การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธัญพืชแท่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการ

Product Development of Nutritious Cereal Bar

ณัฐณิชา ทวีแสง [1*] สุวิมล กะตากูล [1] และ จักรกฤช ศรีลออ [2]

Natnicha Thaweeseang [1*], Suwimon Katakul [1] and Chakkrit Sreela-or [2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของส่วนผสมและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตธัญพืชแท่ง และอายุการเก็บรักษาธัญพืชแท่ง ขั้นตอนแรกศึกษาผลของอุณหภูมิ (50 60 และ 70 องศาเซลเซียส) และเวลาในการอบแห้ง (1 2 และ 4 ชั่วโมง) ต่อคุณลักษณะด้านต่างๆ ของข้าวเหนียวดำ พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นหลังทอดและค่า a_w ต่ำสุด ($p\leq0.05$) และมีอัตราการพองตัวสูงสุด จึงเลือกข้าวพองที่สภาวะการอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ใช้ผลิตธัญพืชแท่ง จากนั้นศึกษาปริมาณกระเจี๊ยบแดง (ร้อยละ 5 10 และ 15) และกล้วยน้ำว้าอบแห้ง (ร้อยละ 5 10 และ 15) ที่เหมาะสมต่อธัญพืชแท่ง พบว่า ธัญพืชแท่งเติมกระเจี๊ยบร้อยละ 10 : กล้วยน้ำว้าอบแห้งร้อยละ 15 มีคะแนนความชอบด้าน กลิ่น ความกรอบ และความชอบโดยรวมสูงสุด ($p\leq0.05$) จึงเลือกอัตราส่วนกระเจี๊ยบแดง ร้อยละ 10 : กล้วยน้ำว้าร้อยละ 15 เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป หลังจากนั้นทำการศึกษาปริมาณน้ำฟักข้าว (ร้อยละ10 15 และ 20) และอุณหภูมิในการอบ (60 และ 70 องศาเซลเซียส) ต่อลักษณะคุณภาพด้านต่างๆ ของธัญพืชแท่ง พบว่า ธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 10 และอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีคุณลักษณะเหมาะสมที่สุดคือ มีปริมาณความชื้น ไขมัน ใยอาหาร เถ้า โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 12.20±1.41, 4.37±0.90, 2.93±0.54, 1.58±0.06, 4.90±0.70 และ74.02±1.13 ตามลำดับ ปริมาณแอนโทไซยานิน 66.60±1.02 mg/kg ปริมาณไลโคปีน

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ตำบลหนองบัว อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี 71190

[1] Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University, Nongbua, Muang, Kanchanaburi 71190, Thailand.

[2] สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

[2] Department of Agriculture, Faculty of Food and Agricultural Technology, Phibulsongkram Rajabhat University, Plaichumpol, Muang, Phitsanulok 65000, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): forest029@gmail.com Tel: 09 8315 9036 0 3453 4092

0.80±0.05mg/100 g FW และมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับ 6.33 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ธัญพืชแท่งมีค่า a_w สูงสุด ขณะที่ค่าความแข็งลดลงในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ค่า TBA ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์ราและโม้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน

คำสำคัญ: ข้าวเหนียวดำธัญพืชแท่ง, ฟักข้าว, กระเจี๊ยบ, กล้วยน้ำว้า

ABSTRACT

This current study aimed to determine the optimum ratio of each ingredients and optimum processing condition for producing cereal bar. The shelf-life of cereal bar was also investigated. Initially, effects of baking process parameters including baking temperature (50, 60 and 70 °C) and baking time (1, 2 and 4 hours) on physical and chemical qualities of black glutinous rice were studied. The result showed that black glutinous rice dried at 70 °C for 4 hours had the lowest moisture content and a_w after frying ($p \leq 0.05$) and the highest expansion. Therefore, the puffed rice drying condition at 70 °C for 4 hours was chosen and used to produce cereal bar. Sensory evaluation showed that cereal bars containing 10% roselle and 15% dried banana received the highest likability scores in terms of odor, crispness and overall preference ($p \leq 0.05$). Consequently, the proportion of 10% roselle and 15% dried banana was selected for further study. The effect of gac fruit juice level (5, 10 and 15%) and baking temperature (50, 60 and 70 °C) on the qualities of cereal bar was further examined. The cereal bar incorporated with 15% gac fruit juice and baked at 70 °C was suitable for cereal bar production. The developed cereal bar had moisture, fat, fiber, ash, protein, and carbohydrate contents as 12.20±1.41, 4.37±0.90, 2.93±0.54, 1.58±0.06, 4.90±0.70 and 74.02±1.13% respectively. In addition it contained 66.60±1.02 mg/kg anthocyanin and 0.80±0.05 mg/100g FW lycopene. Sensory evaluation showed that the cereal bar with 15% gac after baking at 70 °C had the highest likability scores in terms of overall preference. The developed cereal bar stored at room temperature exhibited the highest water activity whereas its crispness reduced throughout 30 days storage. Furthermore, TBA, total plate count and yeast mold increased throughout the storage period.

Key words: black glutinous rice, cereal bar, Gac fruit, Roselle, Pisang Awak

บทนำ

ปัจจุบันผู้คนส่วนใหญ่ใช้ชีวิตอย่างเร่งรีบ ทำงานแข่งกับเวลา ทำให้ไม่มีเวลาใส่ใจอาหารที่บริโภคเน้นที่ความสะดวก รวดเร็ว เช่น อาหารจานด่วน ได้แก่ มันฝรั่งทอด เบอร์เกอร์ และน้ำอัดลม ทำให้เกิดปัญหาสุขภาพต่างๆ เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น ผู้บริโภคจึงหันมาให้ความใส่ใจกับอาหารที่บริโภคเพิ่มมากขึ้น เริ่มหันมารับประทานผักผลไม้ธัญพืช เช่น ข้าวซ้อมมือ ถั่ว ซึ่งอุดมไปด้วยเส้นใยอาหาร วิตามิน เกลือแร่และสารต้านอนุมูลอิสระ อาหารขบเคี้ยวชนิดแท่ง (Snack bar) เป็นอาหารที่รับประทานได้ทันทีสะดวกและมีประโยชน์ต่อร่างกาย ส่วนประกอบหลัก คือ ธัญพืชชนิดต่างๆ เช่น ถั่ว งา และส่วนผสมรองคือ สารให้ความหวาน ได้แก่ กลูโคส ซูโครสไซรับ และน้ำผึ้ง เป็นต้น (วิลาสินี, 2553)

ผลิตภัณฑ์ธัญพืชชนิดแท่ง (cereal bar) เป็นรูปแบบของผลิตภัณฑ์ชนิดพองตัวชนิดหนึ่งที่ผลิตขึ้นเพื่อให้สะดวกต่อการบริโภค ส่วนผสมหลักที่ให้เป็นวัตถุดิบในทำขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง ได้แก่ ข้าว ธัญพืชชนิดต่างๆ ผลไม้อบแห้ง ส่วนผสมรองจะเป็นสารในกลุ่มที่ช่วยในการยึดเกาะ และสารช่วยเพิ่มกลิ่นรส เช่น ฟรุตโตส กลูโคสไซรับ น้ำผึ้ง เป็นต้น (กมลวรรณ และ คณะ, 2548)

ข้าวเหนียวดำอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินอี เบตาแคโรทีน ธาตุเหล็ก และยังมีสารต้านอนุมูลอิสระ คือแกมมาโอไรซานอล (Gamma oryzanol) และแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) (จรัญจิต และ สุวัฒน์, 2552) เนื่องจากผู้บริโภคให้ความสำคัญกับสุขภาพ และนิยมบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น ข้าวเหนียวดำจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้บริโภคให้ความสนใจ การนำข้าวเหนียวดำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค

ฟักข้าว มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng เป็นพืชสมุนไพรท้องถิ่นที่พบในแถบตะวันออกเฉียงใต้ฟักข้าวเป็นพืชประเภทไม้เถา เลื้อยพันไปตามต้นไม้อื่น (วิภัทรา, 2550) ในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งไลโคปีนมีปริมาณสูงถึง 408 μg/g ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Vuong, 2006) และสามารถลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งปอด และมะเร็งกระเพาะอาหารเป็นต้น

กระเจี๊ยบแดงเป็นพืชสมุนไพร มีสรรพคุณช่วยย่อยอาหารและเสมหะ ขับปัสสาวะ ใช้เป็นยาบำรุงธาตุ และยาระบาย กลีบเลี้ยงสีแดง มีสารกลุ่มแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) (ภูมรัตน์, 2552) ในอุตสาหกรรมอาหารได้นำกระเจี๊ยบแดงมาใช้ประโยชน์หลากหลาย เช่น การผลิตเครื่องดื่ม เยลลี่ ซอส และ ไวน์ เป็นต้น

กล้วยน้ำว้าเป็นกล้วยที่นิยมบริโภคในประเทศไทย กล้วยน้ำว้าห่ามและสุกมีธาตุเหล็กในปริมาณสูง ช่วยสร้างเม็ดเลือดแดง ป้องกันโรคโลหิตจาง มีแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินซี ช่วยบำรุงกระดูก ฟัน และเหงือกให้แข็งแรง ช่วยให้ผิวพรรณดี มีเบต้าแคโรทีน ไนอาซีนและใยอาหาร ช่วยให้ระบบขับถ่ายคล่องขึ้น

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ธัญพืชแท่งโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของส่วนผสมและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตธัญพืชแท่งโดยใช้ข้าวเหนียวดำ ฟักข้าว กล้วยน้ำว้า และกระเจี๊ยบแดง รวมทั้งศึกษาอายุการเก็บรักษาธัญพืชแท่งที่ได้

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมวัตถุดิบ

เตรียมวัตถุดิบต่างๆ ตามวิธีการดังนี้

1.1 งาขาว เตรียมโดยนำไปคั่วในกระทะ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสจนกระทั่ง เมล็ดมีความพองตัวและมีกลิ่นหอม

1.2 ถั่วเหลือง เตรียมโดยแช่น้ำ 3-4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาต้มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาทีพักไว้ให้สะเด็ดน้ำ

1.3 ลูกเดือย เตรียมโดยแช่น้ำ 3-4 ชั่วโมง นำไปต้มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาทีจากนั้นนำไปพักไว้ให้สะเด็ดน้ำ

1.4 ข้าวโพด เตรียมโดยนำข้าวโพดมาแกะออกเป็นเมล็ดๆ จากนั้นนำไปต้มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาทีทิ้งให้สะเด็ดน้ำ

1.5 กล้วยน้ำว้า เตรียมโดยเลือกกล้วยน้ำว้าที่เปลือกเริ่มเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลือง นำมาหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.5×0.5 เซ็นติเมตร จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 6 ชั่วโมง

1.6 กระเจี๊ยบแดง เตรียมโดยนำกระเจี๊ยบแดงสดมาล้างทำความสะอาด ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ

1.7 ฟักข้าว เตรียมโดยนำฟักข้าวสุกมาล้างให้สะอาด แยกเยื่อหุ้มเมล็ดและควักเนื้อของผลออกนำมาปั่นรวมกัน ประมาณ 5 นาที เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการทอลองต่อไป

1.8 ข้าวเหนียวดำเตรียมโดยนำข้าวเหนียวดำแช่น้ำข้ามคืน นำมานึ่งให้สุก ใช้เวลาประมาณ 30-45 นาที จากนั้นนำข้าวเหนียวดำมาแช่แข็งเป็นเวลา 4-6 ชั่วโมงเพื่อทำให้ข้าวเหนียวดำแยกกันเป็นเมล็ดๆสำหรับทำการทดลองต่อไป

2. ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งต่อการพองตัวของข้าวเหนียวดำ

นำข้าวเหนียวดำที่เตรียมไว้มาอบที่อุณหภูมิต่างๆ ในการทดลองขั้นนี้กำหนดตัวแปรที่ใช้ศึกษา 2 ตัวแปร คือ ตัวแปรที่ 1 อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตัวแปรที่ 2 เวลา 3 ระดับ คือ 1 2 และ 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทอดที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส เวลา 5 วินาที นำมาวิเคราะห์ ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005) อัตราการพองตัว (ดัดแปลงมาจาก วิลาสินี, 2553) และ ค่า water activity (a_w)

การทดลองศึกษาส่วนนี้วางแผนการทดลองแบบ 3×3 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 21 โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test

3. ศึกษาอัตราส่วน และสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมในการผลิตธัญพืชแท่ง

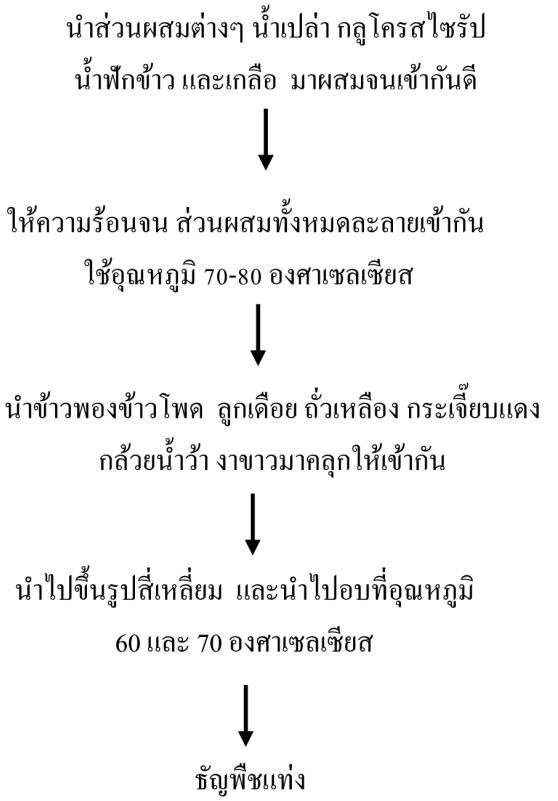
3.1 ศึกษาปริมาณ กระเจี๊ยบแดง และกล้วยน้ำว้าอบแห้งต่อลักษณะคุณภาพของธัญพืชแท่ง

กำหนดตัวแปรที่ศึกษา 2 ตัวแปร ดังนี้ ตัวแปรที่ 1 ปริมาณกระเจี๊ยบแดงร้อยละ 5 10 และ 15 ตัวแปรที่ 2 ปริมาณกล้วยน้ำว้าอบแห้ง 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยใช้ข้าวพองที่เลือกได้จากข้อ 2.2 และส่วนประกอบอื่นๆ ที่เตรียมไว้แล้วสำหรับขั้นตอนการทำผลิตธัญพืชแท่งแสดงดังภาพที่ 1 จากนั้นนำไปขึ้นรูปให้เป็นแท่ง นำธัญพืชชนิดแท่งไปทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบความชอบของผู้ทดสอบชิม ใช้ผู้ทดสอบชิมประเภททั่วไป 40 คน ใช้วิธี 9 point hedonic scale test

3.2 ศึกษาปริมาณฟักข้าวและอุณหภูมิในการอบแห้งต่อลักษณะคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของธัญพืชแท่ง

นำธัญพืชชนิดแท่งที่เลือกได้จากข้อ 3.3.1 มาศึกษาปริมาณน้ำฟักข้าว 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 10 และ 15 และอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ คือ วัดค่าสีในรูปของ ค่า L* a* b* ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab วัดปริมาณความชื้น (AOAC, 2005) ปริมาณเถ้า (AOAC, 2005) ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2005) ปริมาณใยอาหาร (AOAC, 2000) แอนโทไซยานิน (AOAC, 2005) ปริมาณไลโคปีน โดยวิธี Kimura method (Nagata and Yamashita, 1992) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของธัญพืชแท่ง โดยใช้ผู้ทดสอบชิมประเภทผู้ทดสอบทั่วไป 40 คนด้วยวิธี 9 point hedonic scale

การวิเคราะห์ด้านกายภาพและเคมี วางแผนการทดลองแบบ 3×2 Factorial in Completely Randomized Design (CRD)สำหรับการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบชิม วางแผนการทดลองแบบ 3×2 Factorial in Randomized Completely Block Design (RCBD) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 21 โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตธัญพืชแท่ง
ที่มา: ดัดแปลงจาก วิมลศิริ (2539)

4. ศึกษาอายุการเก็บรักษาของธัญพืชแท่ง

นำธัญพืชชนิดแท่งที่ได้จากข้อ 3.3.2 มาศึกษาอายุการเก็บรักษาโดยบรรจุในถุงพลาสติกชนิด Polypropyleneและเก็บที่อุณหภูมิห้อง (≈39 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 วัน ทำการสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพทุกๆ 10 วัน โดยวัดค่าสีในรูปของค่า L* a* b* ด้วยเครื่องวัดสี Hunter วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture Analyzer รุ่น TA.XT Express Enhanced วัดค่า water activity (a_w) การเหม็นหืนโดยการวัดปริมาณ Thiobarbituric acid (mg malonaldehyde /1kg) (Pearson, 1973) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000) ยีสต์และรา (AOAC, 2000)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งต่อการพองตัวของข้าวเหนียวดำ

นำข้าวเหนียวดำที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง มาทอดที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส เวลา 5 วินาที จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งทำให้ปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวดำก่อนทอด หลังทอด และค่า a_w หลังทอดลดลง ($p\leq0.05$) ตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นก่อนทอด หลังทอด และค่า a_w ต่ำสุด คือ 5.30±0.00 0.64±0.07 และ 0.1105±0.00 ($p\leq0.05$) ตามลำดับ Mellema (2003) รายงานว่าเมื่อทอดอาหารในน้ำมันร้อนที่มีปริมาณมาก จนท่วมชิ้นอาหารอุณหภูมิในการทอดสูงกว่าจุดเดือดของน้ำมีผลทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำจะระเหยออกกลายเป็นไอทำให้ปริมาณความชื้นลดลง สำหรับอัตราการพองตัวของข้าวเหนียวดำ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งมีแนวโน้มทำให้อัตราการพองตัวของข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้น ข้าวเหนียวดำอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง มีอัตราการพองตัวสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับข้าวเหนียวดำอบแห้งอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ($p>0.05$) อัตราการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นก่อนทอดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปิยพร (2553) ซึ่งรายงานว่าผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดพองจากแป้งข้าวกล้องและแป้งข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการอบในสภาวะที่มีปัจจัยกระบวนการอบแตกต่างกัน มีอัตราการพองตัวที่แตกต่างกัน ($p\leq0.05$) เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการอบเพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มสูงขึ้น ($p\leq0.05$) การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีผลทำให้อัตราการพองตัวมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์

2. การศึกษาอัตราส่วน และสภาวะการอบแห้งต่อคุณภาพของธัญพืชแท่ง

จากการนำข้าวพองที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่งโมง มาผลิตเป็นธัญพืชแท่ง โดยศึกษาปริมาณกระเจี๊ยบแดง 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 10 และ 15 และปริมาณกล้วยน้ำว้าอบแห้ง 3 ระดับ คือ 5 10 และ 15 จากนั้นนำธัญพืชแท่งไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ (ผลการทดลองในส่วนนี้ไม่ได้นำเสนอ) พบว่าคะแนนความชอบด้าน กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวมมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยสูตรที่ 6 (กระเจี๊ยบร้อยละ 10 : กล้วยน้ำว้าร้อยละ 15) มีคะแนนความชอบด้านกลิ่น ความกรอบ และความชอบโดยรวมสูงสุดเป็น 6.28±1.51, 6.75±1.99 และ 6.93±1.32 ตามลำดับ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกธัญพืชแท่งสูตรที่ 6 เพื่อใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้นก่อนและหลังทอด และค่า water activity (a_w) หลังทอดของข้าวเหนียวดำอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสที่เวลาต่างกัน

ชั่วโมง : อุณหภูมิ	ปริมาณความชื้นก่อนทอด (%)	ปริมาณความชื้นหลังทอด (%)	ค่า a_w หลังทอด	อัตราการพองตัว (เท่า)
1:50	17.95±0.69^{a}	3.97±0.08^{c}	0.4013±0.00^{a}	1.41±0.24^{c}
1:60	11.66±0.10^{b}	3.21±0.10^{d}	0.4013±0.00^{a}	1.58±0.01^{c}
1:70	9.79±0.33^{bcd}	2.09±0.07^{e}	0.2460±0.01^{c}	1.34±0.26^{c}
2:50	17.33±0.13^{a}	5.12±0.06^{a}	0.3913±0.01^{a}	2.05±0.17^{b}
2:60	11.12±3.51^{bc}	2.09±0.08^{e}	0.2584±0.01^{c}	2.36±0.01^{ab}
2:70	8.03±0.10^{def}	1.20±0.01^{f}	0.1858±0.00^{d}	2.55±0.00^{a}
4:50	8.97±0.06^{cde}	4.46±0.01^{b}	0.3293±0.01^{b}	1.43±0.01^{c}
4:60	6.86±0.05^{ef}	0.88±0.12^{g}	0.1787±0.01^{d}	2.56±0.13^{a}
4:70	5.30±0.00^{f}	0.64±0.07^{h}	0.1105±0.00^{e}	2.52±0.02^{a}

a, b…ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการนำธัญพืชแท่งสูตรที่ 6 มาเติมน้ำฟักข้าวปริมาณ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 5 10 และ 15 และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำธัญพืชแท่งมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำฟักข้าวมีผลทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และการเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งทำให้ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 15 อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นสูงสุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ต่ำและการเติมน้ำฟักข้าวในธัญพืชแท่งเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำให้กับผลิตภัณฑ์ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่า a_w ซึ่งพบว่าค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำฟักข้าวที่เพิ่มขึ้นและค่า a_w ของธัญพืชแท่งที่เติมฟักข้าวน้ำร้อยละ 5 มีค่าต่ำสุด ($p \leq 0.05$) ปริมาณแอนโทไซยานินของธัญพืชแท่งลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น ธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 5 อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง ทำให้แอนโทไซยานินถูกทำลายได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hou *et al*. (2013) ที่รายงานว่าความคงตัวของแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิและค่า pH ซึ่งปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวสีดำจะถูกทำลายไปอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิ และค่า pH เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 100 องศาเซลเซียส และค่า pH 5 ส่วนปริมาณไลโคปีนพบว่าธัญพืชแท่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 10 มีปริมาณไลโคนปีนสูงสุด ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 5 และธัญพืชแท่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 5 และ 10 Nhung *et al*. (2010) รายงานว่าปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนในน้ำมันฟักข้าวถูกทำลายอย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง (40 และ 60 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวระดับต่างๆ พบว่าธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 15 มีปริมาณความชื้นสูงสุดคือร้อยละ 13.81±1.23 (p≤0.05) ธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 10 มีปริมาณโปรตีนสูงสุด (p≤0.05) และธัญพืชแท่งที่เติมฟักข้าวทั้ง 3 ระดับมีปริมาณ ไขมัน ใยอาหาร และเถ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) สำหรับองค์ประกอบของข้าวเหนียวดำที่ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์นั้น ดำเนิน และ คณะ (2545) ได้รายงานปริมาณสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในข้าวเหนียวดำ 100 กรัม พบว่ามีปริมาณความชื้น 12 กรัม โปรตีน 7-8 กรัม ไขมัน 1.50-2.50 กรัม เถ้า 1.00-1.50 กรัม เส้นใย 0.90-1.00 กรัม และ คาร์โบไฮเดรต 75-80 กรัม

จากตารางที่ 4 พบว่า ธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 5 10 และ 15 มีค่า ความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ซึ่งค่าความเป็นสีแดง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำฟักข้าวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dehghan-Shoar *et al*. (2010) รายงานว่าปริมาณไลโคปีนมีผลต่อค่าความเป็นสีแดงของขนมขบเคี้ยวแบบอัดพอง ทำให้ขนมขบเคี้ยวแบบอัดพองที่เติมมะเขือเทศมีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น

จากการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส (ตารางที่ 5) พบว่า ธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 5 10 และ 15 มีคะแนนความชอบด้าน สี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

จากผลการศึกษาปริมาณน้ำฟักข้าวและอุณหภูมิในการอบต่อลักษณะคุณภาพด้านต่างๆ ของธัญพืชแท่ง ผู้วิจัยจึงได้เลือกธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 10 และอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจาก มีค่า a_wต่ำ มีปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณไลโคปีนสูงกว่าการเติมน้ำฟักข้าวร้อยละ 15 และมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับ 6.33 เพื่อใช้ในการศึกษาอายุการเก็บของธัญพืชแท่ง

ตารางที่ 2 คุณภาพด้านต่างๆ ของธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวระดับต่างๆ และอบที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำฟักข้าว (%)	ปริมาณความชื้น (%)	ค่า a_w	ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/kg)	ปริมาณไลโคปีน (mg/100 g FW)
60	5	12.94±0.93^{b}	0.5082±0.03^{c}	111.79±4.86^{a}	0.95±0.21^{a}
	10	15.34±4.09^{b}	0.5889±0.06^{ab}	88.61±2.26^{b}	1.03±0.17^{a}
	15	21.52±2.90^{a}	0.5876±0.01^{ab}	76.13±2.26^{c}	0.56±0.18^{b}
70	5	9.64±1.46^{b}	0.5021±0.03^{c}	52.10±0.32^{e}	0.75±0.01^{ab}
	10	11.75±1.14^{b}	0.5124±0.01^{bc}	66.60±1.02^{d}	0.80±0.05^{ab}
	15	11.75±1.39^{b}	0.5964±0.02^{a}	47.98±1.22^{e}	0.52±0.03^{b}

a, b…ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวระดับต่างๆ

ปริมาณน้ำฟักข้าว (%)	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	เส้นใยอาหาร (%)	เถ้า (%)	โปรตีน (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)
5	10.98±0.99^{b}	3.82±0.31^{a}	3.63±1.18^{a}	1.59±0.05^{a}	7.44±0.99^{a}	72.30±0.56^{ab}
10	12.20±1.41^{ab}	4.37±0.90^{a}	2.93±0.54^{a}	1.58±0.06^{a}	4.90±0.70^{b}	74.02±1.13^{a}
15	13.81±1.23^{a}	4.73±1.12^{a}	3.75±0.81^{a}	1.68±0.11^{a}	5.91±0.92^{ab}	68.62±4.72^{b}

a, b…ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 4 ค่าสีของธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวระดับต่างๆ

ปริมาณน้ำฟักข้าว (%)	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเป็นสีแดง (a*)	ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)
5	33.12±2.33^{a}	6.46±1.39^{a}	15.07±3.52^{a}
10	32.55±3.52^{a}	6.95±0.49^{a}	14.07±2.77^{a}
15	31.97±2.33^{a}	7.68±0.67^{a}	15.29±2.62^{a}

a, b…ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 5 คะแนนความชอบที่ผู้ทดสอบชิมมีต่อลักษณะต่างๆ ของธัญพืชแท่งที่เติมน้ำฟักข้าวที่ระดับต่างๆ

ปริมาณน้ำฟักข้าว (%)	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
5	6.39±1.43^{a}	6.09±1.44^{a}	6.53±1.70^{a}	5.95±1.79^{a}	6.60±1.50^{a}
10	6.25±1.40^{a}	5.88±1.73^{ab}	6.21±1.94^{ab}	5.28±1.79^{b}	6.33±1.71^{ab}
15	6.08±1.65^{a}	5.55±1.69^{b}	6.04±1.77^{a}	5.11±1.82^{b}	5.99±1.53^{b}

a, b…ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

3. การศึกษาอายุการเก็บของธัญพืชแท่ง

นำธัญพืชชนิดแท่งที่ได้จากการคัดเลือกสูตรและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมมาศึกษาอายุการเก็บโดยเก็บในสภาวะปกติที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน และในระหว่างการเก็บรักษา ทำการสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพทุกๆ 10 วัน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 6

จากตารางที่ 6 พบว่าธัญพืชแท่งมีค่า a_w เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น ที่การเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 วัน ตัวอย่างมีค่า a_w สูงสุด ($p\leq0.05$) ค่าความแข็งลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ($p\leq0.05$) และค่า TBA ของธัญพืชแท่งเก็บวันที่ 0 ถึงวันที่ 30 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่ม

ส่วนปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์รา ไม่พบการเจริญในวันที่ 0 พบการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์ราในวันที่ 10 และ 20 ตามลำดับและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากธัญพืชแท่งมีค่า a_w เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะกับการเจริญของจุลินทรีย์และทำให้ค่า TBA เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้น การเกิดออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้น จึงให้ธัญพืชแท่งเกิดการเหม็นหืนเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ นอกจากนั้นยังทำให้ค่าความแข็งธัญพืชแท่งลดลงเนื่องจากธัญพืชแท่งดูดซับความชื้นในระหว่างเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกัญวณา (2551) ซึ่งศึกษาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ธัญพืชชนิดแท่งในสภาวะปกติและสูญญากาศนาน 60 วัน พบว่าค่าการเหม็นหืนเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และยังพบว่าในสภาวะปกติมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเริ่มต้นมีค่า 1.9×10^3 cfu/g เมื่อครบกำหนด 60 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่า 7.0×10^3 cfu/g สำหรับค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บ 30 วัน (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ของธัญพืชแท่งที่ระยะเวลาการเก็บ 30 วัน

วัน	ค่า a_w	ค่าความแข็ง Hardness (g_f)	ค่า TBA (mg mal./kg)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	ปริมาณยีสต์รา (cfu/g)
0	0.5080±0.00^{c}	1158.64±0.00^{a}	0.0866±0.03^{a}	ไม่พบ	ไม่พบ
10	0.5619±0.00^{b}	878.86±0.00^{b}	0.1478±0.07^{a}	17.5±3.53^{a}	ไม่พบ
20	0.5666±0.00^{b}	808.76±0.00^{bc}	0.1985±0.09^{a}	20±14.14^{a}	22.5±3.53^{a}
30	0.5814±0.00^{a}	618.02±0.00^{c}	0.2409±0.06^{a}	30±21.22^{a}	27.5±2.53^{a}

a, b…ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 ค่าสีของธัญพืชแท่งที่ระยะเวลาการเก็บ 30 วัน

วัน	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเป็นสีแดง (a*)	ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)
0	28.10±0.20^{a}	8.49±0.04^{a}	11.70±0.31^{a}
10	31.34±5.36^{a}	9.16±1.85^{a}	14.09±3.92^{a}
20	28.90±2.87^{a}	8.29±0.05^{a}	12.26±1.55^{a}
30	29.02±2.85^{a}	8.45±0.85^{a}	12.23±2.48^{a}

a, b…ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สรุป

ข้าวเหนียวดำอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นต่ำสุด เมื่อนำไปทอดมีปริมาณความชื้นและค่า a_w ต่ำสุด ทำให้ข้าวเหนียวดำมีอัตราการพองตัวดี ปริมาณกระเจี๊ยบร้อยละ 10 กล้วยน้ำว้าอบแห้งร้อยละ 15 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับผลิตธัญพืชแท่ง การใช้น้ำฟักข้าวร้อยละ 10 และอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสทำให้ธัญพืชแท่งมีคุณลักษณะด้านต่างๆ ที่เหมาะสมส่วนการเก็บรักษาธัญพืชแท่งในสภาวะปกติที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วัน ตัวอย่างมีค่า a_w และค่า TBA เพิ่มขึ้น และค่าความแข็งลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น และตรวจพบการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์ราในวันที่ 10 และ 20 จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้การสนับสนุนและสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กัญวณา ศรีสุข. 2551. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ธัญพืชชนิดแท่ง. การค้นคว้าแบบอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กมลวรรณ แจ้งชัด, อนุวัตร แจ้งชัด และ ประชา บุญญสิริกูล. 2548. การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวชนิดแท่งจากข้าวกล้องและผลไม้แห้ง, น. 578-585. *ใน* **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2548 (สาขาสัตว์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร).** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จรัญจิต เพ็งรัตน์ และ สุวัฒน์ เจียระคงมั่น. 2552. "ข้าวเหนียวดำ" หลากประโยชน์หลายแนวคิดเสริมเศรษฐกิจไทยสู่สากล, น. 352-342. *ใน* **การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2552 กรมการข้าว.** สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, กรุงเทพฯ.

ปิยพร เลิศธนะแสงธรรม. 2553. การสร้างแบบจำลองของกระบวนการอบผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดพองจากฟลาวข้าวกล้องและฟลาวข้าวเหนียวดำ. การศึกษาค้นคว้าอิสระสาขาวิชาเอกพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภุมรัตน์ ลาวิณห์. 2552. การพัฒนาโยเกิร์ตกระเจี๊ยบแดงเสริมโพรไบโอติก. การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเองปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วิภัทรา ศุภะจินดา. 2550. การพัฒนาและประเมินผลทางคลินิกของสารสกัดมาตรฐานผลฟักข้าว. การศึกษาโดยอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.

วิมลศิริ ธนะสูติ. 2539. การพัฒนาอาหารเช้าสำเร็จรูปแบบชนิดแท่ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุสาหกรรมเกษตรภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิลาสินี ดีปัญญา. 2553. **รายงานการวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ธัญพืชอัดแท่งเพื่อพัฒนาชุมชน อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์**. คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International, (17thed.).** The Association of official analytical chemists, Washington DC, USA.

AOAC. 2005. **Official methods of analysis of AOAC international, (18th ed.).** The Association of official analytical chemists, Washington DC, USA.

Dehghan-Shoar, Z., Hardacre, A.K. and Brennan, C.S. 2010. The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. **Food Chemistry** 123: 1117-1122.

Hou, Z., Qin, P., Zhang, Y., Cui, S. and Ren, G. 2013. Identification of anthocyanins isolated from black rice (*Oryza sativa* L.) and their degradation kinetics. **Food Research International** 50: 691-697.

Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. **Trends in Food Science and Technology** 14(9): 364-373.

Nagata, M. and Yamashita, I. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **Journal of Japanese Society of Food Science and Technology** 39: 925-926.

Nhung, D.T.T., Bung, P.N., Ha, N.T. and Phong, T.K. 2010. Changes in lycopene and beta carotene contents in aril and oil of gac fruit during storage. **Food Chemistry** 121: 326-331.

Pearson, D. 1973. **Laboratory Techniques in Food Analysis.** Butteriioorths, London.

Vuong, L.T., Franke, A.A., Custer, L.J. and Murphy, S.P. 2006. *Momordica cochinchinensis* Spreng. (gac) fruit carotenoids reevaluated. **Journal of Food Composition and Analysis** 19: 664–668.