข้าวกล้อง (Brown rice) มี ferulic acid (255-362 mg/kg grain) และ *p*-coumaric acid (70-152 mg/kg grain) ในระดับสูง ส่วนข้าวสาร (Milled rice) มี ferulic acid (61-84 mg/kg grain) ในระดับต่ำ โดยสารประกอบฟีนอลิกในข้าวจะเป็น bound phenolic acid ซึ่งจะพบในข้าวกล้องและข้าวสารร้อยละ 80-90 และร้อยละ 53-74 ตามลำดับ การเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 37°C ทำให้ฟีนอลิกทั้งหมดและ bound phenolic acid ลดลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ทั้งในข้าวกล้องและข้าวสาร

Sompong *et al*. (2011) ศึกษาคุณสมบัติเคมี-กายภาพและการต้านอนุมูลอิสระของข้าวแดง 9 สายพันธุ์และข้าวดำ 3 สายพันธุ์ ในประเทศไทย จีน และศรีลังกา พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีความแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสีของข้าวโดยข้าวไทยสายพันธุ์บางแก้ว (Bhang Gawk, BG) มีปริมาณฟีนอลิกสูงสุดเท่ากับ 691 mg FA/100 g dry matter โดยที่ข้าวแดงจะมีความหลากหลายของฟีนอลิกในรูป free form (ferulic acid, protocatechuic acid และ vanillic acid) ส่วนข้าวดำจะพบ protocatechuic acid เป็นองค์ประกอบหลักตามด้วย vanillic acid และ ferulic acid ฟีนอลิกในรูป bound form จะพบ ferulic acid เป็นองค์ประกอบในข้าวทั้งสองสี คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระไม่มีความแตกต่างกันระหว่างข้าวทั้งสองสี ค่าความจุของการต้านอนุมูลอิสระของข้าวแต่ละสายพันธุ์ซึ่งมีค่า ferric reducing antioxidant power (FRAP) อยู่ในช่วง 0.90 – 8.10 mmol Fe(II)/100 g dry matter และความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระด้วยอนุมูล DPPH เท่ากับร้อยละของอนุมูล DPPH ที่เหลืออยู่ในช่วงร้อยละ 13.00 – 76.4

2.ข้าวไข่มดริ้น

ข้าวเจ้าพันธุ์ ไข่มดริ้น เป็นข้าวพื้นเมืองที่ได้รวบรวมจากจังหวัดนครศรีธรรมราช เมื่อปี พ.ศ. 2538 โดยศูนย์วิจัยข้าวนครศรีธรรมราช ได้เก็บตัวอย่างพันธุ์ จาก 4 อำเภอ ฤดูนาปี พ.ศ. 2538/2539 ปลูกคัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์ (Pure line selection) ฤดูนาปี พ.ศ. 2539/2540 ปลูกศึกษาพันธุ์ คัดเลือกได้สายพันธุ์จากแหล่งเก็บอำเภอร่อนพิบูลย์ แถวที่ 3 คือสายพันธุ์ NSRC95001-1-3 ฤดูนาปี พ.ศ. 2540/2541 เปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานี ที่ศูนย์วิจัยข้าวนครศรีธรรมราช ฤดูนาปี พ.ศ. 2541/2542 - 2545/2546 เปรียบเทียบผลผลิตระหว่างสถานี ที่ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง นครศรีธรรมราช ปัตตานี และกระบี่ วิเคราะห์คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและเคมี ปี พ.ศ. 2543 - 2548 ทดสอบปฏิกิริยาต่อโรคไหม้ โรคขอบใบแห้งและ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ฤดูนาปี พ.ศ. 2546/2547 - 2548/2549 เปรียบเทียบผลผลิตในนาราษฎร์ ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ปัตตานี และนราธิวาส ฤดูนาปี พ.ศ. 2548/2549 - 2550/2551 ทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ กรมการข้าว มีมติรับรองพันธุ์ ชื่อ ไข่มดริ้น 3 เพื่อแนะนำให้เกษตรกรปลูก เมื่อวันที่ 28 กันยายน 2553

ลักษณะประจำพันธุ์

เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง วันออกดอกกลางเดือนมกราคม เก็บเกี่ยวกลางเดือนกุมภาพันธ์ ความสูงประมาณ 176 เซนติเมตร ลักษณะทรงกอตั้ง แผ่นใบสีเขียวเข้ม ใบธงอยู่ในแนวนอน รวงยาว 31.2 เซนติเมตร ลักษณะรวงค่อนข้างแน่น ระแง้ถี่ คอรวงยาว เปลือกเมล็ดสีน้ำตาล น้ำหนักข้าวเปลือกต่อถัง 11.2 กิโลกรัม ข้าวเปลือกยาว 9.47 มิลลิเมตร กว้าง 2.54 มิลลิเมตร หนา 1.96 มิลลิเมตร ข้าวกล้องสีขาว รูปร่างเรียว ยาว 6.93 มิลลิเมตร กว้าง 2.07 มิลลิเมตร หนา 1.72 มิลลิเมตร ท้องไข่น้อย (0.52) คุณภาพการสีดีมาก ให้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวร้อยละ 56.1 ปริมาณอมิโลสปานกลาง(21.8 %) ระยะพักตัวเมล็ดพันธุ์ 2 สัปดาห์

ผลผลิต เฉลี่ย 436 กิโลกรัมต่อไร่

ลักษณะเด่น

1. ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เล็บนกปัตตานี ร้อยละ 18
2. คุณภาพเมล็ดดี มีท้องไข่น้อย ข้าวสวยค่อนข้างร่วนและค่อนข้างนุ่ม

(http://www.brrd.in.th)

3.ข้าวเบายอดม่วง

ข้าวเบายอดม่วงเป็นข้าวพันธุ์เบานาปีรยะเวลาการปลูกประมาณ 4.5-5.0 เดือน เป็นข้าวประจำถิ่นจังหวัดตรังปลูกมากในพื้นที่ตำบลวังคีรี อำเภอห้วยยอดและพื้นที่ใกล้เคียง เมื่อ 40 ปี ที่ผ่านมามีการปลูกกระจายทั่วทั้งจังหวัด ให้ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 400 กิโลกรัม มีลักษณะเด่นที่เปลือกเมล็ดข้าว เมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงเหมือนสียอดมะม่วงเบา เมล็ดข้าวสารมีเยื่อหุ้มเมล็ดทั้งสีขาวขุ่นคล้ายข้าวเหนียว และสีแดงคล้ายข้าวสังข์หยด เมื่อสีเป็นข้าวสารแล้วข้าวสารจะมีสีขาวขุ่น เมล็ดข้าวสารเล็กยาวรี ชาวบ้านเรียกว่า “ข้าวเจ้าเหนียว” มีรสชาติดีมาก นุ่มน่ารับประทาน เหมาะสำหรับให้ผู้สูงอายุบริโภคเพื่อเจริญอาหาร (สำราญ, 2560)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพจากข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้

2.เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของฟลาวข้าวเจ้าต่อฟลาวข้าวพื้นเมืองภาคใต้

3.เพื่อศึกษาผลของส่วนผสมหลักและรองต่อคุณภาพขนมเคี้ยวชนิดแท่งรสต้มยำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.สร้างมูลค่าเพิ่มแก่ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ ทำให้เพิ่มรายได้แก่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวพื้นเมืองภาคใต้

2.เป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่ดีต่อสุขภาพสำหรับผู้บริโภค

3.สามารถนำผลงานวิจัยที่สำเร็จแล้วเผยแพร่ในวารสารระดับชาติและนานาชาติพร้อมทั้งในที่ประชุมวิชาการต่างๆ ซึ่งจะช่วยสร้างชื่อเสียงแก่มหาวิทยาลัย

4.เป็นการบูรณาการงานวิจัยกับการเรียนการสอนในหลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย (Material & Method)

1.ศึกษาคุณภาพของข้าวกล้องพื้นเมือง

นำวัตถุดิบข้าวเปลือกพื้นเมืองภาคใต้ ได้แก่ ข้าวสังข์หยดพัทลุง ข้าวไข่มดริ้นและข้าวเบายอดม่วง ไปกระเทาะเปลือกด้วยเครื่องกระเทาะเปลือก แล้วเก็บในถุงพลาสติกปิดสนิทที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีต่างๆ ดังนี้

1.1 คุณภาพทางกายภาพ

1.1.1 วัดค่าสี โดยใช้เครื่อง Hunter Lab ได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่างมีค่า 0 ถึง 100 โดย 0 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างสีดำ 100 หมายถึง วัตถุที่มีความสว่างสีขาว) a* (+ หมายถึง วัตถุมีสีแดง, – หมายถึง วัตถุมีสีเขียว) และ b* (+ หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง, – หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน) จำนวน 3 ซ้ำ

1.1.2 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) โดยใช้เครื่องวัดค่า a_w จำนวน 3 ซ้ำ

1.2 องค์ประกอบทางเคมี

1.2.1 ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร ตามวิธีของ A.O.A.C (2000) จำนวน 3 ซ้ำ

1.2.2 การสกัดตัวอย่างข้าว สกัดตัวอย่าง 2 กรัม ด้วยสารละลายเมทานอลที่อุณหภูมิห้องภายใต้การกวนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 30 วินาที นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 x g เป็นเวลา 10 นาที แยกส่วนใสออก จากนั้นนำส่วนผสมที่เหลือไปสกัดซ้ำ 2 ครั้ง ตามวิธีข้างต้น จนได้สารสกัดสุดท้าย 50 มิลลิลิตรในเมทานอล (Brand-Williams *et al.*, 1995) สารละลายที่ได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Singleton *et al.*, 1999)

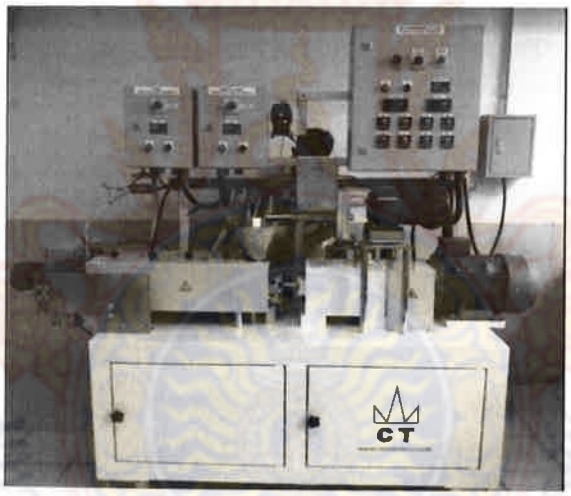
1.2.3 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ดังนี้

ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ (2,2 diphenyl-1-picryhydrazyl scavenging activity, DPPH) ตามวิธีของ Brand-Williams et al. (1995) ปิเปตสารสกัดของตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม 0.2 มิลลิโมล DPPH 2 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร วัดค่าโดยใช้เครื่อง UV-Visible spectrophotometer จำนวน 3 ซ้ำ สูตรคำนวณ ดังนี้

$$\frac{[\text{ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ควบคุม} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่าง}]}{\text{ค่าดูดกลืนแสงของ DPPH ควบคุม}} \times 100$$

2. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของฟลาวข้าวเจ้าต่อฟลาวข้าวพื้นเมืองภาคใต้

เตรียมเอกซ์ทรูเดตที่เหมาะสมในการผลิตอาหารขบเคี้ยวจากแป้งข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ (ข้าวเบายอดม่วง, *Oryza sativa*) ที่ส่วนผสมร้อยละ (เกร็ดข้าวโพด : แป้งข้าวเจ้า : น้ำมันถั่วเหลือง : น้ำ : น้ำตาล : แคลเซียมคาร์บอเนต) 41 : 40 : 3 : 10 : 5 : 1 น้ำหนักของผสมทั้งหมด ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ รุ่น CTE-D22L32 (รูปที่ 6) อุณหภูมิบาแรล (B1- 6 และ die) เท่ากับ 40 100 120 140 120 120 และ 140°C ตามลำดับ เอกซ์ทรูเดตที่ได้จะถูกนำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เอกซ์ทรูเดตที่แห้งแล้วจะถูกบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ (ค่าความแข็ง โดยเครื่อง Texture analyzer ค่าสี (L*, a* และ b*) โดยเครื่อง Spectrophotometer และค่า Water activity (a_w) อัตราการพองตัว ดัดแปลงจาก Ding *et al.*, 2006) คุณภาพทางเคมี (ปริมาณความชื้นตามวิธีการของ AOAC (2000) และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9 - point hedonic scale)



รูปที่ 6 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่

นำข้าวกล้องพันธุ์เบายอดม่วงมาบดด้วยเครื่องบดแล้วนำไปคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาดตะแกรงร่อน นำข้าวกล้องที่บดผสมกับแป้งข้าวเจ้า เกล็ดข้าวโพด น้ำมันพืช น้ำ น้ำตาล และ $CaCO_3$ ในเครื่องเครื่องผสมจากนั้นนำส่วนผสมไปแปรรูปดังแสดงในตารางที่ 3 โดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ ใช้หน้าแปลนรูปวงกลม 1 รู อัตราการป้อนส่วนผสม 10 รอบต่อนาที ความชื้นของวัตถุดิบผสมร้อยละ 12 ความเร็วรอบสกรู 450 รอบต่อนาที อุณหภูมิบาร์เรล 40, 50, 70, 130, 120, 120, 140 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ตารางที่ 3 สูตรของเอกซ์ทรูเดตจากแป้งข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้

Ingredients	Formula					
(%)	1	2	3	4	5	6
Indigenous brown rice flour	5	10	15	20	30	40
Rice flour	35	30	25	20	10	0
Corn grit	41	41	41	41	41	41
Vegetable oil	3	3	3	3	3	3
Water	10	10	10	10	10	10
Sugar	5	5	5	5	5	5
$CaCO_3$	1	1	1	1	1	1

3.ศึกษาผลของส่วนผสมหลักและรองต่อคุณภาพขนมเคี้ยวชนิดแท่งรสต้มยำ

ศึกษาอัตราส่วนระหว่างเอกซ์ทรูเดต (ส่วนผสมหลัก) ต่อเครื่องปรุงรสต้มยำ (ส่วนผสมรอง) 3 ระดับ คือ 90:10, 80:20 และ70:30 ซึ่งมีน้ำหนักรวมเท่ากับ 13 กรัม โดยมีส่วนผสมของซอสต้มยำในปริมาณที่เท่ากันซึ่งซึ่งส่วนผสมของซอสต้มยำประกอบด้วย น้ำมันพืช (7.5 กรัม) น้ำตาล (6.8 กรัม) น้ำ (30 กรัม) น้ำมะนาว (9.1 กรัม) นมข้นจืด (55 กรัม) พริกขี้หนู (5.5 กรัม) ข่า (6 กรัม) ตะไคร้ (4.5 กรัม) ใบมะกรูด (2.5 กรัม) น้ำพริกเผา (6 กรัม) เกลือ (2.8 กรัม) และแบะแซ (35 กรัม) นำข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด และพริกชั่งตามอัตราส่วนที่แสดงไว้ข้างต้น ล้างให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ เติมน้ำมันลงในกระทะใส่ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด และพริกที่หั่นเป็นชิ้นผัดให้หอม ใส่นมขนจืด น้ำ น้ำพริกเผา ต้มให้เดือดปรุงรสด้วย น้ำตาล น้ำมะนาว เกลือ กรองเอาแต่น้ำใส่แบะแซลงไปเคี่ยวประมาณ 5 นาทีให้ข้น (ดัดแปลงจาก มาลี และคณะ 2556) นำเอกซ์ทรูเดต ซอสต้มยำคลุกเคล้าให้เข้ากัน บรรจุลงพิมพ์ กดอัดแท่งหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง ขนาด 3x9x1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ประเมินคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส

4.การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน และวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และ

ทดสอบความแตกต่างของ ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

บทที่ 3

ผลการวิจัย (Result) และอภิปรายผล/วิจารณ์ผล (Discussion)

1.วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพจากข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้

1.1 ขนาดอนุภาคข้าวกล้อง

ข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ที่ผ่านเครื่องบดละเอียดแล้วเข้าเครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงร่อนจะมีขนาดอนุภาค 60 เมช ดังแสดงในตารางที่ 4 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Coutinho *et al.* (2013) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเอกซ์ทรูชันสำหรับการผลิตขนมขบเคี้ยวจากผลพลอยได้ของข้าวและถั่วเหลือง พบว่า รำข้าวที่ผ่านการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบ tyler มีขนาดอนุภาคที่ mesh no. 60 (0.25 mm) ร้อยละ 63.07

ตารางที่ 4 ขนาดอนุภาคข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้

ขนาดตะแกรง (mesh no.)	สัดส่วนเชิงมวล		
	ไข่มดริ้น	เบายอดม่วง	สังข์หยดพัทลุง
5	0	0	0
10	0.03	0.1	0.02
18	0.24	0.05	0.12
60	0.71	0.74	0.73
120	0.01	0	0.01
230	0.01	0.20	0.12
325	0	0	0

1.2 องค์ประกอบทางกายภาพข้าวกล้องแต่ละสายพันธุ์

การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ (รูปที่ 7) พบว่า ตัวอย่างข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้มีค่าสี L* (ความสว่าง) อยู่ระหว่าง 58.76 – 72.55 ค่า a* (สีแดง) อยู่ระหว่าง 4.63 – 8.48 และค่า b* (สีเหลือง) อยู่ระหว่าง 13.13 – 14.54 แสดงดังตารางที่ 2 นิพัทธาและวริพัสย์ (มปป) พบว่า ข้าวกล้องมีค่าสี L*, a* และ b* เฉลี่ยเท่ากับ 86.63, 1.17 และ 12.42 ตามลำดับ ส่วนข้าวขาวมีค่าสี L*, a* และ b* เฉลี่ยเท่ากับ 94.00, -0.11 และ 5.90 ตามลำดับ โดยสายพันธุ์ ชนิดและปริมาณของรงควัตถุที่มีอยู่ในบริเวณเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าว สัญชัย (2552) อธิบายว่า ปจจัยที่สงผลใหสีของขาวกลอง

แตกตางกันนาจะเปนรงควัตถุในเยื่อหุมเมล็ดขาวกลองทำใหสีของขาวกลองตางไปจากสีของขาวเปลือก แอนโธไซยานินเปนสารที่ใหสีไดหลากหลาย คือ สีมวง สีน้ำเงิน สีสม และสีแดง ซึ่งสีที่ตางกันขึ้นอยูกับโครงสรางและคาความเปนกรด-ดาง ดวยเหตุผลนี้ขาวกลองจึงมีสีที่ตางกันไปตามแตละพันธุ

a) b) c)

รูปที่ 7 ข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้
a) ข้าวกล้องเบายอดม่วง (จ.ตรัง)
b) ข้าวกล้องไข่มดริ้น (จ.นครศรีธรรมราช)
c) ข้าวกล้องสังข์หยดพัทลุง (จ.พัทลุง)

ตารางที่ 5 ค่าสีของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้

สายพันธุ์ข้าวกล้อง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
เบายอดม่วง	70.28±0.09	6.20±0.01	14.36±1.75
ไข่มดริ้น	72.55±0.00	4.63±0.00	14.54±0.01
สังข์หยดพัทลุง	58.76±0.08	8.48±0.04	13.13±0.01

1.3 องค์ประกอบทางเคมีข้าวกล้องแต่ละสายพันธุ์

การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ พบว่า ตัวอย่างข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้มีค่าองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย เถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 1.70 – 1.89, 2.98 – 4.94, 8.60 – 12.10, 7.44 – 8.89 และ

74.11 – 76.38 ตามลำดับ (ตารางที่ 6) Juliano (1993) วิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง พบว่า ปริมาณร้อยละเถ้า ไขมัน โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 1.0 – 1.5, 1.6– 2.8, 7.1 – 8.3 และ 73 – 87 ตามลำดับ Zubair *et al.* (2015) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสายพันธุ์ miniket ในบังกลาเทศ พบว่า ปริมาณร้อยละเถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 1.23, 1.82, 13.03, 7.28 และ 75.86 ตามลำดับ Verma and Srivastav (2017) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสายพันธุ์ที่มีกลิ่นหอมและไม่มีกลิ่นหอมในอินเดีย พบว่า ปริมาณร้อยละเถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 0.35 – 0.73, 0.06 – 0.92, 8.90 – 13.57, 6.87 – 9.53 และ 75.87 – 82.70 Abubakar *et al.* (2018) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสายพันธุ์มาเลเซีย พบว่า ปริมาณร้อยละเถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 0.39 – 1.83, 3.45 – 8.90, 10.57 – 12.89, 7.83 – 11.00 และ 67.48 – 77.51 ตามลำดับ เชาวนีพรและคณะ (2560) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดพัทลุง พบว่า ปริมาณร้อยละเถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 1.41, 1.76, 12.47, 7.56 และ 76.81 ตามลำดับ

ปริมาณเถ้าของข้าวสามารถใช้เป็นเครื่องชี้คุณภาพของข้าวได้เนื่องจากปริมาณเถ้า คือ สารประกอบอนินทรีย์ที่เหลืออยู่หลังจากที่เผาให้สารประกอบอินทรีย์สลายไปหมดแล้ว ซึ่งอาจจะบ่งชี้ได้ว่ามีแร่ธาตุในข้าวมากน้อยเท่าไร โดย Juliano (1993) ได้รายงานว่า ปริมาณเถ้าของข้าวกล้องโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงร้อยละ 1.0-1.5 และปริมาณเถ้าของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ที่ทำการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันและสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา

ไขมันที่อยู่ในข้าวส่วนใหญ่ คือ กลุ่มของไตรกลีเซอไรด์ฟอสฟอลิพิด ไกลโคลิพิด และ เทอร์พีนอยด์ จัดเป็นไขมันที่มีคุณภาพดีเนื่องจากมีปริมาณกรด ไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง (Linoleic acid และ Oleic acid) มีสารแกมม่าออไรซานอล (Gamma Oryzanol) ช่วยในการควบคุมระดับโคเลสเตอรอลในเส้นเลือด ช่วยในการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ เด็กแรก เกิดและเด็กเล็กปริมาณไขมันในข้าวมีรายงาน พบว่า จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 0.2-2.0 ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและสภาวะการปลูก (เชาวนีพรและคณะ, 2560)

ปริมาณความชื้นของข้าวนั้นเป็นผลมาจากสภาวะการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยวผลผลิต ความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าว ข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมคุณภาพได้เร็วขึ้นและทำให้ปริมาณสารอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงแต่ถ้าหากข้าวที่เก็บเกี่ยวมีความชื้นน้อยจะมีผลให้การเก็บรักษาข้าวมีระยะเวลาเพิ่มขึ้นและลดการเสื่อมคุณภาพได้ (อรอนงค์, 2547) ระดับความชื้นของข้าวที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าวที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 13 ซึ่งจะเก็บได้ดีภายใน 6 เดือน

ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ที่ทำการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

โปรตีนเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในข้าว รองลงมาจากคาร์โบไฮเดรต โดยในข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันไป โดยสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณโปรตีนในข้าว เช่น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนใน ระยะต่างๆ ขณะที่ข้าวเจริญเติบโตมีผลต่อการสร้างโปรตีนในเมล็ดข้าวโดยเฉพาะในขณะที่ข้าวกำลังออกดอกจะเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวได้ นอกจากนี้ระยะการปลูกที่สั้น สภาพอากาศที่มีเมฆปกคลุมมากในขณะที่สร้างเมล็ด เช่น ฤดูฝน จะมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวสูงขึ้น สภาพแวดล้อมที่ผิดปกติบางช่วง เช่น มีเกลือหรือเบสในดินสูง อุณหภูมิสูงหรือต่ำมากจะทำให้เมล็ดข้าวมีโปรตีนสูงขึ้นได้ (Juliano, 1993) ซึ่งโปรตีนจะเกิดขึ้นตามส่วนต่าง ๆ ของเมล็ด และจะมีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ดด้านนอกมากกว่าใจกลางเมล็ด โดยในข้าวจะมีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 7.1-8.3 (อรอนงค์, 2547) จากการศึกษาปริมาณโปรตีนในข้าวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ พบว่า มีปริมาณโปรตีนที่ค่อนข้างสูงซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าร้อยละ 7.1

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างประมาณร้อยละ 75-80 ในรูปของแป้ง (starch) ที่เหลืออีกเล็กน้อยเป็นซูโครส (sucrose) และเด็กซ์ตริน (dextrin) คาร์โบไฮเดรตที่ได้จากข้าวนี้ร่างกายสามารถย่อยและนำไปใช้เป็นพลังงานได้เกือบทั้งหมด โดยในข้าวกล้องจะมีคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนแบบที่สมบูรณ์ซึ่งมีไฟเบอร์อยู่ครบถ้วนเพราะไม่ได้ผ่านขั้นตอนการขัดสีเมื่อเข้าไปในร่างกายไฟเบอร์ที่มีอยู่จะทำหน้าที่ขวางกั้นเอนไซม์ที่เข้ามาดูดกลูโคสเข้าไปในกระแสเลือดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อกลไกสร้างพลังงานในร่างกาย (เชาวนีพรและคณะ, 2560) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ที่ทำการวิเคราะห์มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้

องค์ประกอบเคมี	สายพันธุ์ข้าวกล้อง		
	เบายอดม่วง	ไข่มดริ้น	สังข์หยดพัทลุง
ความชื้น (%)	11.35±2.90	12.10±0.42	8.60±1.98
ไขมัน (%)	2.98±0.88	4.47±0.93	4.94±1.80
เส้นใย (%)	4.37±0.61	4.66±1.40	4.90±0.13
โปรตีน (%)	7.44±0.52	7.63±0.25	8.89±0.00
เถ้า (%)	1.87±0.09	1.70±0.10	1.89±0.06
คาร์โบไฮเดรต (%)	76.38±3.17	74.11±0.65	75.69±0.25
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg FAE/g DW)	2.45±0.01	0.75±0.02	2.76±0.03
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (%)	28.11±6.30	14.62±2.93	31.07±7.53

การศึกษาการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ พบว่า ตัวอย่างข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้มีค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 14.62 – 31.07 และ 0.75 – 2.76 mg GAE/g DW ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ซึ่งข้าวกล้องพันธุ์เบายอดม่วงมีปริมาณฟีนอลิกและค่าการต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับข้าวกล้องพันธุ์สังข์หยดพัทลุงที่มีค่าสูงสุด อาจจะเนื่องมาจากเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวสายพันธุ์นี้มีสีม่วงแดงสอดคล้องกับค่าสี (a* และ b*) ที่สูงในตารางที่ 2 ซึ่งสีของเปลือกหุ้มเมล็ดดังกล่าวอาจจะมีสารแอนโทไซยานินหรือสารฟลาโวนอยด์อื่นๆ เป็นองค์ประกอบทำให้ปริมาณ Total phenolic ที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีขาว ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ ดวงพร (2559) ศึกษาความหลากหลายของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารสุขภาพของจังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า ปริมาณ Total phenolic ของข้าวพื้นเมืองทั้ง 6 สายพันธุ์ มีค่าตั้งแต่ 11.39-112.24 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งข้าวเหลืองนาขวัญ และข้าวเมล็ดมะเขือมีปริมาณ Total phenolic สูง กว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ เนื่องมาจากเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวทั้งสองสายพันธุ์มีสีแดง Sawaddiwong และคณะ (2008) พบว่า ข้าวสังข์หยดพัทลุงซึ่งเป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงกว่าข้าวเฉี้ยงพัทลุงและเล็บนกปัตตานีซึ่งเป็นข้าวที่มีสีขาวตามลำดับ

2.อัตราส่วนของแป้งข้าวกล้องเบายอดม่วงต่อคุณภาพของเอกซ์ทรูเดต

เอกซ์ทรูเดตที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณภาพของเอกซ์ทรูเดตได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ปริมาณน้ำอิสระของเอกซ์ทรูเดตมีค่าอยู่ระหว่าง 0.42 – 0.47 ที่สัดส่วนของแป้งข้าวกล้องเบายอดม่วงร้อยละ 5 - 30 ส่วนค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดตมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 8.70 – 9.30 โดยการเพิ่มสัดส่วนของแป้งข้าวกล้องเบายอดม่วงจากร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 30 ไม่ได้ส่งผลต่อค่าความชื้นของเอกซ์ทรูเดต

ค่าความแข็งมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.35 – 4.90 N โดยการเพิ่มสัดส่วนของแป้งข้าวกล้องเบายอดม่วงจะทำให้ส่งผลต่อค่าความแข็งของเอกซ์ทรูเดตเพิ่มขึ้นแต่ค่าการพองตัวลดลงจาก 1.20 เท่า เป็น 0.86 เมื่อสัดส่วนของแป้งข้าวกล้องเบายอดม่วงเพิ่มจากร้อยละ 5 เป็น ร้อยละ 30 สุนันทาและมาโนชญ์ (2546) อธิบายว่า เอกซ์ทรูเดตที่มีการขยายตัวมากที่สุดจะมีความต้องการแรงกดแตกต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเอกซ์ทรูเดตมีลักษณะที่มีโพรงอากาศขนาดใหญ่จึงมีช่องว่างอยู่ภายในโครงสร้างมาก และเมื่อทำการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าอัตราการขยายตัวกับแรงกดแตก พบว่า มีความสัมพันธ์กันในเชิงตรงข้าม คือ เมื่อเอกซ์ทรูเดตมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นแรงที่ต้องการใช้ในการกดให้เอกซ์ทรูเดตแตกหักจะมีค่าลดลง

ค่าสี L* และ b* มีค่าลดลงจาก 73.73 เป็น 65.51 และ 35.84 เป็น 32.02 ตามลำดับ แต่ a* เพิ่มขึ้นจาก 6.62 เป็น 9.06 เมื่อสัดส่วนของแป้งข้าวกล้องเบายอดม่วงเพิ่มขึ้น ค่าสีของเอกซ์ทรูเดตมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคโดยในกระบวนการเอกซ์ทรูชันมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นซึ่งส่งผลต่อค่าสี คือ การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและปฏิกิริยาคาราเมลรวมทั้งการเสื่อมสลายของอนุภาคสีซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้จะไปทำให้ค่า L*, a* และ b* ลดลง (Dalbhagat *et al.*, 2019)

อัตราการพองตัวมีค่าสูงสุดที่สัดส่วนของแป้งข้าวเบายอดม่วงร้อยละ 5 และไม่มีความแตกต่างกับที่สัดส่วนร้อยละ 10 เมื่อสัดส่วนแป้งข้าวกล้องเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการพองตัวลดลง ดังนั้นที่สัดส่วนร้อยละ 10 ของแป้งข้าวกล้องเบายอดม่วงจึงถูกเลือกไปใช้ในการทดลองต่อไป

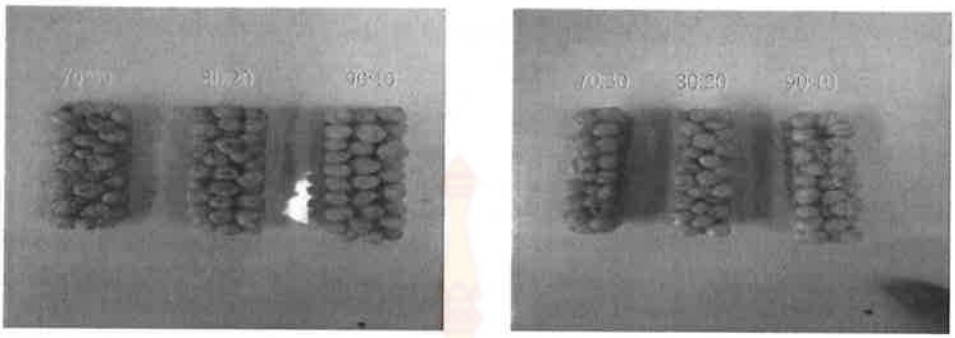
ตารางที่ 7 สัดส่วนของแป้งข้าวกล้องพื้นเมืองต่อคุณภาพเอกซ์ทรูเดต

Parameters	Brown rice flour (%)				
	5	10	15	20	30
Water activity	0.42±0.01^{d}	0.47±0.00^{a}	0.44±0.00^{c}	0.45±0.00^{b}	0.42±0.01^{d}
Moisture (%)	8.70 ± 0.95^{ns}	9.07± 0.25^{ns}	8.93±0.15^{ns}	9.07±0.15^{ns}	9.30±0.20^{ns}
Hardness (N)	2.35±0.32^{e}	3.01±0.88^{d}	3.42±0.26^{c}	4.52±0.11^{b}	4.90±0.08^{a}
Color L*	73.73±0.01^{a}	70.19±0.27^{b}	70.53±0.04^{c}	67.48±0.15^{d}	65.51±0.07^{e}
a*	6.62±0.07^{e}	7.04±0.03^{d}	7.52±0.04^{c}	8.41±0.03^{b}	9.06±0.03^{a}
b*	35.84±0.21^{a}	35.11±0.044^{b}	34.70±0.03^{c}	34.27±0.16^{d}	32.02±0.10^{e}
Expansion ratio	1.20± 0.09^{a}	1.19± 0.03^{a}	0.99± 0.02^{b}	0.96± 0.01^{b}	0.86± 0.01^{c}

Remark: means followed by same superscripts within a row are not significantly different (P > 0.05)

3.ผลของส่วนผสมหลักและรองต่อคุณภาพขนมเคี้ยวชนิดแท่งรสต้มยำ

ผลจากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งรสต้มยำจากผลของส่วนผสมหลักต่อส่วนผสมรอง พบว่า ค่า water activity และปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.34 – 0.36 และ 7.24 – 7.36 ตามลำดับ ค่า water activity (a_w) มีค่าต่ำกว่า 0.60 นั้นแสดงให้เห็นว่าขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งรสต้มเป็นอาหารประเภทของแห้ง การที่มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.60 นั้น เป็นช่วงที่ปลอดภัยจากการ เจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (Rattanapanone, 2008) การเพิ่มสัดส่วนของส่วนผสมหลักจะทำให้ค่าความแข็งและค่า L* (ความสว่าง) เพิ่มขึ้น ส่วนค่า a* (ค่าสีแดง) และ b* (ค่าสีเหลือง) มีค่าลดลง (ตารางที่ 8)



รูปที่ 8 ลักษณะปรากฏของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากส่วนประกอบหลักและรองต่างๆ

ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากส่วนประกอบหลักและรองต่างๆ

Ratio of Major to minor ingredient	Physical properties					
	Hardness (N)	Water activity	Moisture content	Color L*	a*	b*
70:30	1.74±0.06^{c}	0.36±0.00^{a}	7.37±0.03^{a}	62.08±0.09^{a}	11.23±0.07^{a}	40.20±0.03^{a}
80:20	2.58±0.06^{b}	0.35±0.01^{b}	7.33±0.02^{a}	64.58±0.23^{b}	9.84±0.12^{b}	38.80±0.77^{b}
90:10	3.14±0.10^{a}	0.34±0.00^{c}	7.24±0.06^{b}	67.09±0.13^{c}	9.36±0.03^{c}	37.70±0.44^{c}

Remark: means followed by same superscripts within a column are not significantly different ($P > 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งรสต้มยำจากผลของส่วนผสมหลักต่อส่วนผสมรอง พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับในปริมาณส่วนผสมหลักและรอง 70:30 80:20 และ 90:10 ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม อัตราส่วนที่ได้รับการยอมรับคืออัตราส่วน 70:30 (ตารางที่ 9) จากข้อเสนอแนะจากผู้ทดสอบชิมด้านควรปรับปรุงเพิ่มเครื่องต้มยำให้มากกว่าเดิม และใช้การต้มมากกว่าการผัด ลักษณะอื่น ๆ เช่น ลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัสอยู่ในเกณฑ์พอดีไม่ต้องปรับปรุง

ตารางที่ 9 การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดย 9 – point Hedonic scale จากส่วนประกอบหลักและรองต่างๆ

Ratio of Major to minor ingredient	Characteristic					
	Appearance	Color	Odor	Taste	Texture	Acceptability
70:30	7.53±0.78[a]	7.73±0.52[a]	7.60±0.67[a]	7.73±0.74[a]	7.30±0.59[a]	7.63±0.61[a]
80:20	6.27±0.91[b]	6.50±0.82[b]	6.17±0.91[b]	5.87±1.25[b]	5.70±0.79[b]	5.93±0.94[b]
90:10	5.67±0.76[c]	5.67±0.96[c]	5.27±0.94[c]	5.30±1.21[c]	5.10±0.66[c]	5.27±0.78[c]

Remark: means followed by same superscripts within a column are not significantly different ($P > 0.05$)

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย (Conclusion) และข้อเสนอแนะ (Suggestion)

1.องค์ประกอบทางกายภาพของข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ (3 สายพันธุ์) มีค่าสี L* (ความสว่าง) อยู่ระหว่าง 58.76 – 72.55 ค่า a* (สีแดง) อยู่ระหว่าง 4.63 – 8.48 และค่า b* (สีเหลือง) อยู่ระหว่าง 13.13 – 14.54 ส่วนองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย เถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 1.70 – 1.89, 2.98 – 4.94, 8.60 – 12.10, 7.44 – 8.89 และ 74.11 – 76.38 ตามลำดับ และค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 14.62 – 31.07 และ 0.75 – 2.76 mg GAE/g DW ตามลำดับ

2.ปริมาณของแป้งข้าวกล้องเบายอดม่วงส่งผลต่อคุณภาพของเอกซ์ทรูเดตโดยการเพิ่มปริมาณของแป้งข้าวกล้องเบายอดม่วงจะทำให้ค่าความแข็งและ a* เพิ่มขึ้น แต่ค่า L*, b* และ อัตราการพองตัวลดลง ส่วนค่าความชื้นไม่มีความแตกต่าง สัดส่วนของส่วนผสมหลักและส่วนผสมรองส่งผลต่อคุณลักษณะของขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งรสต้มยำโดยการเพิ่มส่วนผสมหลักจะทำให้ค่าการยอมรับ a* และ b* ลดลง แต่ค่าความแข็งและ L* เพิ่มขึ้น ที่สัดส่วนร้อยละ 10 ของแป้งข้าวกล้องเบายอดม่วงเหมาะสมที่จะผลิตเอกซ์ทรูเดตและส่วนผสมหลักและรองที่อัตราส่วน 70 : 30 เหมาะสมที่สุดต่อการผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง ดังนั้นข้าวกล้องเบายอดม่วงมีศักยภาพในการนำมาผลิตขนมขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อผู้บริโภค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เอกสารอ้างอิง

กมลวรรณ แจ้งชัด. 2541. การแปรรูปโดยวิธีเอกซ์ทรูชัน. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร 9(2): 4-8.

งามชื่น คงเสรี. 2546. ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.จุฬาลักษณ์ จารุนุช. 2550. ขนมขบเคี้ยวจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์. วารสารอาหาร 37(3): 211-222.

จุฬาลักษณ์ จารุนุช. 2550. ขนมขบเคี้ยวจากเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์. อาหาร 37 (3) :211-214.

เชาวนีพร ชีพประสพ, ฤทัยทิพย์ อโนมุณีและหาสันต์ สาเหล็ม. 2560. องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณอะไมโลสในข้าวพันธุ์พื้นเมือง จังหวัดพัทลุง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 7(2): 84 – 97.

ญาติกา โยธา. 2552. การสกัดสารแอนติออกซิแดนท์จากเปลือกแก้วมังกรโดยใช้คลื่นอัลตร้าซาวด์เสริม. ปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ดวงพร ภู่ผะกา. 2559. ความหลากหลายของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและอาหารสุขภาพของจังหวัดฉะเชิงเทรา. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 44(3): 566 – 578.

นิพัทธา ชาติสุวรรณและวริพัสย์ อารีกุล. มปป. พารามิเตอร์สี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพฯ.

ธรณิศร กลิ่นภักดี. 2553. ไทยรัฐออนไลน์. แหล่งที่มา: http://www.thairath.co.th/content/edu/62581.

น้ำทิพย์ กุหลาบ. 2548. การพัฒนาข้าวกล้องหอมมะลิชนิดแท่งผสมเนยถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปานทิพย์ ผดุงศิลป์ พิพัฒน์กมล ชนะสิทธิ์ และจักราวุธ ภู่แสม. 2555. การพัฒนาและแปรรูปแป้งข้าวสังข์หยดในผลิตภัณฑ์ขนมเกลียว. *ใน* รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร.

ประภัสสร เจริญกิจ. 2555. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองจากข้าวกล้องสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ปรุงหน้าด้วยปลาทูแขกหยองโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟในการทำแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

บุญหงส์ จงคิด. 2547. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มาลี แซ่ว้าง, จริยา เกตุศรีรักษ์ และ อภัสรา สามสาลี. 2556. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างชนิดแท่งจากถั่วเหลืองรสต้มยำ. มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม, กรุงเทพ ฯ

รุจิรา ปรีชา. 2556. ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องอัดแท่ง. น. 278-284. *ใน* รายงานการประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 30.

วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

สมชาย จอมทอง, สถิระ หิรัญ, วรางคณา เตมียะและอัจฉรา เทียมภักดี. 2553. ผลของการเสริมบัวบกต่อคุณภาพของอาหารขบเคี้ยวที่ผลิตจากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์. *ใน* รายงานวิจัย คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุนันทา ทองทา,มาโนชญ์ สุธีรวัฒนานนท์. 2546. ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเอ็กซ์ทรูชั่นของข้าวกล้อง. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี:นครราชสีมา.

สัญชัย ยอดมณี. 2552. คุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพัทลุง. 2549. การพัฒนาการผลิตข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง. แหล่งที่มา: http://www.Tainst.com/Products/tzero.html: 14 มิถุนายน 2555.

สำราญ สมาธิ. 2560. ข้าวตรัง. พิมพ์ครั้งที่ 1. ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.ออฟเซ็ท กราฟฟิคดีไซน์ กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว : วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีการอาหารคณะอุตสาหกรรม เกษตร.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อัญชนา เจนวิถีสุข. 2544. การตรวจหาและบ่งชี้ชนิดสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้านและสมุนไพรไทย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อิทธิพร แก้วเพ็ง. ม.ป.ป. ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวด้วยกระบวนการอัดพอง. *ใน* รายงานวิจัย คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

อุไรวรรณ วัฒนกุล ชุตินุช สุจริต และนพรัตน์ วงศ์หิรัญเดชา. ม.ป.ป. คุณค่าทางโภชนาการบางประการในข้าวหมากจากข้าวสังข์หยดพัทลุง. *ใน* รายงานการประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.

โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุณยะรัตน์, และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. 2549. สารต้านอนุมูล อิสระ. นนทบุรี: พี.เอส.พริ้นท์.

Abubakar, B., Yakasai, H.M., Zawawi, N. and Ismail, M. 2018. Composition analyses of white, brown and germinated forms of popular Malaysian rice to offer insight into the growing diet-related diseases. Journal of Food and Drug Analysis, 26: 706 – 715.

A.O.A.C. 2000. Official methods of analysis. Association of official analytical chemist. 17th ed. Gaitherburg, Maryland, U.S.A.

Banchuen, J., P. Thammarutwasik, B. Ooraikul, P. Wuttijumnong and P. Sirivongpaisal. 2009. Effect of germinating processes on bioactive component of SangyodMuang Phatthalung rice. Thai Journal of Agricultural Science 42(4): 191-199.

Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technology 28: 25-30.

Chanlat, N., S. Songsermpong, C. Charunuch, and O. Naivikul, 2011. Twin-Screw Extrusion of Pre-Germinated Brown Rice: Physicochemical Properties and γ-aminobutyric Acid Content (GABA) of Extruded Snacks. International Journal of Food Engineering. 7(4): 1-15.

Champagne, I.M., D.F. Wood, B.O. Juliano and D.B. Bechtel. 2004. The rice grain and its gross composition. In: Champagne, E.T. (Ed.), Rice. American Association of Cereal Chemistry, St. Paul, USA, 77-107.

Coutinho, L.S. Batista, J.E.R. Caliari, M. and Soares Junior, M.S. 2013. Optimization of extrusion variables for the production of snacks from by-products of rice and soynean. Food Science and Technology, 33(4) : 705 – 712.

Dalbhagat, C.G. Mahato, D.K. Mishra, H.N. 2019. Effect of extrusion processing on physiochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-

based products: A review. Trends in Food Science & Technology, 85: 226 – 240.

Dendy, D.A.V. and Dobraszczyk, B.J. 2001. Composite and alternative flours, Cereals and Cereal Products: Chemistry and Technology, Aspen publication, USA.

Ding, Q. B. Ainsworth, P. Plunkett, A., Tucker, G., and Marson, H. 2006. The Effect of Extrusion Conditions on the Functional and Physical Properties of Wheat-based Expanded Snacks. Journal of Food Engineering. 73: 142-148.

http://www.brrd.in.th

Juliano, B.O. 1993. Rice in human nutrition. The collaboration of the international rice research institute.

Osman, A.M. 2011. Multiple pathways of the reaction of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH$^{\bullet}$) with (+)-catechin: Evidence for the formation of a covalent adduct between DPPH$^{\bullet}$ and the oxidized form of the polyphenol. Biochemical and Biophysical Research Communications 412: 473-478.

Rattanapanone, N., Sriwattana, S., Surawang, S. and Sangsuwan, J. 2012. Value Added Fresh and Dried Longan Flesh for Health Food Products. International Conference of Food and Applied Bioscience. Chiang Mai, Thailand.

Sawaddiiwong, S., Jongjareonrak, A. and Benjakul, S. 2008. Phenolic content and antioxidant activity of germinated brown rice as affected by germination temperature and extraction solvent. In Proceedingof 34th Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok. 31 October-2 November. 2008.

Sipat, C., L. Jangchud, A. Jangchud, P. Wuttijumnong and R. Winger. 2009. Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein]glutinous rice-based snack. LWT-Food Science and Technolofy 42: 781-787.

Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent.

based products: A review. Trends in Food Science & Technology, 85: 226 – 240.

Dendy, D.A.V. and Dobraszczyk, B.J. 2001. Composite and alternative flours, Cereals and Cereal Products: Chemistry and Technology, Aspen publication, USA.

Ding, Q. B. Ainsworth, P. Plunkett, A., Tucker, G., and Marson, H. 2006. The Effect of Extrusion Conditions on the Functional and Physical Properties of Wheat-based Expanded Snacks. Journal of Food Engineering. 73: 142-148.

http://www.brrd.in.th

Juliano, B.O. 1993. Rice in human nutrition. The collaboration of the international rice research institute.

Osman, A.M. 2011. Multiple pathways of the reaction of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH$^{\bullet}$) with (+)-catechin: Evidence for the formation of a covalent adduct between DPPH$^{\bullet}$ and the oxidized form of the polyphenol. Biochemical and Biophysical Research Communications 412: 473-478.

Rattanapanone, N., Sriwattana, S., Surawang, S. and Sangsuwan, J. 2012. Value Added Fresh and Dried Longan Flesh for Health Food Products. International Conference of Food and Applied Bioscience. Chiang Mai, Thailand.

Sawaddiiwong, S., Jongjareonrak, A. and Benjakul, S. 2008. Phenolic content and antioxidant activity of germinated brown rice as affected by germination temperature and extraction solvent. In Proceedingof 34th Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok. 31 October-2 November. 2008.

Sipat, C., L. Jangchud, A. Jangchud, P. Wuttijumnong and R. Winger. 2009. Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein]glutinous rice-based snack. LWT-Food Science and Technolofy 42: 781-787.

Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent.

Method Enzymol. 299: 152–178.

Sompong, R., S. Siebenhandl-Ehn, G. Linsberger-Marin and E. Berghofer. 2011. Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. Food Chemistry 124: 132-140.

Tananuwong, K. and Tewaruth, W. 2010. Extraction and application of antioxidants from black glutinous rice. Food Science and Technology, 43: 476-481.

Verma, D.K. and Srivastav, P.P. 2017. Proximate composition, mineral content and fatty acids analyses of aromatic and non – aromatic indian rice. Rice Science, 24(1): 21 – 31.

Yodmanee, S., T.T. Karrila and P. Pakdeechanuan. 2011. Physical, chemical and antioxidant properties of pigmented rice grown in Southern Thailand. International Food Research Journal 18(3): 901-906.

Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. 2002. Composition and functional properties of rice. International Journal of Food Science and Technology 37: 849-868.

Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. 2004. The distribution of phenolic acids in rice. Food Chemistry 87: 401-406.

Zubair, M.A., Rahman, M.S., Islam, M.S., Abedin, M.Z. and Sikder, M.A. 2015. A comparative study of the proximate composition of selected rice varieties in Tangail, Bangladesh. Journal Enviromental Science and Natural Resources, 8(2): 97 – 102.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์ความชื้น Air oven medthod (A.O.A.C 2000)

อุปกรณ์

1. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
2. ตู้อบไฟฟ้า
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการทำ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 2-3 ชั่วโมงจากนั้นนำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2. กระทำเช่นข้อ 1 ซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 1-2 กรัมด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในภาชนะหาความชื้นชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

4. ปลุกซ้ำอีกครั้งครั้งละประมาณ 30 นาทีและกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสอง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

5. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

2. การวิเคราะห์ความแข็ง

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. คอมพิวเตอร์
3. เครื่องวัด Texture Analyzer
4. หัววัดรหัส P/2

วิธีการทำ

1. คลิกเข้าโปรแกรม Texture
2. คลิก by product type เพื่อเลือกประเภทชนิดของตัวอย่างที่จะทดสอบ
3. คลิกเลือกเบเกอรี่ คลิกในโหมดของ Biscuits/Cookies เลือก comparison of the hardness and fracturabilit of shortbread and ginger nut biscuit by penetrafion with a cylinder probe
4. นำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์จนเต็ม (ห้ามวางซ้อน) ทำการวิเคราะห์

3. การวิเคราะห์ Water Activity

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง
2. ถ้วยใส่ตัวอย่าง
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการทำ

1. เปิดเครื่อง โดยกดปุ่มเปิดที่อยู่บริเวณด้านหลังตัวเครื่อง
2. รอเวลานาน 30 วินาที ที่บริเวณหน้าจอจะปรากฏ A_w 0.000 และ 0.00 C
3. ดึงปุ่ม | ออกมา วางถ้วยที่มีตัวอย่างในช่องรองรับ โดยให้ตัวอย่างปกคลุมพื้นที่ส่วนล่างของถ้วยตัวอย่าง
4. ปรับปุ่ม | ไปที่อักษร Read จะปรากฏคำว่า measure
5. รอเวลา 5 นาที จะปรากฏค่าของตัวอย่าง
6. ปรับปุ่ม | ไปที่อักษร Open ดึงถ้วยใส่ตัวอย่าง

7. ใส่ถ้วยตัวอย่างใหม่และกระทำซ้ำที่ข้อ 5-7

8. เมื่อเสร็จสิ้นให้ปรับปุ่ม | ไปที่อักษร Open ดึงถ้วยใส่ตัวอย่างออกแล้วผลักให้แกนสีขาวเข้าไปในเครื่อง และกดปุ่มปิดที่อยู่บริเวณหลังของตัวเครื่อง

4. อัตราการพองตัว

อุปกรณ์

1. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
2. ตัวอย่างที่ใช้ทดลอง
3. หน้า Die

วิธีการทำ

1. นำเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดตรงหน้า Die
2. นำเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดที่ตัวอย่างคำนวณจากสูตร

$$\text{อัตราการพองตัว (เท่า)} = \frac{\text{ขนาดของตัวอย่าง}}{\text{ขนาดตัวอย่าง}}$$

5. การวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Mini Scan EZ

1. ดับเบิ้ลคลิ๊ก EZMQC เพื่อเข้าโปรแกรม EZMQC
2. คลิ๊ก Sensor เลือก Install/Confiqure
3. คลิ๊ก Add Sensor
4. เมนู Sensor Type เปลี่ยนจาก ColorFlex เป็น MiniScan EZ
5. คลิ๊ก Next
6. คลิ๊ก Finish
7. นำแผ่นเทียบสีมาตรฐานทรงกระบอกสีดำเงา มาตั้งบนเครื่อง Scan วัดค่าสี
8. คลิ๊ก Next
9. นำแผ่นเทียบสีมาตรฐานสีขาว มาตั้งบนเครื่อง Scan วัดค่าสี
10. คลิ๊ก Next
11. คลิ๊ก Finish
12. คลิ๊ก OK
13. นำตัวอย่างมาวางในจานเพลทพลาสติกโดยจะต้องวางตัวอย่างซ้อนทับกันให้ทึบแสง

- ในกรณีต้องการศึกษาลักษณะสีทั้งภายในและภายนอกของตัวอย่าง ให้นำตัวอย่างมาทำให้ละเอียดก่อนที่จะใส่จานเพลท

14. นำตัวอย่างในจานเพลทมาวางบนเครื่องวัดค่าสี

15. คลิ๊ก Read Sample เครื่องจะทำการวิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างให้อัตโนมัติ

16. ใส่ชื่อตัวอย่างที่ช่องเมนู Sample ID แล้วคลิ๊ก OK

17. ตารางแสดงผลการทดลอง ค่า L, a, b

หมายเหตุ

L = ค่าตั้งแต่ 50-100 คือสีขาวหรือค่าความสว่างหรือความใส ยิ่งค่าสูงยิ่งมีความใสมาก ค่าตั้งแต่ 50-0 คือ สีดำหรือค่าความทึบหรือความเข้ม ยิ่งค่าต่ำใกล้เลข 0 มากยิ่งมีความเข้มหรือทึบแสงมาก

a = ถ้าค่าเป็นจำนวนเต็มบวก เช่น 1,2,3,4 คือสีแดง ตัวเลขยิ่งมาก ค่าสีแดงก็จะมากขึ้น ถ้าค่าติดลบ เช่น -1,-2,-3 คือ สีเขียว ตัวเลขยิ่งติดลบมาก ค่าสีเขียวก็จะมากขึ้น

b = ถ้าค่าเป็นจำนวนเต็มบวก เช่น 1,2,3,4 คือสีเหลือง ตัวเลขยิ่งมาก ค่าสีเหลืองก็จะมากขึ้น ถ้าค่าติดลบ เช่น -1,-2,-3 คือ สีน้ำเงิน ตัวเลขยิ่งติดลบมาก ค่าสีน้ำเงินก็จะมากขึ้น

18. เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง ปิดโปรแกรมวัดค่าสี EZMQC ในหน้าจอคอมพิวเตอร์ แล้วกดปุ่ม ◀ บนเครื่องวัดสี

19. กดปุ่ม ↯ เพื่อปิดเครื่องวัดค่าสี

6.การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดเฟอรูลิก (ญาติกา, 2552)

อุปกรณ์และสารเคมี

1.สารมาตรฐานกรดเฟอรูลิก

2.สารละลายเอทานอล

3.อุปกรณ์เครื่องแก้ว

4.อุปกรณ์เครื่องชั่งตวง

5.เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

วิธีวิเคราะห์

1.ชั่งกรดเฟอรูลิกมาตรฐาน 0.5 กรัม

2.เติมเอทานอล 100 มิลลิลิตร และคนจนละลายหมด

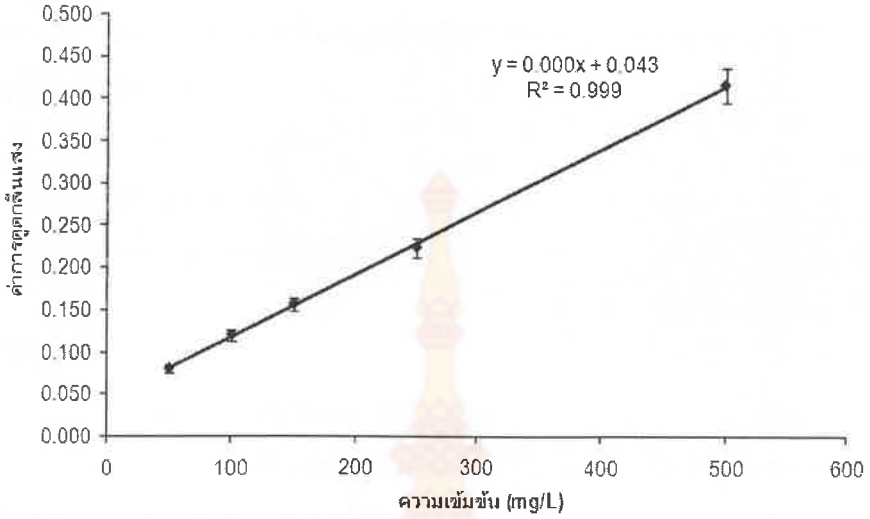
3.ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร (Stock Solution)

4.ปิเปตสารละลายมาตรฐานของกรดเฟอรูลิก (จาก Stock Solution) ปริมาตร 10 20 30 50 และ 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร

5.ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานของกรดเฟอรูลิก เข้มข้น 50 100 150 250 และ 500 มิลลิกรัม/ลิตร

6.นำสารละลายมาตรฐานของกรดเฟอรูลิกที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลด้วยวิธี Modified colorimetric Folin-ciocateuโดยวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

7.นำค่าดูดกลืนแสงที่มีความเข้มข้น 50 100 150 250 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดเฟอรูลิก ดังรูป



7.การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกจากตัวอย่างข้าวกล้องพื้นเมือง (Tananuwong *et al.*, 2010)

อุปกรณ์และสารเคมี

1.ตัวอย่างข้าวสังข์หยด

2.Folin-ciocateu reagent

3.โซเดียมคาร์บอเนต

4.อุปกรณ์เครื่องแก้ว

5.เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

วิธีวิเคราะห์

1.นำตัวอย่างสารละลายที่สกัดได้จากข้าวสังข์หยดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.เติมน้ำกลั่นปริมาตร 70 มิลลิลิตร

3. เติม Folin-ciocateu reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 7 นาที

4. เติมโซเดียมคาร์บอเนต (7.5%) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ 100 มิลลิลิตร

5.ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

6.วัดค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

8.การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) (Sompong *et al.*, 2011)

อุปกรณ์และสารเคมี

1.สารละลายเอทานอล

2.อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

วิธีวิเคราะห์

1.ปิเปตสารที่สกัดปริมาตร 300 ไมโครลิตร

2.ปิเปต DPPH ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร (วิธีการเตรียม DPPH, ชั่งสาร DPPH 4.73 มิลลิกรัม ในสารละลายเอทานอล 100 มิลลิลิตร)

3.นำมาเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 40 นาที ในห้องมืด

4.นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

5.นำค่าวัดการดูดกลืนแสงไปคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\frac{[\text{ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ควบคุม– ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง}]}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ควบคุม}} \text{X100}$$

ภาคผนวก ข การเผยแพร่ผลงานวิจัย

สุภาษิต ชูกลิ่น ธนวัตน์ทิพย์พืช และสายทิพย์แซ่แง่. 2562. ผลของอัตราส่วนแป้งข้าวกล้องพื้นเมืองภาคใต้ต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยว ที่ผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, วันที่ 3-4 ธันวาคม 2562, อำเภอกำแพงแสน, จังหวัดนครปฐม.

อบรมระยะสั้นเกษตรกร ณ มทร.ศรีวิชัย จ.นครศรีธรรมราช