# สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการงอกของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ข้าวอบพอง

# Optimal Condition for Glutinous Brown Rice 'RD6' Germination and Application in Puffed Rice Snack Products

**ณัฐฌา เหล่ากุลดิลก[1*] สุวนันท์ คำปัน[1] ธัญเรศ พรมอินทร์[1] นภาพันธ์ โชคอำนวยพร[2] และ นันทินา ดำรงวัฒนกูล[1]**

Natcha Laokuldilok[1*], Suwanan Khumpan[1], Thanyaras Prom-in[1], Napapan Chokumnoyporn[2] and Nanthina Damrongwattanagool[1]

*[1]สาขาวิชานวัตกรรมและธุรกิจอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จ.ลำปาง 52100*

*[1]Division of Food Innovation and Business, Faculty of Agricultural Technology, Lampang Rajabhat University, Lampang 52100, Thailand*

*[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50100*

*[2]Division of Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100, Thailand*

**Corresponding author: Email: nutcha@lpru.ac.th*

*(Received: 30 October 2017; Accepted: 22 January 2018)*

**Abstract:** This research studied the optimal conditions for glutinous brown rice germination (RD6 cultivar) in order to develop healthy puffed rice snack. Brown rice was soaked in solution with different pH values *i.e.* pH 4, 5, 6 and 7 for 6 hours. The results showed that brown rice soaked in solution with pH 6 had the highest content of gamma aminobutyric acid (GABA). The optimal soaking and incubation time were then studied. The 3x2 factorial in CRD was employed with 3 levels of soaking time *i.e.* 3, 6 and 9 hours and 2 levels of incubation times *i.e.* 12 and 24 hours. The optimal condition for soaking and incubation rice was 9 and 24 hours, respectively which provided the highest content of reducing sugar and GABA. For puffed rice snack production, the germinated glutinous brown rice was ground before gelatinization under steam. The gelatinized rice was then made as a flat sheet before chilling at 5 $^{\circ}$C. The chilling time was studied by varying between 36 - 72 hours. The results showed that expansion ratio and degree determined by volume ratio were decreased when the chilling time increased ($P \leq 0.05$). However, the sensory scores (9-point hedonic scale) for appearance, hardness, crispness and overall liking were not significantly different ($P > 0.05$). Thus, the chilling time for 36 hours was selected as it provided the shortest processing time. The developed puffed rice was tested for the consumer acceptance (n=60) using 9-point hedonic scale. The results showed that the liking scores for all attributes were in the range of 6.4 - 7.4 with 322.05 mg of GABA content /kg sample.

**Keywords:** Germinated glutinous brown rice, GABA, puffed rice



Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

**บทคัดย่อ**: งานวิจัยนี้ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับงอกข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข6 เพื่อนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบพองจากข้าวเหนียวกล้องงอก ทำการแช่ข้าวเหนียวกล้องในน้ำที่ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง 4 ระดับ ได้แก่ pH 4, 5, 6 และ 7 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า ข้าวที่ผ่านการแช่ในน้ำที่มีค่า pH เท่ากับ 6 มีปริมาณสารกาบา (GABA) สูงสุด จากนั้นทำการศึกษาระยะเวลาในการแช่และบ่มข้าว โดยวางแผนการทดลองแบบ 3x2 factorial in CRD กำหนดให้ระยะเวลาในการแช่ข้าวเท่ากับ 3, 6 และ 9 ชั่วโมง ระยะเวลาในการบ่มข้าวเท่ากับ 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ การแช่ข้าวกล้องเป็นเวลา 9 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยข้าวกล้องที่ได้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และสารกาบาสูงสุด ในขั้นตอนการผลิตข้าวอบพอง ทำการบดข้าวกล้องงอกให้เป็นผงแล้วนำไปนึ่งด้วยไอน้ำให้เกิดการเจลาทิไนเซชัน จากนั้นจึงนำไปรีดให้เป็นแผ่นแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยผันแปรระยะเวลาในการแช่เย็นระหว่าง 36 ถึง 72 ชั่วโมง จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการพองตัวและการขยายตัวเชิงปริมาตรมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการแช่เย็นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic) ด้านลักษณะปรากฏ ความแข็ง ความกรอบ และความชอบโดยรวม มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จึงเลือกใช้ระยะเวลาในการแช่เย็นเท่ากับ 36 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นที่สุดสำหรับการผลิต เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้ไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 60 คน พบว่า มีคะแนนความชอบสำหรับทุกคุณลักษณะอยู่ระหว่าง 6.4-7.4 และมีปริมาณสารกาบาเท่ากับ 322.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

**คำสำคัญ**: ข้าวเหนียวกล้องงอก สารกาบา ขนมอบพองจากข้าว

## คำนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวเหนียวมากที่สุดในอาเซียนหรือคิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 16 ล้านไร่ โดยผลผลิตข้าวเหนียวประมาณร้อยละ 94 ใช้สำหรับบริโภคภายในประเทศ ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 6 ของผลผลิตทั้งหมดหรือ ประมาณสองแสนตันต่อปีจะถูกส่งออกไปขายตลาดต่างประเทศ เช่น จีน เกาหลี มาเลเซีย ไต้หวัน และสหรัฐอเมริกา (อรวรรณ และทัตพิชา, 2557) นับเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวเหนียวมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก อย่างไรก็ตาม สถานการณ์ข้าวในตลาดโลกมีการแข่งขันกันอย่างรุนแรง ทั้งด้านราคาและคุณภาพ โดยเฉพาะการส่งออกข้าวของประเทศเพื่อนบ้าน ได้แก่ เวียดนามที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังมีราคาจำหน่ายต่ำกว่า ประกอบกับการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนที่ทำให้มาตรการด้านภาษีถูกขจัดไป ส่งผลกระทบต่อการส่งออกของไทยและการไหลเข้าของข้าวเหนียวราคาถูกจากประเทศเพื่อนบ้านโดยเฉพาะสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงเป็นแรงผลักดันให้ประเทศไทยต้องปรับปรุงและพัฒนาทั้งด้านคุณภาพและกระบวนการผลิต รวมทั้งการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าข้าว

ในภาคของการเกษตรแปรรูป ซึ่งนับเป็นภาคส่วนสำคัญที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตทางการเกษตร ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น รวมถึงเกิดการสร้างงานให้แก่ประชาชนในท้องถิ่นตลอดจนการส่งออกผลิตภัณฑ์ไปจำหน่ายยังต่างประเทศและนำเงินตราเข้าสู่ประเทศ จากการสำรวจมูลค่าตลาดของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป พบว่า ผลิตภัณฑ์ประเภทขนมขบเคี้ยว เป็นสินค้าที่มีศักยภาพในการเติบโตค่อนข้างสูง มีรายงานว่าคนไทยบริโภคขนมขบเคี้ยวเฉลี่ย 1.39 กิโลกรัม/คน/ปี โดยในปี พ.ศ. 2560 คาดว่ามูลค่าตลาดภายในประเทศสูงกว่า 42,000 ล้านบาท ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2559 ที่มีมูลค่าตลาดเท่ากับ 39,587 ล้านบาท (ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรม, 2560) อย่างไรก็ตาม กระแสการบริโภคอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายก็มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ

ข้าวเหนียวได้ถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวหลายชนิด อาทิเช่น ข้าวแต๋น แครกเกอร์ ซึ่งในกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวประเภทอบพอง พบว่า ชนิดและสายพันธุ์ข้าวมีผลต่อการพองตัว รูปร่าง

และลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ การใช้ข้าวเจ้าหอมมะลิทดแทนการใช้ข้าวเหนียวในผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบมีผลทำให้การพองตัวลดลง เนื่องจากการผสมข้าวเจ้าหอมมะลิมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนสูงขึ้น โดยโปรตีนขัดขวางการเกิดเจลาทิไนซ์ของสตาร์ชและทำให้ได้เจลที่มีความหนืดต่ำ อีกทั้งทำให้ยากต่อการขึ้นรูปแผ่นแป้งเนื่องจากการเกาะตัวของแป้งลดลง (จิตติมณฑน์ และคณะ, 2556) สำหรับผลผลิตข้าว เมื่อเปรียบเทียบคุณประโยชน์ของข้าวขัดขาวและข้าวกล้องพบว่า ข้าวกล้องมีเยื่อหุ้มเมล็ด (bran layer) และเอ็มบริโอ (embryo) ซึ่งประกอบด้วยสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ ใยอาหาร (dietary fibre) แกมมา-ออริซานอล (γ-oryzanol) วิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ และยังสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้นด้วยการเพาะงอก โดยกระบวนการเพาะงอก (germination) เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ภายในเมล็ดข้าว ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ทำให้เอนไซม์แอมิเลส (amylase) ทำงาน ซึ่งสารที่โมเลกุลใหญ่ ได้แก่ สตาร์ช (starch) จะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดสารสำคัญชนิดใหม่ คือ สารกาบา (gamma-aminobutyric acid; GABA) ซึ่งเป็นกรดแอมิโนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein amino acid) เป็นสารสื่อประสาทประเภทยับยั้ง (inhibitor neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง ช่วยรักษาสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้น ทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายนอนหลับสบาย (Petroff, 2002) อีกทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง (Oh and Oh, 2004) รวมถึงป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์ (Mamiya *et al*., 2004)

อย่างไรก็ตาม พบว่า มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการงอกของข้าว ได้แก่ สายพันธุ์ (รัชนี และสุรพงษ์, 2555) ระยะเวลาในการงอก (จักรพงษ์ และคณะ, 2554) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิในการงอก (อรพิน และคณะ, 2556) สำหรับงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการงอกข้าว ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ใช้แช่ข้าว ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่และระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มข้าว ซึ่งเมื่อได้วัตถุดิบข้าวกล้องงอกแล้ว จึงนำไปผลิตขนมขบเคี้ยวชนิดแผ่นโดยใช้กรรมวิธีการอบด้วยความร้อนสูงในการทำให้พองแทนกรรมวิธีการทอด ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ

## อุปกรณ์และวิธีการ

ข้าวเหนียวที่ใช้ในการทดลองนี้ เพาะปลูกในพื้นที่อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง ทำการเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2559 โดยข้าวกล้องที่นำมาเพาะงอกจะต้องผ่านการกะเทาะเปลือกไม่เกิน 2 สัปดาห์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

**ตอนที่ 1 การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมต่อการงอกข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข6**

ศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของสารละลายที่ใช้แช่ข้าว โดยดัดแปลงตามวิธีการของชนิษฎา (2553) นำข้าวกล้องที่ผ่านการกะเทาะเปลือกมาคัดเลือกเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์และแตกหักออกไป ล้างและทำความสะอาดโดยนำไปแช่ใน peroxyacetic acid เข้มข้น 500 ppm เป็นเวลา 15 นาที ล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วแช่ข้าวในสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4, 5 และ 6 และในสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนข้าว 200 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำข้าวเหนียวกล้องที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ในสภาวะสุญญากาศ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของข้าวกล้องงอก จะนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งไปบดละเอียด แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- วิเคราะห์ปริมาณกาบา (gamma aminobutyric acid; GABA) ตามวิธีของศุภนุช (2554) โดยนำสารสกัดไปปฏิกิริยากับ 9-fluorenylmethyl chloroformate (FMOC) และวิเคราะห์ปริมาณกาบาด้วย HPLC ด้วยใช้คอลัมน์ symmetry reverse-phase C18 (5 μm; 4.6 x 250 mm) ใช้ฟลูออเรสเซ็นต์เป็นตัวตรวจวัด ความยาวคลื่นกระตุ้น ($\lambda_{excited}$) 263 นาโนเมตร และความยาวคลื่นกระจาย ($\lambda_{emission}$) 313 นาโนเมตร ฉีดตัวอย่างอนุพันธ์ของกรด

อะมิโนที่สกัดได้ปริมาตร 10 ไมโครลิตร สภาวะในการวิเคราะห์มีการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารตัวพาตลอดเวลา (gradient elution) โดยใช้สารตัวพา 2 ชนิด คือ 20 mM ammonium dihydrogen orthophosphate in 15% (v/v) methanol และ 90% (v/v) acetonitrile in water สารกาบาที่แยกได้จาก HPLC เปรียบเทียบจากค่า retention time (RT) และหาปริมาณโดยเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟกับสารละลายกาบามาตรฐาน

- วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสโดยการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตามวิธีการของ Nelson (1944)
- วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ค่าสี L* a* และ b* (Konica Minolta, CR300, Japan)
- ค่า water activity ($a_w$) (AquaLab 4TE, USA)

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน และหากสิ่งทดลองมีความแตกต่าง ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

**ตอนที่ 2 การศึกษาระยะเวลาในการแช่และระยะเวลาในการบ่มที่เหมาะสมต่อการงอกข้าวกล้องพันธุ์ กข6**

เมื่อได้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการงอกข้าวจากตอนที่ 1 แล้ว จากนั้นจึงศึกษาระยะเวลาในการแช่และระยะเวลาในการบ่มที่เหมาะสม โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial) 3x2 ในแผนการแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ระยะเวลาในการแช่ข้าว 3 ระดับคือ 3, 6 และ 9 ชั่วโมง และระยะเวลาในการบ่ม 2 ระดับคือ 12 และ 24 ชั่วโมง โดยให้ข้าวเหนียวกล้องที่ไม่ได้งอกเป็นตัวอย่างควบคุม ทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยเมื่อแช่ข้าวเหนียวกล้องตามระยะเวลาที่กำหนดแล้ว จึงนำข้าวเหนียวกล้องมาบ่มโดยใช้ผ้าขาวบางห่อเก็บในกล่องพลาสติก เพาะในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ทำการล้างน้ำสะอาดทุก 6 ชั่วโมง เพื่อลดกลิ่นหมักที่เกิดจากจุลินทรีย์ในระหว่างการบ่มข้าว เมื่อบ่มข้าวตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วจึงนำข้าวเหนียวกล้องที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ในสภาวะสุญญากาศ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของข้าวกล้องงอก จะนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดหยาบ โดยตัวอย่างจะนำไปวิเคราะห์คุณภาพเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1

**ตอนที่ 3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเหนียวกล้องงอก**

**3.1 การศึกษาปริมาณความชื้นของแผ่นข้าวแห้งที่เหมาะสมต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์**

นำข้าวกล้องงอกที่ได้จากตอนที่ 2 มาผลิตขนมขบเคี้ยว โดยมีกระบวนการผลิตดังนี้ บดข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องบดแบบค้อน (hammer mill) ผ่านรูตะแกรงขนาด 0.1 มิลลิเมตร นำแป้งข้าวกล้องงอกมาผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วน 100 กรัมต่อน้ำ 200 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันแล้วนำไปนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 15 นาที นำเจลแป้งสุกที่ได้มารีดเป็นแผ่นหนา 2 มิลลิเมตรด้วยเครื่องรีดบะหมี่ จากนั้นจึงนำไปแช่เย็น (อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส) โดยผันแปรระยะเวลาที่ใช้ในการแช่เท่ากับ 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมง จากนั้นนำมาตัดเป็นแผ่นขนาด 2x2 เซนติเมตร แล้วนำไปอบพองโดยควบคุมสภาวะที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ค่า water activity ($a_w$) (AquaLab 4TE, USA)
- อัตราการพอง (expansion degree) โดยการนำแผ่นข้าวก่อนและหลังอบพองมาวัดความหนาเฉลี่ยด้วยไมโครมิเตอร์ (ผลิตภัณฑ์ 1 แผ่นจะทำการวัด 4 ตำแหน่งระยะห่างเท่า ๆ กัน) แล้วรายงานผลในรูปของอัตราส่วนระหว่างความหนาของแผ่นข้าวหลังอบพองต่อความหนาของแผ่นข้าวก่อนอบพอง
- ค่าการขยายตัวเชิงปริมาตร (volume expansion ratio) โดยการนำแผ่นแป้งก่อนและหลังอบพองมาหาปริมาตรด้วยการแทนที่ด้วยเมล็ดงา แล้วรายงานผลในรูปของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของแผ่นข้าวหลังและก่อนอบพอง

- ค่าความหนาแน่น (bulk density) ตามวิธีของ Mir *et al*. (2016) โดยคำนวณตามความสัมพันธ์ระหว่างมวล (m) ต่อปริมาตร (ml) โดยวิธีการชั่งน้ำหนักและการแทนที่ปริมาตรด้วยเมล็ดงา
- วัดค่าความแข็ง (hardness) และความกรอบ (crispness) โดยใช้เครื่อง texture analyzer (TAXT2)
- การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ ความแข็ง ความกรอบ และความชอบโดยรวม โดยใช้วิธีให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) ด้วยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

### 3.2 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเหนียวกล้องงอก

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเหนียวกล้องงอกที่เหมาะสมมาศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 60 คน โดยใช้วิธีให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 ด้านลักษณะปรากฏ ความแข็ง ความกรอบ และความชอบโดยรวม และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (โดยประมาณ) และปริมาณกาบาด้วยเครื่อง HPLC

## ผลการทดลองและวิจารณ์

ตารางที่ 1 แสดงค่าสี ปริมาณความชื้น ค่า $a_w$ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณกาบาของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 5, 6 และ 7

ค่าสี L* a* และ b* ของข้าวเหนียวกล้องงอกที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 4, 5, 6 และ 7 แสดงในตารางที่ 1 โดยเมื่อแช่ข้าวเหนียวกล้องในสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกัน ค่าความสว่าง ($L^*$) และค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว ($a^*$) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 75.06-75.72 และ 2.12-2.35 ตามลำดับ คือ มีทิศทางเป็นสีแดงเล็กน้อยและค่อนไปทางสว่าง อย่างไรก็ตาม ระดับ pH ของสารละลายที่ใช้แช่ข้าวส่งผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (b*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยเมื่อแช่ข้าวในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (pH ลดลง) ส่งผลให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีค่าความเป็นสีเหลืองลดลง ทั้งนี้ ในระหว่างการแช่ข้าวในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidins) โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถยับยั้งได้เมื่อลดค่า pH ให้ต่ำลง เช่น ที่ค่า pH เท่ากับ 3 น้ำตาลจะมีคงตัวมากที่สุดในรูป pyranose hemiacetal ring และเมื่อ pH สูงขึ้น น้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นรูป reactive acyclic aldehyde ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยารวมตัวกันระหว่างน้ำตาลและเอมีนได้อย่างรวดเร็ว (นิธิยา, 2558) ดังนั้น การที่ค่า pH ในสารละลายที่ใช้แช่ข้าวลดลง จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดช้าลง ความเข้มของสีเหลืองในเมล็ดข้าวก็จะมีค่าลดลง

ข้าวเหนียวกล้องงอกหลังจากผ่านการทำแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 9.02-10.32 และมีค่า $a_w$ อยู่ระหว่าง 0.407-0.466 นอกจากนี้ การแช่ข้าวในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวกล้องงอกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) จากตารางที่ 1 พบว่า

Table 1. Physical and chemical properties[1] of germinated brown rice at different pH values

| pH level | Colour value | | | Moisture content (% on wet basis) | Water activity ($a_w$) | Reducing sugar content (mg/kg) | GABA content (mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | L* | a* | b* | | | | |
| pH 4 | 75.54 ± 0.87$^{ns}$ | 2.12 ± 0.28$^{ns}$ | 14.19 ± 0.21$^{b}$ | 9.02 ± 0.95$^{b}$ | 0.407 ± 0.000$^{ns}$ | 164.22 ± 7.80$^{a}$ | 23.25 ± 0.36$^{b}$ |
| pH 5 | 75.86 ± 0.18 | 2.16 ± 0.01 | 14.43 ± 0.11$^{ab}$ | 9.38 ± 0.48$^{b}$ | 0.415 ± 0.030 | 94.74 ± 0.77$^{b}$ | 19.21 ± 0.67$^{b}$ |
| pH 6 | 75.06 ± 0.48 | 2.18 ± 0.12 | 14.75 ± 0.03$^{a}$ | 9.43 ± 0.99$^{b}$ | 0.419 ± 0.000 | 85.57 ± 6.38$^{b}$ | 28.70 ± 0.05$^{a}$ |
| pH 7 | 75.72 ± 0.07 | 2.35 ± 0.13 | 14.80 ± 0.19$^{a}$ | 10.32 ± 0.28$^{a}$ | 0.466 ± 0.030 | 73.10 ± 9.33$^{b}$ | 21.33 ±3.05$^{b}$ |

[1] Two replications

Mean values ± SD followed by different letters in each column were significantly different ($P\leq0.05$)

ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 4 จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 164.22 ppm และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะมีค่าลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ในระหว่างกระบวนการงอกจะเกิดการย่อยสลายสารอาหารต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ภายในเมล็ดข้าวเพื่อใช้เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในระหว่างการงอกเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ภายในเมล็ดหลังจากได้รับความชื้นและมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม โดยการทำงานเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (alpha-amylase) จะทำให้เกิดการย่อยสตาร์ชเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล (Saman *et al*., 2008) เช่น กลูโคส มอลโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ โดยผลของการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวยังทำให้ปริมาณแอมิโลสในข้าวกล้องลดลง ซึ่งหากรับประทานในรูปแบบของข้าวหุงสุกจะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและมีการเกาะติดกันระหว่างเมล็ดมากกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการงอก อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาการหุงต้มลงได้ (Jiamyangyuen and Ooraikul, 2008) Tian *et al*. (2010) รายงานว่า การงอกในสภาวะที่เป็นกรดจะสามารถเร่งการย่อยสตาร์ชให้เป็นน้ำตาลได้ดีกว่าเนื่องจากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด และจากงานวิจัยของ Charoenthaikij *et al*. (2009) ได้เปรียบเทียบการงอกข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข6 ในสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 3 5 และ 7 พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 3 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งสูงที่สุดเท่ากับ 755.42 มิลลิกรัม/100 กรัม

เมื่อพิจารณาผลของความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้แช่ข้าวกล้องต่อปริมาณกาบาพบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 6 จะมีปริมาณกาบาสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 28.70 ppm สอดคล้องกับการทดลองของอรพิน และคณะ (2556) ที่รายงานว่า เมื่อแช่ข้าวดอกมะลิ 105 ในสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 6 จะให้ปริมาณกาบาสูงกว่าเมื่อแช่ในสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 4 โดยในสภาวะที่ปรับให้เป็นกรดเล็กน้อยจะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ glutamate decarboxylase (GAD) ทำให้เปลี่ยนกรดกลูตามิคไปเป็นกาบา Satyanarayan and Nair (1985) รายงานว่า ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ GAD มีค่าอยู่ระหว่าง 3.8-7.0 ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับแหล่งของเอนไซม์ จากงานวิจัยของ Saikusa *et al*. (1994) พบว่า ค่า pH ของสารละลายที่เหมาะสมที่ใช้แช่ข้าวมีค่าเท่ากับ 5.6 โดยเมื่อค่า pH ของสารละลายเพิ่มขึ้นเท่ากับ 8 จะส่งผลให้ปริมาณกาบาลดลง เนื่องจากที่ค่า pH ดังกล่าว เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ transaminase ที่เร่งให้กาบาเปลี่ยนไปเป็น succinic semialdehyde (Bouché and Fromm, 2004) อย่างไรก็ตาม การแช่ข้าวกล้องในสารละลายเป็นเวลานาน อาจส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟินอลลิกที่สามารถละลายได้ (soluble phenolic compounds) มีค่าน้อยลง Tian *et al*. (2004) รายงานว่า สารประกอบฟีนอลลิกที่สามารถละลายได้ที่พบในข้าวประกอบด้วยกรดฟีนอลลิกอิสระและ hydroxycinnamate sucrose esters โดยมี ferulic acid, feruloylsucrose และ sinapoylsucrose เป็นสารประกอบฟีนอลลิกที่พบมากที่สุดในกลุ่มนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารดังกล่าวในข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก พบว่า feruloylsucrose และ sinapoylsucrose มีปริมาณลดลงประมาณร้อยละ 70 หลังจากนำข้าวกล้องไปผ่านกระบวนการงอก แต่ปริมาณ ferulic acid มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.48 มิลลิกรัม/แป้งข้าว 100 กรัม เปรียบเทียบกับข้าวกล้องธรรมดาที่มีค่าเท่ากับ 0.32 มิลลิกรัม/แป้งข้าว 100 กรัม อย่างไรก็ตาม พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกที่ไม่สามารถละลายได้ (insoluble phenolic compounds) ที่เกาะตรึงอยู่บริเวณผนังเซลล์ของพืชมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากนำข้าวไปผ่านกระบวนการงอก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระหว่างการงอกข้าวจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดหรือด่างขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลายที่ใช้แช่ข้าว ทำให้ผนังเซลล์บางส่วนถูกย่อยและส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกในรูปอิสระเพิ่มมากขึ้น สำหรับการทดลองนี้ ได้พิจารณาปริมาณสารกาบาที่วิเคราะห์ได้เป็นปัจจัยหลัก จึงเลือกระดับ pH เท่ากับ 6 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข6 เนื่องจากให้ปริมาณสารกาบาสูงสุด

เมื่อได้ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับแช่ข้าวแล้ว จึงทำการศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวและบ่มข้าวที่เหมาะสม จากการวางแผนการทดลองแบบ 3x2 Factorial

ได้ทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง ตารางที่ 2 แสดงอิทธิพลของปัจจัยหลัก (main effect) คือ ระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของข้าวกล้องงอก จากตารางพบว่าเมื่องอกข้าวในสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 6 เป็นเวลา 3 6 และ 9 ชั่วโมง ไม่ส่งผลต่อค่าสี L* a* และ b* รวมถึงปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และปริมาณสารกาบาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05) อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการแช่ข้าวส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq$0.05) โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวนานขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Charoenthaikij *et al*. (2009) โดยก่อนกระบวนการงอก เมล็ดธัญพืชมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพียงเล็กน้อย เนื่องจากน้ำตาลที่ถูกลำเลียงสู่เมล็ดจะเปลี่ยนเป็นสตาร์ชเพื่อทำหน้าที่สะสมอาหาร แต่ในระหว่างการงอก สตาร์ชและกลุ่มน้ำตาลเชิงซ้อน (พอลิแซคคาไรด์) จะถูกย่อยให้มีโมเลกุลเล็กลง ซึ่งกระบวนการแช่เมล็ดข้าวในน้ำจะกระตุ้นให้เอนไซม์ทำงาน โดยเอนไซม์หลักที่สำคัญ คือ เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ที่เข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของแป้งตรงตำแหน่งพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคสิดิกแบบสุ่มจากภายใน โดยในช่วงแรกของกระบวนการงอก เอนไซม์หลักที่ทำหน้าที่ไฮโดรไลซิสโมเลกุลของสตาร์ชคือ เอนไซม์เบต้า-แอมิเลส ซึ่งจะย่อยตรงตำแหน่งพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคสิดิกจากตำแหน่ง non-reducing end เข้ามาทีละ 2 โมเลกุล ทำให้ได้น้ำตาลมอลโตส ส่วนเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสจะทำงานในช่วงท้ายของกระบวนการงอก (Cho and Lim, 2016)

ตารางที่ 3 แสดงอิทธิพลของปัจจัยหลัก คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก จากตารางพบว่า ระยะเวลาการบ่มข้าวหลังจากแช่น้ำไม่มีผลต่อค่าสี L*, a*, b* และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P$>0.05) แต่เมื่อบ่มข้าวเป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของข้าวกล้องงอกหลังทำแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq$0.05) โดยปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 8.69 ถึง 12.08 สอดคล้องกับมาตรฐานสินค้าเกษตรข้าวกล้องงอก (มกษ. 4003-2555) ที่กำหนดความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555) จากผลการทดลองยังพบว่า การบ่มข้าวที่ระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้มีปริมาณกาบาสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq$0.05) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Komatsuzaki *et al*. (2007) ได้ทำการแช่ข้าวสายพันธุ์ Haiminori ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มในกล่องพลาสติกเป็นเวลา 21 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณกรดกลูตามิค

Table 2. Physical and chemical properties[1] of germinated brown rice at different soaking time

| Soaking time (h) | Colour value L* | Colour value a* | Colour value b* | Moisture content (% on wet basis) | Water activity ($a_w$) | Reducing sugar content (mg/kg) | GABA content (mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 73.88 ± 0.77$^{ns}$ | 2.28 ± 0.38$^{ns}$ | 15.99 ± 0.27$^{ns}$ | 10.91 ± 2.93$^{ns}$ | 0.565 ± 0.040$^{ns}$ | 91.91 ± 11.11$^{b}$ | 196.36 ± 13.28$^{ns}$ |
| 6 | 72.89 ± 0.58 | 2.39 ± 0.44 | 16.02 ± 0.30 | 10.27 ± 2.16 | 0.553 ± 0.020 | 128.29 ± 46.07$^{ab}$ | 220.14 ± 130.78 |
| 9 | 73.16 ± 0.00 | 2.33 ± 0.12 | 16.58 ± 0.33 | 10.16 ± 1.83 | 0.561 ± 0.020 | 178.11 ± 46.56$^{a}$ | 274.46 ± 126.13 |

[1] Two replications

Mean values ± SD followed by different letters in each column were significantly different ($P\leq$0.05)

Table 3. Physical and chemical properties[1] of germinated brown rice at different incubation time

| Incubation time (h) | Colour value L* | Colour value a* | Colour value b* | Moisture content (% on wet basis) | Water activity ($a_w$) | Reducing sugar content (mg/kg) | GABA content (mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 73.35 ± 0.98$^{ns}$ | 2.38 ± 0.35$^{ns}$ | 16.14 ± 0.58$^{ns}$ | 8.69 ± 0.18$^{b}$ | 0.540 ± 0.010$^{b}$ | 107.11 ± 37.22$^{ns}$ | 140.72 ± 42.67$^{b}$ |
| 24 | 73.27 ± 0.08$^{ns}$ | 2.29 ± 0.23$^{ns}$ | 16.26 ± 0.08$^{ns}$ | 12.08 ± 0.80$^{a}$ | 0.589 ± 0.010$^{a}$ | 158.44 ± 51.75$^{ns}$ | 320.41 ± 83.97$^{a}$ |

[1] Two replications

Mean values ± SD followed by different letters in each column were significantly different ($P\leq$0.05)

และสารกาบามีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องมาจากกรดกลูตามิกสังเคราะห์จากกระบวนการทำงานของเอนไซม์ glutamate synthase-glutamine synthetase (GOGAT-GS pathway) ในสภาวะที่ไม่มีอากาศ ซึ่งกรดกลูตามิกมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสะสมสารกาบาและอะมิโนชนิดอะลานิน และยังมีรายงานว่า สารกาบามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อพืชตอบสนองต่อความเครียด เช่น สภาวะที่มีออกซิเจนน้อย (Roberts *et al*., 1984) สภาวะเย็นจัด และในความมืด (Servaites *et al*., 1979)

ตารางที่ 4 แสดงค่าคุณภาพข้าวกล้องงอกทั้ง 6 สิ่งทดลองจากอิทธิพลร่วม (interaction effect) ระหว่างระยะเวลาในการแช่และบ่มข้าว โดยพบว่า ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มต่อเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง จะมีค่าความสว่าง (L*) สูง แต่จะมีค่าความเป็นสีแดงถึงสีเขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน (b*) ต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีน้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ทำให้การเกิดสีน้ำตาลลดลง

เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 6 สิ่งทดลอง พบว่า ตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 9 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มต่อเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และสารกาบาสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) ดังนั้น จึงเลือกสภาวะดังกล่าวสำหรับเพาะงอกข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และใช้ในการพัฒนาขนมขบเคี้ยวต่อไป

กระบวนการผลิตข้าวพองประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ 1) การเจลาติไนซ์เซชันของสตาร์ช 2) การทำให้สตาร์ชเย็นตัวลง 3) การทำแห้ง และ 4) การทำให้พอง โดยในกระบวนการเจลาติไนซ์เซชันเป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่สารละลายสตาร์ช ทำให้เม็ดสตาร์ชค่อย ๆ ดูดน้ำและพองตัวออก (swell) และมีแอมิโลสส่วนที่ละลายได้ในน้ำหลุดออกมา ทำให้ได้สารละลายที่มีลักษณะข้น (paste) ต่อมาในขั้นตอนการทำให้เย็นตัวลงจะทำให้เกิดกระบวนการรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือเกิดการเคลื่อนที่กลับมารวมตัวกันของโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพคติน และขับน้ำออกจากโมเลกุล ทำให้แผ่นแป้งมีลักษณะเป็นเจลแข็ง ทรงรูป จากนั้นจึงทำการลดปริมาณความชื้นของแผ่นข้าว โดยหากแผ่นข้าวแห้งมีปริมาณความชื้นไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ เช่น มีลักษณะแข็ง ไม่กรอบ ดังนั้น ค่าปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของแผ่นข้าวแห้งจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวพองในการทดลองนี้ หลังจากนึ่งสารละลายน้ำแป้งด้วยไอน้ำจนได้เจลแป้งแล้ว จะทำการคนให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโพรงอากาศในผลิตภัณฑ์ จากนั้นจึงนำมารีดเป็นแผ่นบาง 2 มิลลิเมตร ตัดเป็นแผ่น (2x2 เซนติเมตร) แล้วนำไปแช่เย็น (อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส) ซึ่งจะทำให้เกิดการคืนตัว (set back) ที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอการแยกตัวของน้ำออกจากโมเลกุลของสตาร์ช โดยน้ำจะถูกแอมิโลสและ

Table 4. Physical and chemical properties[1] of germinated brown rice at different interaction effect of soaking time and incubation time

| Soaking time (h) | Incubation time (h) | Colour value | | | Moisture content (% on wet basis) | Water activity ($a_w$) | Reducing sugar content (mg/kg) | GABA content (mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | L* | a* | b* | | | | |
| 3 | 12 | 74.43 ± 0.12$^{a}$ | 2.01 ± 0.19$^{d}$ | 15.80 ± 0.14$^{b}$ | 8.49 ± 0.70$^{c}$ | 0.53 ± 0.02$^{c}$ | 86.77 ± 11.19$^{d}$ | 143.78 ± 1.91b$^{c}$ |
| 3 | 24 | 72.48 ± 0.00$^{c}$ | 2.71 ± 0.00$^{a}$ | 15.81 ± 0.24$^{b}$ | 12.99 ± 0.18$^{a}$ | 0.59 ± 0.03$^{ab}$ | 97.06 ± 11.79$^{cd}$ | 209.48 ± 4.00$^{b}$ |
| 6 | 12 | 73.16 ± 0.01$^{b}$ | 2.42 ± 0.26$^{bc}$ | 16.82 ± 0.14$^{a}$ | 8.74 ± 0.01$^{c}$ | 0.54 ± 0.00$^{ab}$ | 88.84 ± 4.94$^{d}$ | 89.96 ± 5.48$^{d}$ |
| 6 | 24 | 73.33 ± 0.01$^{b}$ | 2.55 ± 0.07$^{ab}$ | 16.19 ± 0.28$^{ab}$ | 11.80 ± 0.20$^{ab}$ | 0.57 ± 0.02$^{abc}$ | 167.74 ± 10.80$^{ab}$ | 351.46 ± 6.80$^{a}$ |
| 9 | 12 | 73.31 ± 0.06$^{b}$ | 2.08 ± 0.14$^{cd}$ | 16.24 ± 0.77$^{ab}$ | 8.86 ± 0.31$^{c}$ | 0.55 ± 0.01$^{abc}$ | 145.71 ± 47.99$^{bc}$ | 148.41 ± 5.91$^{bc}$ |
| 9 | 24 | 73.17 ± 0.45$^{b}$ | 2.25 ± 0.08$^{bc}$ | 16.35 ± 0.04$^{ab}$ | 11.46 ± 1.43$^{ab}$ | 0.58 ± 0.01$^{abc}$ | 210.51 ± 1.76$^{a}$ | 400.27 ± 16.10$^{a}$ |

[1] Two replications

Mean values ± SD followed by different letters in each column were significantly different ($P \leq 0.05$)

แอมิโลเพกตินอุ้มไว้ในโครงสร้าง ทำให้ได้เจลที่มีความคงตัว จากตารางที่ 5 พบว่า เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการแช่เย็นแผ่นแป้งข้าวนานขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นของแผ่นข้าวมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการระเหยของน้ำจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อนำแผ่นแป้งไปทำให้พองด้วยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที พบว่า สิ่งทดลองที่มีปริมาณความชื้นหลังแช่เย็นสูง จะส่งผลให้มีปริมาณความชื้นหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์หลังอบสูงตามไปด้วย เมื่อพิจารณาอัตราการพองและอัตราการขยายตัวเชิงปริมาตร พบว่า แผ่นแป้งที่ผ่านการแช่เย็นเป็นเวลานานขึ้น อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับอัตราการขยายตัวเชิงปริมาตรซึ่งจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากการทดลอง พบว่า เมื่อแช่เย็นเป็นเวลานาน 72 ชั่วโมง ส่งผลให้แผ่นแป้งมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 11.84 ในขณะที่การแช่เย็นแผ่นแป้งเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง แผ่นแป้งจะมีความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 16.91 ถึง 17.26 ทั้งนี้ในขั้นตอนการพองตัว ความร้อนจะทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยกลายเป็นไอ ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของช่องอากาศ และโครงสร้างมีการขยายตัวขึ้น หากปริมาณความชื้นของแผ่นแป้งก่อนอบมีค่าสูงเกินไป จะทำให้การเกิดช่องอากาศที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ และยังเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตาม หากความชื้นของแผ่นแป้งมีปริมาณน้อยเกินไปก็จะลดการเกิดโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ทำให้การพองตัวลดลง (Lim and Han, 2016)

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง texture analyzer ด้านความแข็ง (hardness) และความกรอบ (crispness) พบว่า ระยะเวลาการแช่เย็นแผ่นแป้งก่อนอบไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ ($P > 0.05$) โดยค่าความแข็งของทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีค่าเท่ากับ 18.16 ถึง 22.90 นิวตัน อย่างไรก็ตาม ความกรอบของผลิตภัณฑ์จากแผ่นแป้งที่ผ่านการแช่เย็นที่ระยะเวลาต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่เย็นแผ่นแป้งนานขึ้น (ปริมาณความชื้นแผ่นแป้งต่ำ) ทั้งนี้ คุณลักษณะด้านความกรอบและความแข็งเป็นลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว โดยผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความแข็งต่ำและค่าความกรอบสูงจะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Kayacier and Singh, 2003) เช่นเดียวกับงานวิจัยของพัชรี และสุภาณี (2560) รายงานว่า คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความแข็งต่ำจะได้รับคะแนนความชอบมากกว่า สำหรับงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ความแข็ง ความกรอบ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้น จึงเลือกใช้ระยะเวลาการแช่เย็น เท่ากับ 36 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่น้อยที่สุด และลดระยะเวลารวมในการผลิตผลิตภัณฑ์

Table 5. Physical[1] and sensory[2] properties of puffed rice snacks at different chilling time

| Chill time (h) | Moisture content before puffing (% on wet basis) | Moisture content after puffing (% on wet basis) | Expansion degree | Volume expansion ratio | Hardness (N) | Crispness (kg.sec) | Sensory score | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Appearance | Hardness | Crispness | Overall liking |
| 36 | 17.26 ± 1.52$^{a}$ | 5.76 ± 1.30$^{ns}$ | 1.59 ± 0.17$^{ns}$ | 2.47 ± 0.13$^{a}$ | 18.16 ± 4.21$^{ns}$ | 38.57 ± 11.27$^{c}$ | 6.5 ± 1.10$^{ns}$ | 6.9 ± 1.02$^{ns}$ | 6.8 ± 0.86$^{ns}$ | 6.8 ± 0.96$^{ns}$ |
| 48 | 17.06 ± 1.52$^{a}$ | 5.14 ± 0.95 | 1.52 ± 0.17 | 2.16 ± 0.20$^{ab}$ | 22.90 ± 8.29 | 72.87 ± 12.02$^{b}$ | 6.6 ± 1.21 | 6.9 ± 1.08 | 7.0 ± 0.94 | 6.8 ± 0.99 |
| 60 | 16.91 ± 0.41$^{a}$ | 5.00 ± 0.72 | 1.51 ± 0.18 | 2.02 ± 0.46$^{c}$ | 21.02 ± 10.92 | 79.52 ± 8.70$^{b}$ | 6.1 ± 1.26 | 6.5 ± 1.04 | 6.6 ± 1.03 | 6.4 ± 0.93 |
| 72 | 11.84 ± 1.02$^{b}$ | 4.77 ± 0.12 | 1.46 ± 0.38 | 1.98 ± 0.34$^{c}$ | 19.73 ± 3.94 | 109.52 ± 13.72$^{a}$ | 6.6 ± 1.06 | 6.9 ± 0.84 | 6.9 ± 0.73 | 6.6 ± 0.84 |

[1] Mean ± standard deviation based on two replications; [2] Mean ± standard deviation based on 30 panels and on a 9-point hedonic scale
Means within each column followed by a different letter are significantly different ($P \leq 0.05$)

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ข้าวอบพองจากข้าวกล้องงอกที่พัฒนาได้ไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 60 คน พบว่า คะแนนความชอบของผู้บริโภคด้านลักษณะปรากฏ ความแข็ง ความกรอบ และความชอบโดยรวม มีค่าเท่ากับ 6.7 ± 1.0, 6.4 ± 1.2, 7.4 ± 0.9 และ 7.2 ± 0.9 ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางอาหารโดยประมาณ พบว่า มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหารหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 3.76 ± 0.80, 9.76 ± 0.89, 1.25 ± 0.47, 3.12 ± 0.14, 0.60 ± 0.01 และ 81.51 ± 2.36 ตามลำดับ ทำการตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $1x10^2$ cfu/g และไม่พบยีสต์และรา ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวพอง (มผช.723/2548) ที่กำหนดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน $1x10^3$ cfu/g และราต้องไม่เกิน 100 cfu/g และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารกาบาด้วยวิธี HPLC พบว่า มีค่าเท่ากับ 322.05 ± 22.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณสารกาบาสูงกว่าในผลิตภัณฑ์น้ำข้าวกล้องงอกผสมกากมะเขือเทศที่อยู่ในช่วง 0.77-22.95 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (วัฒนา, 2555) และในผลิตภัณฑ์โจ๊กข้าวกล้องงอกกึ่งสำเร็จรูปที่พบว่ามีปริมาณสารกาบาเท่ากับ 60.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ธวัชชัย, 2554) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความแตกต่างในขั้นตอนการเพาะงอก สายพันธุ์ข้าว รวมถึงกระบวนแปรรูปที่ใช้ในแต่ละผลิตภัณฑ์ สำหรับข้อเสนอแนะด้านบรรจุภัณฑ์สำหรับการจัดหน่ายในเชิงพาณิชย์ เนื่องด้วยผลิตภัณฑ์ข้าวอบพองเป็นผลิตภัณฑ์ที่อาจเสียคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสได้เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน ดังนั้น ควรเลือกบรรจุภัณฑ์ที่สามารถกันอากาศ ความชื้น และแสง หรืออาจจะมีการใช้ก๊าซไนโตรเจนเพื่อลดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ก่อให้เกิดการเหม็นหืน (rancidity) สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ให้นานกว่าปกติ รวมถึงควรคำนึงถึงการออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้มีความสวยงาม และดึงดูดใจผู้บริโภค

## สรุป

สำหรับการทดลองนี้ สภาวะที่เหมาะสมในการงอกข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 คือ การแช่ข้าวกล้องในน้ำที่มีค่า pH เท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง จากนั้นล้างให้สะอาดแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณสารกาบาเท่ากับ 400.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำข้าวกล้องงอกที่ได้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองอบกรอบ โดยบดเป็นผง ผสมน้ำ นึ่ง และรีดเป็นแผ่น และนำไปลดความชื้นโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง แล้วนำมาอบพองที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนความชอบของผู้บริโภคในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหารหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 3.76, 9.76, 1.25, 3.12, 0.60 และ 81.51 ตามลำดับ และมีปริมาณสารกาบาเท่ากับ 322.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ประจำปีงบประมาณ 2559

## เอกสารอ้างอิง

จักรพงษ์ โสวะพันธ์ กมลวรรณ แจ้งชัด และ พัชรี ตั้งตระกูล. 2554. ผลของสภาพการงอกต่อสมบัติความหนืดและปริมาณ GABA ของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวเปลือก. หน้า 210-217. *ใน*: รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จิตติมณฑน์ วงศ์ษา สมบูรณ์ศักดิ์ ศิลาเปรื่อง รพีพร เอี่ยมสะอาด และ เบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. 2556. ผลของข้าวเจ้าหอมมะลิที่มีต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบไส้ปลาน้ำพริกเผา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 44(2) (พิเศษ): 329-332.

ชนิษฎา วงศ์บาสก์. 2553. การพัฒนาอาหารว่างประเภทนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกล้องงอกไส้ถั่วกวนผสมสตรอเบอรี่กวน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 141 หน้า.

ธวัชชัย ศุภวิทิตพัฒนา. 2554. ผลของสารก่อโฟมที่มีต่อสมบัติของโจ๊กข้าวกล้องงอกกึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตด้วยวิธีโฟม-แมท. สักทอง: วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ 17(1): 1-12.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2558. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 487 หน้า.

ประชาชาติธุรกิจออนไลน์. 2560. ส่งออกข้าว ปี 60 แข่งเดือด ไทยหั่นราคาหนีเวียดนาม-อินเดีย. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: https://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1486548257 (1 สิงหาคม 2560).

พัชรี แดงด้วง และ สุภาณี ด่านวิริยะกุล. 2560. การใช้แป้งข้าวกล้องพรีเจลาติไนซ์ทดแทนแป้งสาลีในขนมปังแผ่นอบกรอบ. วารสารเกษตร 33(2): 291-298.

รัชนี ไสยประจง และ สุรพงษ์ พินิจกลาง. 2555. การศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนและส่วนประกอบกรดอะมิโนในข้าวหลายสายพันธุ์จากประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43(2) (พิเศษ): 277-280.

วัฒนา วิริวุฒิกร. 2555. ผลของอัตราส่วนกากมะเขือเทศผงและข้าวกล้องผงที่มีต่อการผลิตเครื่องดื่มกากมะเขือเทศผงผสมข้าวกล้องผง. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี. 54 หน้า.

ศุภนุช ใส่แปง. 2554. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกด้วยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 133 หน้า.

ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรม. 2560. ส่วนแบ่งตลาดขนมขบเคี้ยว ปี 2559. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=138 (1 มกราคม 2561).

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2555. การปฏิบัติที่ดีสำหรับการผลิตข้าวกล้องงอก (Good Manufacturing Practices for Germinated Brown Rice). สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 16 หน้า.

อรพิน เกิดชูชื่น ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และ อรทัย โกกิลกนิษฐ. 2556. ผลของพีเอชและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่เมล็ดข้าวต่อคุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105. SDU Research Journal Sciences and Technology 6(1): 171-186.

อรวรรณ ศรีโสมพันธ์ และ ทัตพิชา เจริญรัตน์. 2557. ข้าวเหนียวในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน: โอกาสหรือข้อจำกัดของไทย. แก่นเกษตร 42(1): 119-128.

อุบลรัตน์ ลี้กำจร กมลวรรณ แจ้งชัด ดวงกมล ฉายะศิริพันธ์ และ พัชรี ตั้งตระกลู. 2556. ผลของการแช่ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในสารละลายไคโตซานร่วมกับกรดต่อคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก. หน้า 368-375. *ใน*: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. (17th ed). AOAC International, Washington, D.C.

Bouche, N. and H. Fromm. 2004. GABA in plants: Just a metabolite? Trends in Plant Science 9(3): 110-115.

Charoenthaikij, P., K. Jangchud, A. Jangchud, K. Piyachomkwan, P. Tungtrakul and W. Prinyawiwatkul. 2009. Germination conditions affect physicochemical properties of germinated brown rice flour. Journal of Food Science 74(9): 658-665.

Cho, D.H. and S.T. Lim. 2016. Germinated brown rice and its bio-functional compounds. Food Chemistry 196: 259-271.

Jiamyangyuen, S. and B. Ooraikul. 2008. The physico-chemical, eating and sensorial properties of germinated brown rice. Journal of Food, Agriculture and Environment 6: 119-124.

Kayacier, A. and R.K. Singh. 2003. Textural properties of baked tortilla chips. LWT- Food Science and Technology 36(5): 463-466.

Komatsuzaki, N., K. Tsukahara, H. Toyoshima, T. Suzuki, N. Shimizu and T. Kimura. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. Journal of Food Engineering 78(2): 556-560.

Lim, S.T. and J.A. Han. 2016. Improvement in antioxidant functionality and shelf life of yukwa (fried rice snack) by turmeric (*Curcuma longa* L.) powder addition. Food Chemistry 199: 590-596.

Maetens, E., N. Hettiarachchy, K. Dewettinck, R. Horax, K. Moens and D.O. Moseley. 2017. Physicochemical and nutritional properties of a healthy snack chip developed from germinated soybeans. LWT-Food Science and Technology 84: 505-510.

Mamiya, T., T. Asanuma, M. Kise, Y. Ito, A. Mizukuchi, H. Aoto and M. Ukai. 2004. Effects of pre-germinated brown rice on beta-amyloid protein-induced learning and memory deficits in mice. Biological and Pharmaceutical Bulletin 27(7): 1041-1045.

Mir, S.A., S.J.D. Bosco, M.A. Shah and M.M. Mir. 2016. Effect of puffing on physical and antioxidant properties of brown rice. Food Chemistry 191: 139-146.

Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. Journal of Biological Chemistry 153(3): 376-380.

Oh, C.H. and S.H. Oh. 2004. Effects of germinated brown rice extracts with enhanced levels of GABA on cancer cell proliferation and apoptosis. Journal of Medicinal Food 7(1): 19-23.

Petroff, O.A. 2002. GABA and glutamate in human brain. Neuroscientist 8(6): 562-573.

Roberts, J.K.M., J. Callis, D. Wemmer, V. Walbot and O. Jardetzky. 1984. Mechanism of cytoplasmic pH regulation in hypoxic maize root tips and its role in survival under hypoxia. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 81: 3379-3383.

Saikusa, T., T. Horino and Y. Mori. 1994. Distribution of free amino acids in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. Journal of Agricultural and Food Chemistry 42(5): 1122-1125.

Saman, P., J.A. Vazquez and S.S. Pandiella. 2008. Controlled germination to enhance the functional properties of rice. Process Biochemistry 43(12): 1377-1382.

Satyanarayan, V. and P.M. Nair. 1985. Purification and characterization of glutamate decarboxylase from *Solanum tuberosum*. European Journal of Biochemistry 150(1): 53-60.

Servaites, J.C., L.E. Schrader and D.M. Jung. 1979. Energy-dependent loading of amino acids and sucrose into the phloem of soybean. Plant Physiology 64(4): 546-550.

Tian, S., K. Nakamura and H. Kayahara. 2004. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52: 4808-4813.

Tian, B., B. Xie, J. Shi, J. Wu, Y. Cai, T. Xu, S. Xue and Q. Deng. 2010. Physicochemical changes of oat seeds during germination. Food Chemistry 119: 1195-1200.