

ผลของวิธีการหุงต่อปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (กาบา) และสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องงอก
Effect of Cooking Methods on γ -aminobutyric Acid Content and Physico-chemical Properties of Germinated Brown Rice

อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์* กรุณาพร ปานวรรณ ชุตিকা เกียรติเรืองไกร และสายรุฬ ชัยวานิชศิริ

Inthawoot Suppavorasatit*, Karunaporn Panworn, Chutika Kiatruangkrai and Saiwarun Chaiwanichsiri

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการหุงต่อปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (กาบา) และสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท 1 โดยเตรียมข้าวกล้องงอกหุงสุก 5 วิธี คือหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าแบบมีการชว และไม่มีการชว หุงด้วยไมโครเวฟ หุงแบบแช่น้ำ และแบบไม่แช่น้ำ พบว่าวิธีการหุงมีผลต่อปริมาณกาบาอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องงอกหุงสุกที่ผ่านการหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าแบบไม่มีการชว มีปริมาณกาบาสูงกว่าการหุงด้วยวิธีอื่นๆ ในขณะที่การหุงด้วยหม้อหุงข้าวแบบแช่น้ำมีปริมาณกาบาต่ำที่สุด เมื่อศึกษาคุณภาพการหุงพบว่าอัตราส่วนการขยายตัว และอัตราส่วนการยืดตัวของเมล็ดข้าวที่ผ่านการหุงทั้ง 5 วิธี ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ข้าวกล้องงอกที่มีอัตราการดูดซับน้ำสูงสุด ได้แก่ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าแบบมีการชว ไม่มีการชว และหุงแบบไม่แช่น้ำ เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงสุกทั้ง 5 วิธี พบว่าไม่มีความแตกต่างของสี (ΔE) ($p > 0.05$) สำหรับค่าความแข็ง ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงด้วยไมโครเวฟมีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และยังพบว่าระดับการเกิดเจลลิตไนซ์ของข้าวกล้องงอกหุงสุกแต่ละวิธีอยู่ในช่วงร้อยละ 62.14–68.36

คำสำคัญ: วิธีการหุง กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก เนื้อสัมผัส ข้าวกล้องงอก

ABSTRACT

The objective of this research was to determine effect of cooking methods on γ -aminobutyric acid (GABA) content and physico-chemical properties of cooked germinated brown rice (GBR). The GABA content in cooked GBR prepared by five different cooking methods including electric cooker (with and without washing rice before cooking), microwave oven, and two conventional cooking methods (with and without discarding excess water after rice was cooked). The results showed that cooking methods significantly affected GABA contents ($p \leq 0.05$). The GABA content of cooked GBR by electric cooker method (without washing rice before cooking) was the highest one, while conventional method (with discarding excess water after rice was cooked) was the lowest one. For cooking quality, expansion and elongation ratio of all cooked GBR were not significantly different ($p > 0.05$). In addition, water uptake ratio of cooked GBR prepared by electric cooker and conventional methods without discarding excess water after rice was cooked were the highest. No significant color difference (ΔE) was found in each cooked GBR ($p > 0.05$), while the hardness of GBR cooked by microwave was the highest ($p \leq 0.05$). It was also found that the degree of gelatinization of all cooked GBR were between 62.14–68.36%.

Keywords: cooking method, γ -aminobutyric acid, texture, germinated brown rice

*Inthawoot.s@chula.ac.th

อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Phayatai Rd., Wangmai, Pathumwan, Bangkok.

บทนำ

ข้าวกล้องงอก เป็นข้าวที่ผู้บริโภคนิยมซื้อมาหุงเพื่อบริโภคเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากประกอบไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากมาย ตัวอย่างเช่น กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (γ -aminobutyric acid) หรือกาบา (GABA) และแกมมาโอริซานอล (γ -oryzanol) [1] กาบาถือเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสำคัญชนิดหนึ่ง เนื่องจากเป็นกรดอะมิโนอิสระที่พบได้ตามธรรมชาติ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และสารออกฤทธิ์สื่อประสาทในสมองและไขสันหลังของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม [2] ช่วยทำให้สมองผ่อนคลาย นอนหลับง่ายขึ้น ลดความดันโลหิต ลดปริมาณการเพิ่มของเซลล์มะเร็ง และลดความเสี่ยงการเกิดโรคอัลไซเมอร์ได้ [3,4] กาบาในเมล็ดข้าว สังเคราะห์ขึ้นจากกรดกลูตามิก (glutamic acid) โดยมีเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase, GAD) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การบริโภคข้าวกล้องงอกที่สะดวกและเป็นต้นนิยมวิธีหนึ่งคือการบริโภคในรูปแบบข้าวกล้องงอกหุงสุก พบว่าการหุงข้าวกล้องงอกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งประกอบด้วยกรดฟีนอลิกหลัก สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันของข้าวกล้องงอกลดลง [5] ถึงแม้จะมีรายงานว่ากาบาในแป้งข้าวกล้องงอกมีความเสถียรต่ออุณหภูมิการเกิดพรีเจลลิตไนเซชัน (pre-gelatinization temperature) โดย Ritruengdech et al. [6,7] รายงานว่าปริมาณกาบาในแป้งข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ผ่านการเจลลิตไนเซชันด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (extruder) ที่อุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C โดยแปรอัตราส่วนแป้งต่อน้ำเป็น 3:1, 2:1 และ 1:1 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่การหุงข้าวจะทำให้แป้งในข้าวมีอัตราการเกิดเจลลิตไนเซชันสูงกว่าการเกิดเจลลิตไนเซชันโดยผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ซึ่งอาจมีผลต่อปริมาณกาบาได้เช่นเดียวกับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงหลังการหุงสุก

ในระหว่างการหุงข้าว สมบัติต่างๆ ภายในเมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ โครงสร้างของแป้งในเมล็ดข้าว สมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการ [8] นอกจากนี้ วิธีการหุงข้าวก็ส่งผลต่อปริมาณสารอาหาร และสมบัติทางเคมี และกายภาพของข้าวได้เช่นเดียวกัน Daomukda et al. [9] รายงานผลของการหุงข้าวด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า หุงด้วยเตาไมโครเวฟ หุงโดยใช้ไอน้ำ และหุงโดยวิธีแช่น้ำ ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พบว่าการหุงโดยวิธีแช่น้ำส่งผลให้ปริมาณโปรตีนและไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และยังพบว่าการหุงโดยใช้ไอน้ำ ให้ข้าวที่มีอัตราการเกิดเจลลิตไนเซชันต่ำที่สุด

Khwanchai et al. [10] ได้ศึกษาการงอกของข้าวกล้อง ระหว่างข้าวเจ้าที่นิยมปลูกและบริโภคอันดับต้นๆ ในประเทศไทย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 และพิษณุโลก 2 พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด มีปริมาณการเพิ่มขึ้นของกาบาสูงที่สุด มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดกลูตามิก (ในฐานะสารตั้งต้นสำหรับการสร้างกาบา) มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ GAD ซึ่งสูงที่สุดในข้าวสายพันธุ์นี้

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่ากรรมวิธีการหุงข้าวน่าจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวกล้องงอก โดยเฉพาะกาบา รวมถึงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องงอก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการหุงต่อปริมาณกาบา และสมบัติทางเคมีกายภาพ ของข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งผลการวิจัยนี้สามารถเอื้อประโยชน์ให้กับทั้งผู้ผลิตข้าวกล้องงอก และผู้บริโภคในการเลือกวิธีเตรียมข้าวกล้องงอกหุงสุกให้ยังคงคุณภาพที่ดี เหมาะสมกับการบริโภค

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. ตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ใช้ในการทดลอง (จากศูนย์วิจัยข้าวชัยนาท กรมการข้าว จังหวัดชัยนาท)

*Inthawoot.s@chula.ac.th

อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Phayatai Rd., Wangmai, Pathumwan, Bangkok.

เป็นข้าวซึ่งเก็บเกี่ยวปี 2555 นำมาแกะห่อเปลือกด้วยเครื่องสีข้าวให้เป็นข้าวกล้อง เตรียมข้าวกล้องงอกโดยแช่ข้าวกล้องในสารละลายกรดกลูตามิกเข้มข้น 200 mM ที่ปรับสภาพความเป็นกรดต่างให้มี pH 5.8 ด้วยซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง สะเด็ดน้ำแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 35°C 24 ชั่วโมง จากนั้นอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 15 ชั่วโมง [10] บรรจุตัวอย่างข้าวกล้องงอกด้วยระบบสุญญากาศและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนทำการทดลองในขั้นต่อไป

2. การหุงข้าวกล้องงอกด้วยกรรมวิธีต่างๆ

นำข้าวกล้องงอกไปหุงด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 5 วิธี ได้แก่ 1) หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าแบบมีการชวบน้ำ 2) หุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าแบบไม่มีการชวบน้ำ 3) หุงด้วยไมโครเวฟ 4) หุงแบบเช็ดน้ำ และ 5) หุงแบบไม่เช็ดน้ำ โดยดัดแปลงวิธีของ Daomukda et al. [9] ด้วยย่อของการหุงแต่ละวิธี แสดงใน Table 1 การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าแบบมีการชวบน้ำ (ECW) ทำโดยนำข้าวกล้องงอกมาชวบน้ำที่อุณหภูมิห้อง 2 ครั้งเพื่อให้ข้าวสะอาด จากนั้นเติมน้ำลงในข้าวกล้องงอกในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 (w/w) แช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (Panasonic รุ่น SR-G06, Thailand) จนกระทั่งหม้อหุงข้าวไฟฟ้าตัดไฟอัตโนมัติ ให้ความร้อนข้าวในหม้อเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเกลี่ยข้าว และให้ความร้อนข้าวต่อเป็นเวลา 5

นาที การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าแบบไม่มีการชวบน้ำ (ECO) เตรียมเช่นเดียวกับวิธีแรก แต่ไม่มีการชวบน้ำ การหุงด้วยไมโครเวฟ (MCO) ทำโดยเติมน้ำลงในข้าวกล้องงอกในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 (w/w) แช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในหม้อหุงข้าวสำหรับไมโครเวฟ (Daiso, Japan) ให้ความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ (LG รุ่น MC-766YS, Korea) ด้วยกำลังไฟ 540 วัตต์เป็นเวลา 6 นาที และหุงต่อด้วยกำลังไฟ 180 วัตต์เป็นเวลา 18 นาที จากนั้นเกลี่ยข้าวและให้ความร้อนข้าวเป็นเวลา 10 นาที การหุงแบบเช็ดน้ำ (CON1) เตรียมโดยเติมน้ำลงในข้าวกล้องงอกในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:9 (w/w) แช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปหุงบนเตาไฟฟ้าโดยใช้ไฟแรง เป็นเวลา 20 นาที หรือจนกระทั่งสังเกตเห็นเมล็ดข้าวบานออก จึงเทน้ำออก และใช้ไฟอ่อนจนกระทั่งน้ำระเหยออกหมด จากนั้นเกลี่ยข้าว และให้ความร้อนข้าวในหม้อต่อ 5 นาที สำหรับการหุงแบบไม่เช็ดน้ำ (CON2) เตรียมโดยเติมน้ำลงในข้าวกล้องงอกในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 (w/w) แช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปหุงบนเตาไฟฟ้าโดยใช้ไฟแรงจนกระทั่งน้ำเริ่มเดือด จึงใช้ไฟกลางประมาณ 20 นาทีตามด้วยไฟอ่อนประมาณ 15 นาทีตามลำดับ จนกระทั่งน้ำระเหยออกหมด ให้ความร้อนข้าวในหม้อเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเกลี่ยข้าว และให้ความร้อนข้าวต่อ 5 นาที

Table 1 Abbreviation of cooking methods

cooking methods	description of methods
ECW	electric cooker with washing rice before cooking
ECO	electric cooker without washing rice before cooking
MCO	microwave oven
CON1	conventional method with discarding excess water after rice was cooked
CON2	conventional method without discarding excess water after rice was cooked

*Inthawoot.s@chula.ac.th

3. การวิเคราะห์คุณภาพการหุงสุกของข้าวกล้องงอก

นำข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงทั้ง 5 วิธี ในข้อ 2 มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่การขยายตัวของเมล็ดข้าวหุงสุก (expansion ratio) การยืดตัวของเมล็ดข้าวหุงสุก (elongation ratio) และการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวหุงสุก (water uptake ratio) ตามวิธีของ Juliano and Perez [11] ทำการทดลองอย่างละ 3 ซ้ำ

การขยายตัวของเมล็ดข้าวสุกทำโดยสุ่มข้าวสารและข้าวสุกอย่างละ 10 เมล็ด วัดความกว้าง (มิลลิเมตร) คำนวณหาอัตราการขยายตัวของเมล็ดจากสมการ (1)

$$\text{อัตราการขยายตัวของเมล็ด} = \frac{\text{ความกว้างเฉลี่ยของข้าวสุก 10 เมล็ด}}{\text{ความกว้างเฉลี่ยของข้าวสาร 10 เมล็ด}} \quad (1)$$

การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกวิเคราะห์โดยสุ่มข้าวสารและข้าวสุกอย่างละ 10 เมล็ด วัดความยาว (มิลลิเมตร) คำนวณหาอัตราการยืดตัวของเมล็ดจากสมการ (2)

$$\text{อัตราการยืดตัวของเมล็ด} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสุก 10 เมล็ด}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสาร 10 เมล็ด}} \quad (2)$$

การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวสุก ทำโดยสุ่มข้าวสารและข้าวสุกอย่างละ 50 เมล็ด ชั่งน้ำหนัก (กรัม) คำนวณหาอัตราการดูดซับน้ำของเมล็ดจากสมการ (3)

$$\text{อัตราการดูดซับน้ำของเมล็ด} = \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยของข้าวสุก 50 เมล็ด}}{\text{น้ำหนักเฉลี่ยของข้าวสาร 50 เมล็ด}} \quad (3)$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณกาบา

เตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณกาบาในข้าวกล้องงอก โดยบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช ส่วนข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุง นำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ -44°C ความดัน 67×10^{-3} mBar นาน 14 ชั่วโมง (LABCONCO รุ่น FreeZone® 6 Liter) จากนั้นบดและร่อนเช่นเดียวกับตัวอย่างข้าวกล้องงอก แล้ววิเคราะห์ปริมาณกาบาตามวิธีของ Khwanchai et al. [10]

4.1 การสกัดกาบา

ใส่ตัวอย่าง 200 มิลลิกรัม ใน micro-centrifuge tube และเติมสารละลายเอทานอล 70% (v/v) ปริมาตร 800 ไมโครลิตร เขย่าด้วย vortex ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนทริฟิวจ์ (MIKRO 22 R centrifuge, UK) ที่ความเร็วรอบ $13000 \times g$ ที่อุณหภูมิ 4°C นาน 15 นาที นำส่วนใสเก็บไว้ในขวด vial ส่วนที่เหลืออยู่ในหลอดทำซ้ำอีกรอบโดยการเติมสารละลายเอทานอล 70% (v/v) ปริมาตร 800 ไมโครลิตร ลงไปและปั่นเหวี่ยงเช่นเดิม จากนั้นนำส่วนใสที่ได้มารวมกัน และปั่นเหวี่ยงอีกรอบเพื่อเก็บสารละลายใสส่วนบน

4.2 การก่อให้เกิดสารอนุพันธ์ของกาบา (derivatization)

นำส่วนใสจากการสกัดในข้อ 4.1 ปริมาตร 0.30 มิลลิลิตร เติมสารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ 0.1M ปริมาตร 2.70 มิลลิลิตร ตามด้วยเติม Fluorenyl methyloxycarbonyl chloride (FMOC-Cl) ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ลงไปเพื่อไปปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 5.0 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายผสมไปเขย่าด้วย vortex เป็นเวลา 30 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 15 นาที นำสารละลายที่ได้ไปฉีดผ่าน nylon syringe filter ที่มี pore size ขนาด 0.45 ไมโครเมตรลงขวด vial และนำไปวิเคราะห์ด้วย High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ต่อไป

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณกาบาด้วย HPLC

วิเคราะห์ปริมาณกาบาด้วย HPLC (HPLC system model 1100 series Agilent, USA) โดยใช้ reversed-phase HPLC column (4.6×150 mm; Zorbax SB-carbon 18; $5 \mu\text{m}$) ในการแยกสารอนุพันธ์ของกาบา ใช้สารอะซิโตไนไตรล์ (mobile phase A) และสารละลายกรดไตรฟลูออโรอะซิติก 0.05% (TFA; mobile phase B) เป็น mobile phase

ฉีดสารละลายในข้อ 4.2 ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เข้าเครื่อง HPLC คำนวณเปรียบเทียบกับปริมาณสารจากกราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้กราฟ

*Inthawoot.s@chula.ac.th

และปริมาณสาร GABA มาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน [12] ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุง

นำข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงทั้ง 5 วิธีในข้อ 2 และตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ได้จากการหุงของแต่ละวิธีไปผ่านกระบวนการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ตามสภาวะดังแสดงในข้อ 4) มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่

5.1 อุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ และระดับการเกิดเจลลิตีไนซ์

วิเคราะห์ตัวอย่างอบแห้งด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeters (DSC) (PerkinElmer รุ่น Diamond DSC, USA) โดยใช้ช่วงอุณหภูมิ 30-95°C ในอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C/นาที่ และสัดส่วนแป้งข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:3 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

5.2 สีของผิวเมล็ด

วัดสีของผิวเมล็ดข้าวในระบบ CIE L* a* b* ด้วยเครื่องวัดสี (MINOLTA CR400, Japan) คำนวณค่าผลต่างของสี (ΔE) ตามสมการ (4) โดยตัวเลขกำกับ 1 หมายถึงค่าที่วัดได้จากตัวอย่างข้าวกล้องงอกควบคุม (control sample) และ 2 หมายถึงค่าที่วัดได้จากตัวอย่างทดลอง โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (4)$$

5.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องงอกหุงสุกด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer TA-XT2i, UK) โดยใช้หัวกด A/BE-d35 โดยนำตัวอย่างข้าวสุก 100 กรัม บรรจุในถ้วยพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ตั้งโปรแกรมให้หัววัดกดลงไปในตัวอย่างไม่มีความแรง (trigger force) 10 กรัม ความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที รายงานผลลักษณะเนื้อสัมผัสด้านต่างๆ ได้แก่ hardness,

adhesiveness และ cohesiveness ทำการทดลอง 5 ซ้ำ

6. การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สำหรับการวัด/วิเคราะห์ปริมาณกาบา และสมบัติทางเคมีกายภาพ วางแผนการทดลองทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS version 11.0

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. คุณภาพการหุงของข้าวกล้องงอก (cooking properties)

จากการศึกษาคุณภาพการหุงข้าวกล้องงอก (Table 2) พบว่าอัตราส่วนการขยายตัว (expansion ratio) และอัตราส่วนการยืดตัว (elongation ratio) ของเมล็ดข้าวที่ผ่านการหุงทั้ง 5 วิธี ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อการขยายตัว และยืดตัวของข้าว คือ ปริมาณอะมิโลส (amylose) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เหมือนกัน แตกต่างกันเพียงเฉพาะวิธีการหุง ทำให้อัตราส่วนการขยายตัวและการยืดตัวไม่ต่างกัน [13] เมื่อพิจารณาอัตราส่วนการดูดซับน้ำ (water uptake ratio) พบว่าการหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าแบบมีการขาว (ECW) การหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าแบบไม่มีการขาว (ECO) และการหุงแบบไม่เติมน้ำ (CON2) มีอัตราส่วนการดูดซับน้ำสูงสุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยที่ทำให้คุณภาพของข้าวหุงสุกมีความแตกต่างกันได้แก่ อุณหภูมิ สัดส่วนของข้าวต่อน้ำ และเวลาในการหุงที่แตกต่างกันของแต่ละวิธี [9] ซึ่งการหุงทั้ง 3 วิธีข้างต้นใช้สัดส่วนของข้าวต่อน้ำสูงกว่าการหุงข้าวแบบเติมน้ำ (CON1) และใช้เวลานานกว่าการหุงด้วยไมโครเวฟ (MCO) จึงทำให้การหุงแบบ ECW, ECO และ CON2 มีอัตราการดูดซับน้ำสูงกว่าทั้งการหุงแบบ CON1 และ MCO

*Inthawoot.s@chula.ac.th

Table 2 Effect of cooking methods on cooking quality of cooked germinated brown rice

cooking method	expansion ratio ^{ns}	elongation ratio ^{ns}	water uptake ratio
ECW	2.69 ± 0.27	1.13 ± 0.03	2.43 ^a ± 0.08
ECO	2.50 ± 0.29	1.15 ± 0.04	2.29 ^{ab} ± 0.12
MCO	2.11 ± 0.48	1.14 ± 0.01	2.17 ^b ± 0.04
CON1	2.56 ± 0.32	1.11 ± 0.03	2.15 ^b ± 0.11
CON2	2.69 ± 0.10	1.12 ± 0.03	2.43 ^a ± 0.12

Remark: Data are expressed as means ± SD (n=3)

^{a,b}Means with the different letters in the same column were significantly different ($p \leq 0.05$)

^{ns}Not significant ($p > 0.05$)

2. ปริมาณกาบาของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงด้วยวิธีต่างๆ

ปริมาณกาบาในข้าวกล้องงอกหุงสุกด้วยวิธีต่างๆ แสดงใน Figure 1 พบว่าการหุงข้าวกล้องงอกด้วย ECO ได้ข้าวที่มีปริมาณกาบาสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ MCO, CON2 และ ECW ในขณะที่การหุงแบบ CON1 ได้ข้าวที่มีปริมาณกาบาต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากกาบาเป็นสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง [14] จึงเป็นไปได้ว่าปริมาณกาบาสูญเสียไปพร้อมกับน้ำในขั้นตอนการแช่น้ำและขณะชาวตามลำดับ ส่วนปริมาณกาบาในข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงด้วยวิธี CON1 มีปริมาณน้อยกว่าการหุงด้วย ECW นั้น น่าจะเป็นผลจากอุณหภูมิสูงระหว่างการหุงด้วยวิธี CON1 ทำให้กาบาที่อยู่ในเมล็ดข้าวกล้องงอกละลายออกมาในน้ำได้มากกว่าในน้ำข้าวขาวของการหุงด้วย ECW ซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน

ส่วนการหุงด้วย MCO และ CON2 ได้ข้าวหุงสุกที่มีปริมาณกาบาน้อยกว่าการหุงด้วย ECO ทั้งนี้เนื่องจากการหุงด้วย MCO ทำให้เกิดความร้อนสูงในเวลาสั้น อาจส่งผลให้เอนไซม์ glutamate decarboxylase (GAD) ที่ยังคงเหลือในเมล็ดข้าว ถูกทำลายไปก่อนที่จะถูกกระตุ้นให้ทำงานอีกครั้งเมื่อเมล็ดข้าวเริ่มได้รับความเครียดจากความร้อน อัตราการเปลี่ยนกรดกลูตามิกให้เป็นกาบาและสะสมในเซลล์ของข้าวกล้องงอกที่หุงด้วย MCO จึงน้อยกว่าการหุงด้วย

ECO โดย GAD สามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 35–45°C [15–17] สำหรับการหุงด้วยวิธี CON2 นั้นจะใช้เวลานานกว่าการหุงด้วย ECO ซึ่งอาจจะทำให้กาบาถูกทำลายมากขึ้น ปริมาณกาบาที่ตรวจพบจึงน้อยกว่าในข้าวที่หุงด้วย ECO

3. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องงอก

ผลของกระบวนการหุงต่ออุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชัน (gelatinization temperature, GT) และระดับการเกิดเจลลาติไนเซชัน (degree of gelatinization; DG) แสดงใน Figure 2 และ 3 ตามลำดับ จาก Figure 2 พบว่า GT ของตัวอย่างข้าวกล้องงอกหุงสุกทั้ง 5 วิธีแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการให้ความร้อน และปริมาณน้ำในการหุงของแต่ละวิธีเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเจลลาติไนซ์หรือการสุกของเมล็ดแตกต่างกัน [18] เมื่อพิจารณา DG ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงด้วยวิธีต่างๆ (Figure 3) พบว่าการหุงทั้ง 5 วิธี ยังไม่สามารถทำให้ข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท 1 หุงสุกได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่ง DG ที่วัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 62.14–68.36 โดยการหุงด้วย ECW, ECO และ CON2 จะทำให้ข้าวกล้องงอกสุกได้มากที่สุด ส่วนการหุงแบบ MCO และ CON1 ทำให้ข้าวกล้องงอกสุกได้น้อยที่สุด

*Inthawoot.s@chula.ac.th

อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Phayatai Rd., Wangmai, Pathumwan, Bangkok.

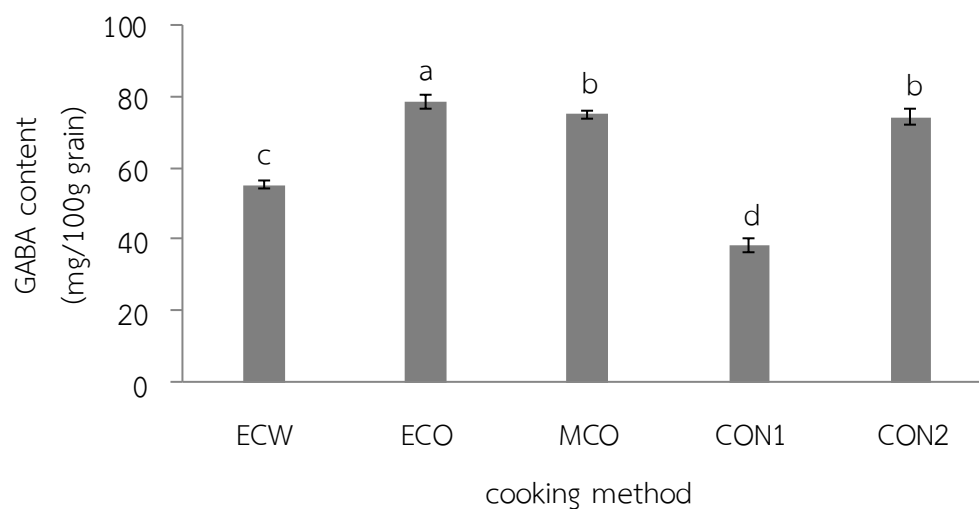


Figure 1 Effect of cooking methods on GABA content of cooked germinated brown rice

Remark: Data are expressed as means $\pm$ SD (n=3)

^{a-d}Means with the different letters were significant ($p \leq 0.05$)

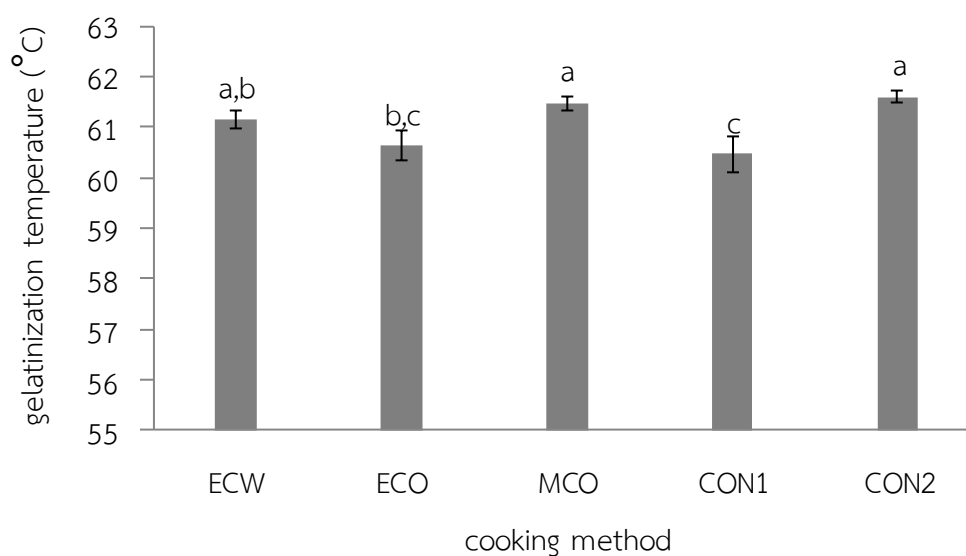


Figure 2 Effect of cooking methods on gelatinization temperature of cooked germinated brown rice

Remark: Data are expressed as means $\pm$ SD (n=2)

^{a-c}Means with the different letters were significant ($p \leq 0.05$)

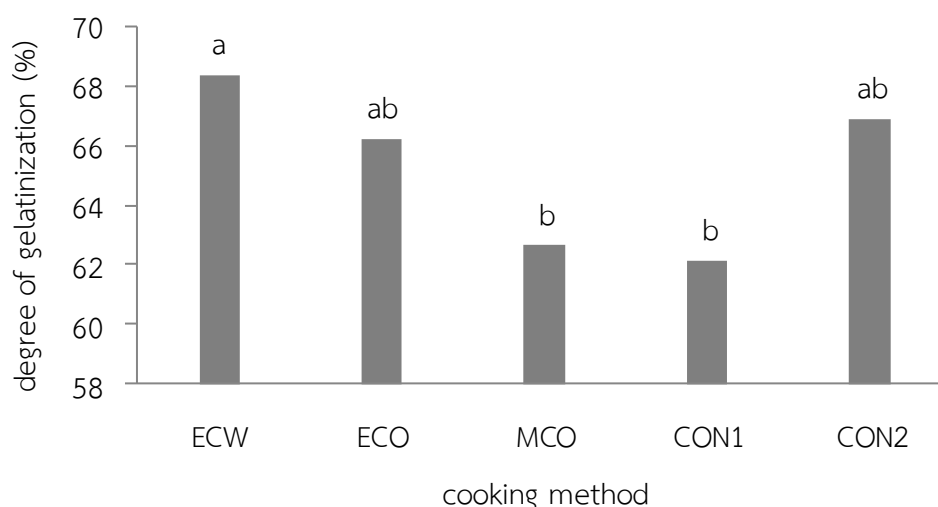


Figure 3 Effect of cooking methods on degree of gelatinization of cooked germinated brown rice

Remark: ^{a-b}Means with the different letters were significant ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ DG และการดูดน้ำของข้าวกล้องระหว่างการหุง พบว่าเมื่อ DG สูงขึ้น ส่งผลให้ข้าวกล้องงอกดูดน้ำได้มากขึ้น (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaiboon et al. [19] ที่รายงานว่า DG ที่สูงขึ้น ส่งผลให้ข้าวกล้องดูดน้ำได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ทั้งนี้ความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจไม่ไปตามเหตุผลข้างต้นเสมอไป เนื่องจากวิธีการหุงทั้ง 5 วิธี มีปัจจัยที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิ เวลา และสัดส่วนของข้าวต่อน้ำ เป็นต้น จึงเป็นไปได้ว่าระดับการเกิดเจลลิตไนเซชันที่สูงขึ้น ไม่ได้ขึ้นกับการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเพียงปัจจัยเดียว แต่น่าจะเกิดจากปริมาณน้ำ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการหุงข้าวร่วมด้วย [9]

เมื่อนำข้าวกล้องงอกหุงสุกในแต่ละวิธีข้างต้น มาวัดค่าสีในระบบ CIE ได้แก่ L^* , a^* และ b^* และนำมาคำนวณในรูปของผลต่างของสี (ΔE) ดังแสดงใน Table 3 พบว่า ค่า L^* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนค่า a^* ของข้าวกล้องงอกหุงสุกในการหุงแบบ CON2 มีค่าสูงที่สุด แสดงว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงสุกด้วยวิธีนี้มีสีออกแดง ทั้งนี้อาจเกิดจากรงควัตถุที่เยื่อหุ้มชั้นนอกและชั้นในของเมล็ดข้าวซึ่งประกอบด้วยสารกลุ่มแอนโธไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่สามารถละลาย

น้ำได้ [20-21] ไม่ได้สูญเสียไปในระหว่างการขาวหรือการแช่น้ำของการหุงแบบ CON2 ที่ไม่แช่น้ำ ในขณะที่ค่า b^* ของข้าวกล้องงอกหุงสุกทั้ง 5 วิธี นั้นให้ค่าสีเหลือง เนื่องจากมีค่าเป็นบวก โดยการหุงด้วย ECO จะให้ค่าสีเหลืองมากที่สุด ซึ่งแตกต่างจากการหุงแบบ CON1 ที่ให้ค่าสีเหลืองน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าสีเหลืองที่วัดได้เป็นส่วนใหญ่ นั้นจะมาจากสีผิวของเยื่อหุ้มเมล็ดที่ยังขัดสีออกไม่หมด ซึ่งประกอบด้วยแคโรทีนอยด์ เช่น ลูทีน เบต้าแคโรทีน และ/หรือ ไลโคพีน [22-24] ซึ่งโดยทั่วไปแคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ [25] และพบว่าการหุงต้มธรรมดาไม่มีผลต่อสีและคุณค่าของแคโรทีนอยด์ [26] สำหรับค่า ΔE พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงว่าวิธีการหุงไม่มีผลต่อความแตกต่างของสีในข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงสุก เนื่องจากค่าความต่างของสีเป็นค่าที่ได้จากผลรวมของผลต่างของค่า L^* , a^* และ b^* ที่เทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ทางสถิติ

*Inthawoot.s@chula.ac.th

Table 3 Effect of cooking methods on color of cooked germinated brown rice

cooking method	L* ^{ns}	a*	b*	ΔE ^{ns}
ECW	49.01 $\pm$ 0.39	-0.49 ^b $\pm$ 0.26	7.42 ^{ab} $\pm$ 0.82	1.81 $\pm$ 0.25
ECO	48.51 $\pm$ 0.53	-0.20 ^{ab} $\pm$ 0.12	8.51 ^a $\pm$ 0.20	2.78 $\pm$ 0.37
MCO	48.93 $\pm$ 0.40	-0.18 ^{ab} $\pm$ 0.22	7.85 ^{ab} $\pm$ 1.66	2.42 $\pm$ 0.59
CON1	49.36 $\pm$ 0.51	-0.44 ^b $\pm$ 0.20	6.37 ^b $\pm$ 0.60	1.20 $\pm$ 0.63
CON2	48.38 $\pm$ 1.34	0.13 ^a $\pm$ 0.31	8.23 ^{ab} $\pm$ 1.13	2.78 $\pm$ 0.82

Remark: Data are expressed as means $\pm$ SD (n=3)

^{a,b}Means with the different letters in the same column were significantly different ($p \leq 0.05$)

^{ns}Not significant ($p > 0.05$)

เมื่อวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องงอกหุงสุก ได้แก่ความแข็ง (hardness) การยึดติด (adhesiveness) และการเกาะติด (cohesiveness) ได้ผลดังแสดงใน Table 4 พบว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงด้วย MCO มีค่าความแข็งสูงสุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าการดูดซับน้ำ (Table 2) จะพบว่า การหุงด้วย MCO มีการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวก่อนข้างน้อย ส่งผลให้เกิดเจลลิตในเซชันน้อยด้วย [27] ซึ่งสอดคล้องกับ DG ดังแสดงใน Figure 3 เมื่อพิจารณาความแข็งลำดับถัดมา พบว่า การหุงข้าวแบบ CON1 มีความแข็งแรงจากการหุงด้วย MCO ทั้งที่ระดับการเกิดเจลลิตในเซชันต่ำกว่า ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากเมล็ดข้าวที่ผ่านการหุงแบบ CON1 ได้รับความร้อนผ่านการพาของน้ำโดยตรง ทำให้เกิดการพองตัวของเม็ดแป้งบริเวณรอบนอกก่อนส่วนอื่นๆ ส่งผลให้เมล็ดข้าวก่อนออกทั้งที่ภายในยังไม่สุกดี ซึ่งกรรมวิธีนี้ใช้การสังเกตเพียงแค่เมล็ดข้าวก่อนออกจึงรินน้ำที่เหลือออกไป ปริมาณน้ำที่เหลือเพื่อให้เกิดการดูดซับภายในเมล็ดจึงต่ำ (Table 2) ส่งผลให้เกิดการเจลลิตในเซชันของเมล็ดข้าวดำตามไปด้วย ส่วนสาเหตุที่ความแข็งแรงจากการวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสน้อยกว่า อาจเป็นเพราะเม็ดแป้งบริเวณภายนอกถูกเจลลิตในเซชันมากกว่า ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะนุ่มขึ้นห่อหุ้มส่วนภายในที่ยังแข็งไว้ จึงทำให้ค่าความแข็งที่วัดจากการกดมีค่าต่ำลง [28,29] ค่าการยึดติดของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงด้วย ECW และ CON2 มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ข้าวกล้อง

งอกที่ผ่านการหุงด้วย MCO มีค่าการยึดติดที่ต่ำสุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ข้าวกล้องงอกที่ได้จากการหุงด้วย ECW และ CON2 มีลักษณะเหนียวติดมือกว่าวิธีอื่นๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าความแข็ง จะพบว่าค่าการยึดติดนั้นแปรผกผันกับค่าความแข็ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Leelayuthsoontorn และ Thipayarat [30] ที่พบว่าระหว่างกระบวนการเกิดเจลลิตในเซชัน เม็ดแป้งที่บวมจะเกิดการขยายตัวและแตกออก อีกทั้งมีการชะขององค์ประกอบอื่นๆ เช่น อะมิโลเพคติน อะมิโลส และน้ำตาล ออกไป ซึ่งองค์ประกอบที่ถูกชะออกมานั้นจะเป็นผลให้ค่าความแข็งของข้าวสุกลดลง ในขณะที่ค่าการยึดติดจะเพิ่มขึ้น สำหรับค่าการเกาะติด พบว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุง MCO มีค่าการเกาะติดต่ำกว่าข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงด้วยวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงด้วย MCO มีขยายตัวของเมล็ดข้าวดำ (Table 2) ซึ่งแบ่งที่ถูการเจลลิตในเซชันเป็นส่วนที่มีความเหนียวนุ่มทำให้เกิดการเกาะติดกัน ยังคงถูกห่อหุ้มภายในเยื่อหุ้มเมล็ด จึงทำให้ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงด้วย MCO มีการเกาะติดกันระหว่างเมล็ดข้าวที่ต่ำกว่าวิธีอื่นๆ แต่ทั้งนี้ค่าการเกาะติดนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของเมล็ดข้าวและอัตราส่วนน้ำต่อข้าวที่ใช้ในการหุง ซึ่งถ้าหากความชื้นของเมล็ดต่ำจะส่งผลให้ค่าการเกาะติดต่ำด้วย [31] ในขณะที่สัดส่วนน้ำต่อข้าวที่สูงจะส่งผลให้ค่าการเกาะติดสูงขึ้น [32]

*Inthawoot.s@chula.ac.th

อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Phayatai Rd., Wangmai, Pathumwan, Bangkok.

Table 4 Effect of cooking methods on textural properties of cooked germinated brown rice

cooking method	hardness (N)	adhesiveness(N.s)	cohesiveness
ECW	13.69 ^d ± 0.40	0.22 ^a ± 0.00	0.43 ^a ± 0.02
ECO	15.02 ^c ± 0.54	0.20 ^b ± 0.01	0.42 ^a ± 0.02
MCO	20.22 ^a ± 0.59	0.14 ^d ± 0.00	0.38 ^b ± 0.02
CON1	16.13 ^b ± 0.64	0.18 ^c ± 0.00	0.42 ^a ± 0.01
CON2	13.33 ^d ± 0.68	0.22 ^a ± 0.01	0.42 ^a ± 0.01

Remark: Data are expressed as means ± SD (n=5)

^{a-d}Means with the different letters in the same column were significantly different (p ≤ 0.05)

สรุปผล

วิธีการหุงข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ให้ข้าวที่มีปริมาณกาบาสูงที่สุดคือ การหุงด้วย ECO (78.43 mg/100g grain) ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงด้วย ECW, ECO และ CON2 มีอัตราการดูดซับน้ำสูงที่สุด โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงสุกทั้ง 5 วิธี มีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในซ้อยู่ในช่วง 60.48–61.49°C และวิธีการหุงที่ทำให้ข้าวกล้องงอกสุกมีระดับการเกิดเจลลิตีในซมมากที่สุด คือการหุงด้วย ECW ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 68.36 ในขณะที่การหุงแบบ CON1 มีค่าต่ำที่สุด (ร้อยละ 62.14) ค่าความต่างของสี (ΔE) ของข้าวกล้องงอกสุกที่ผ่านการหุงด้วยวิธีต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนลักษณะของเนื้อสัมผัส พบว่าการหุง MCO ให้ข้าวที่มีค่าความแข็งสูงที่สุด ในขณะที่การหุงด้วย ECW และ CON2 ให้ค่าความแข็งต่ำที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงบประมาณจาก กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (RES560530049-FW)

เอกสารอ้างอิง

[1] Banchuen, J., Thammarutwasik, P., Ooraikul, B., Wuttijumnong, P. and Sirivongpaisal, P. (2010). Increasing the bio-active compounds contents by optimizing the germination conditions of Southern Thai brown rice.

Songklanakarin Journal of Science and Technology. 32(3): 219-230.

- [2] Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. (2007). Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. Journal of Food Engineering. 78: 556-560.
- [3] Klunk, W.E., Debnath, M.L., McClure, R.J. and Pettegrew, J. W. (1995). Inactivity of phosphoethanolamine, an endogenous GABA analog decreased in Alzheimer's disease, at GABA binding sites. Life Sciences. 56(26): 2377-2383.
- [4] Oh, C.H. and Oh, S.H. (2004). Effect of germinated brown rice extracts with enhanced levels of GABA on cancer cell proliferation and apoptosis. Journal of Medicinal Food. 7(1): 19-23.
- [5] ฤทัยรัตน์ สวัสดิวงศ์. (2552). ข้าวกล้องงอกจากข้าวพื้นเมืองภาคใต้ของไทย : สภาวะในการงอก และสมบัติการต้านออกซิเดชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [6] Ritruengdech, K., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N. and Chaiyakul, S. (2011). Effects of pregelatinization on physico-chemical properties of flour of germinated

*Inthawoot.s@chula.ac.th

อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Phayatai Rd., Wangmai, Pathumwan, Bangkok.

- brown rice cv. Chainart 1. Agricultural Science Journal. 42(2)(Suppl): 425-428.
- [7] Ritruengdech, K., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N. and Chaikyul, S. (2011). Effects of pregelatinization on physicochemical properties of flour of germinated brown rice cv. KDML 105. Agricultural Science Journal. 42(2)(Suppl): 117-120.
- [8] Mahadevamma, S. and Tharanathan, R. N. (2007). Processed rice starch characteristics and morphology. European Food Research and Technology. 225: 603-612.
- [9] Daomukda, N., Moongngarm, A., Payakapol, L. and Noisuwan, A. (2011). Effect of cooking methods on physicochemical properties of brown rice. In Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE, pp V1-1-V1-4. February 26, 2011, Singapore. Singapore.
- [10] Khwanchai, P., Chinprahast, N., Pichyangkura, R. and Chaiwanichsiri, S. (2014). Gamma-aminobutyric acid and glutamic acid contents, and the GAD activity in germinated brown rice (*Oryza sativa* L.): Effect of rice cultivars. Food Science and Biotechnology. 23(2): 373-379.
- [11] Juliano, B.O. and Perez, C.M. (1984). Results of a collaborative test on the measurement of grains elongation of milled rice during cooking. Cereal Science. 2: 281-292.
- [12] Center of Drug Evaluation and Research (CDER). (1994). Validation of chromatographic methods. Retrieved May 29, 2013 from <http://www.fda.gov/>downloads/Drugs/Guidances/UCM134409.pdf
- [13] Yadav, R.B., Khatkar, B.S. and Yadav, B.S. (2007). Morphological, physicochemical and cooking properties of some Indian rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Journal of Agricultural Technology. 3(2): 203-210.
- [14] Shelp, B.J., Bown, A.W. and McLean, M.D. (1999). Metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid. Trends in Plant Science. 4(11): 446-452.
- [15] Snedden, W.A., Chung, I., Pauls, R.H., and Bown, A.W. (1992). Proton/L-glutamate symport and the regulation of intracellular pH in isolated mesophyll cells. Plant Physiology. 99: 665-671.
- [16] Zhang, X., Baker, D.A., Shen, H., Carson, D.S. and Kalivas, P. W. (2002). Group II metabotropic glutamate receptors modulate extracellular glutamate in the nucleus accumbens. Pharmacology and Experimental Therapeutics. 300: 162-171.
- [17] Takahashi, H., Matsumura, H., Yamada, M. K. and Uchimiya, H. (2008). The cell death factor, cell wall elicitor of rice blast fungus (*Magnaporthe grisea*) causes metabolic alterations including GABA shunt in rice cultured cells. Plant Signaling and Behavior. 3(11): 945-953.
- [18] BeMiller, J.N. (2007). Carbohydrate chemistry for food scientists (2nded.). Minnesota: Eagan Press.
- [19] Jaiboon, P., Prachayawarakorn, S., Devahastin, S. and Soponronnarit, S. (2010). Effects of gelatinization on textural properties of brown waxy rice. Agricultural Science. 41: 393-396.

*Inthawoot.s@chula.ac.th

อาจารย์ประจำ ดร. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
Lecturer, Dr., Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Phayatai Rd., Wangmai, Pathumwan, Bangkok.

- [20] Abdel-Aal, E. -S. M. and Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*. 76: 350-354.
- [21] Mazza, G. and Miniati, E. (1993). *Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains*. Florida: CRC Press.
- [22] Frei, M. and Becker, K. (2005). Fatty acids and all-trans-beta-carotene are correlated in differently colored rice landraces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85: 2380-2384.
- [23] Tan, J., Baisakh, N., Oliva, N., Parkhi, V., Rai, M., Torrizo, L., Datta, K. and Datta, S.K. (2005). The screening of rice germplasm, including those transgenic rice lines which accumulate beta-carotene in their polished seeds, for their carotenoid profile. *International Journal of Food Science and Technology*. 40: 563-569.
- [24] Abdul-Hamid, A., Sulaiman, R.R.R., Osman, A. and Saari, N. (2007). Preliminary study of the chemical composition of rice milling fractions stabilized by microwave heating. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20: 627-637.
- [25] Williams, A.W., Boileau, T.W., and Erdman, J.W. (1998). Factors influencing the uptake and absorption of carotenoids. *Experimental Biology and Medicine*. 218: 106-108.
- [26] Delgado-Vargas, F., Jiménez, A. R., Peredes-López, O. (2000). *Natural Pigments: Carotenoids, anthocyanins, and betalains – characteristics, biosynthesis, processing, and stability*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 40(3): 173-289.
- [27] Eliasson, A. C. (2006). *Carbohydrates in Food*. New York: Marcel Dekker Inc.
- [28] Jaiboon, P., Prachayawarakorn, S., Devahastin, S. and Soponronnarit, S. (2009). Effects of fluidized bed drying temperature and tempering time on quality of waxy rice. *Journal of Food Engineering*. 95(3): 517-524.
- [29] Wu, D., Shu, Q., Wang, Z. and Xia, Y. (2002). Effect of gamma irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. *Radiation Physics and Chemistry*. 65: 79-86.
- [30] Leelayuthsoontorn, P. and Thipayarat, A. (2006). Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. *Food Chemistry*. 96(4): 606-613.
- [31] Gujral, H.S. and Kumar, V. (2003). Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice. *Journal of Food Engineering*. 59(2-3): 117-121.
- [32] Bett-Garber, K.L., Champagne, E.T., Ingram, D.A. and McClung, A.M. (2007). Influence of water-to-rice ratio on cooked rice flavor and texture. *Cereal Chemistry*. 84: 614-619.