ผลของการแปรรูป การเก็บรักษา และการให้ความร้อนซ้ำต่อปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ต

ขวัญจิตต์ อนุกูลวัฒนา[1*] ขนิษฐา ศรีนวล[1]
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ต.สะเดียง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000
และ เอนก หาลี[2]
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ต.นครชุม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร 62000

บทคัดย่อ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวเจ้ากล้องสีม่วงเข้ม มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง การแปรรูปข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ตเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มและยืดอายุการเก็บรักษาข้าวในรูปแบบที่พร้อมบริโภค เป็นการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่มีความสะดวกในการบริโภค แต่กระบวนการแปรรูปต่างๆ การเก็บรักษา และการให้ความร้อนซ้ำก่อนการบริโภค ล้วนส่งผลกระทบต่อปริมาณและประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการแปรรูป การเก็บรักษา และการให้ความร้อนซ้ำต่อปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยพบว่ากระบวนการแปรรูปวัตถุดิบข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ต ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงถึงร้อยละ 83.27 จากวัตถุดิบข้าวเริ่มต้น สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระทั้งจากการวัดด้วยวิธี DPPH และ FRAP ให้ผลที่สอดคล้องกันคือ เมื่อผ่านการล้างน้ำจะมีค่าลดลง แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อผ่านการให้ความร้อน ทำให้ข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ตที่ผลิตใหม่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระสูงมากเมื่อเทียบกับวัตถุดิบข้าวแสดงให้เห็นว่า สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติของข้าวยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระถึงแม้จะผ่านกระบวนการให้ความร้อนในระดับสเตอริไลซ์แต่จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น และเมื่อนำมาให้ความร้อนซ้ำด้วยการต้มในน้ำเดือดและใช้ตู้อบไมโครเวฟ อย่างไรก็ตาม พบว่าการใช้ตู้อบไมโครเวฟรักษาปริมาณ และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าการนำไปต้มในน้ำเดือด

คำสำคัญ : สารต้านอนุมูลอิสระ / แอนโทไซยานิน / สารประกอบฟีนอลิก / ข้าวพร้อมบริโภค

* *Corresponding Author : kwanjit.anu@pcru.ac.th*

[1] *อาจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*

[2] *อาจารย์ โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*

Effects of Processing, Storage and Reheating on the Amounts and Capacities of the Antioxidants of Ready-to-Eat Rice in Retort Pouch

Kwanjit Anukulwattana[1*], Khanittha Srinual[1]
Phetchabun Rajabhat University, Sadiang, Muang, Phetchabun 67000
and Anek Halee[2]
Kamphaeng Phet Rajabhat University, Nakornchum, Muang, Kamphaeng Phet, 62000

Abstract

Riceberry, a Thai variety of rice, is a dark purple whole grain rice, which is rich in antioxidants. When the rice is processed in a retort pouch, the shelf life of the rice is extended in addition to making it more convenient to consume as a ready-to-eat food. This dual benefit is very appealing to consumers who are looking for healthy and convenient foods. However, the production, storage and reheating of the rice may adversely affect the amounts and capacities of the antioxidants. Therefore, this study was designed to investigate the effects of processing, storage and reheating on the amounts and capacities of riceberry antioxidants. The results showed that the processing of raw riceberry into the ready-to-eat rice in retort pouches caused a marked decrease in the amount of anthocyanins by 83.27% compared to that in the uncooked rice. Moreover, the amount of phenolic compounds and the capacities of antioxidants in riceberry, as measured by DPPH and FRAP were noted to decrease when the rice was washed but increase after being reheated. Therefore, the new ready-to-eat riceberry contains a higher amount of phenolic compounds and antioxidant capacities compared to raw rice. Natural antioxidants retained their activity after sterile thermal processing. Nevertheless, the ready-to-eat riceberry nutrients gradually decreased upon storage at room temperature for 180 days. In terms of the effect of the reheating method, microwave heating could better maintain the antioxidants and antioxidant capacities than boiling in water.

Keywords : Antioxidant / Anthocyanin / Phenolic Compound / Ready to Eat Rice

* *Corresponding Author : kwanjit.anu@pcru.ac.th*

[1] *Lecturer, Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology.*

[2] *Lecturer, Division of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology.*

1. บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อประชากรโลกผู้คนกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก [1, 2] และจากกระแสความตื่นตัวในด้านการดูแลสุขภาพ ทำให้การบริโภคข้าวไม่ใช่เพียงเพื่อให้อิ่มท้องเท่านั้น แต่เป็นการบริโภคข้าวเพื่อคุณค่าทางโภชนาการ และการป้องกันโรค [3] จึงทำให้ข้าวสีกลายเป็นอาหารสุขภาพที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากข้าวสีมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอนโทไซยานิน [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] สำหรับประเทศไทยนอกจากมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักแล้ว ข้าวยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญต่อการส่งออกของประเทศ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาข้าวไทยได้รับการพัฒนาพันธุ์ข้าวและคุณภาพมาอย่างต่อเนื่องจนได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคทั่วโลกทำให้ข้าวไทยเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ [12] การส่งออกข้าวสีของประเทศไทยก็มีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อยๆ ในปี พ.ศ.2559 ประเทศไทยมีการส่งออกข้าวสีปริมาณหนึ่งหมื่นหนึ่งพันตัน ไปยังหลายประเทศทั้งในเอเชีย ยุโรป และตะวันออก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นข้าวกล้องแดงและข้าวกล้องดำที่ไม่ได้มีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าว [13] เพราะผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวจากข้าวสีนั้น ยังมีน้อยมาก ดังนั้นการแปรรูปข้าวสีเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองวิถีชีวิตของสังคมเมืองที่มีมากขึ้นในทุกประเทศ การใช้ชีวิตที่เร่งรีบทำให้ต้องการอาหารที่ใช้เวลาในการเตรียมน้อย พกพาสะดวก และในขณะเดียวกันก็เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ในปัจจุบันพบว่าอาหารพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุงรีทอร์ตมีแนวโน้มเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากขึ้นโดยเฉพาะในตลาดที่พัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น สหภาพยุโรป และสหรัฐอเมริกาให้การตอบรับอาหารพร้อมบริโภคที่บรรจุในถุงรีทอร์ตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีส่วนแบ่งของตลาดที่มากขึ้นตามลำดับ และเข้ามาทดแทนตลาดอาหารบรรจุกระป๋อง [14]

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่ได้มาจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้ากล้องสีม่วงเข้ม มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ-ปานกลาง สามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และมีสมบัติที่ดีในการต้านเบาหวาน [15] สมบัติด้านโภชนาการที่โดดเด่นของข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือ มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงทั้งชนิดที่ละลายในน้ำและละลายในไขมัน [16] การแปรรูปข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ตเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตข้าว เพิ่มอายุการเก็บรักษาข้าวในรูปแบบที่พร้อมบริโภค เป็นการเพิ่มโอกาสในการส่งออก อีกทั้งยังตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่มีความสะดวกรวดเร็วในการเตรียมก่อนการบริโภค [17] แต่กระบวนการแปรรูปต่างๆ ได้แก่ การล้างน้ำ การต้ม การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสูง เพื่อเปลี่ยนข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ต รวมถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ และการให้ความร้อนซ้ำก่อนการบริโภคนั้น ล้วนมีผลกระทบต่อปริมาณและประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งสิ้น [18, 19] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการแปรรูป การเก็บรักษา และการให้ความร้อนซ้ำต่อปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ตเพื่อเป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นการส่งเสริมศักยภาพของข้าวไทยในการต่อยอดสู่ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

2. วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบ

ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่อินทรีย์ จากกลุ่มวิสาหกิจผู้ผลิตข้าวปลอดสารพิษชอนไพร จังหวัดเพชรบูรณ์

2.2 การผลิตข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ต

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาล้างน้ำ 1 นาที เทน้ำออก หลังจากนั้นผสมข้าวกับน้ำในอัตราส่วน 1:1.5 นำไปให้ความร้อนในหม้อหุงข้าวไฟฟ้า เป็นเวลา 30 นาที บรรจุในถุงรีทอร์ตขนาด 10x15 เซนติเมตรน้ำหนัก 90 กรัม/ถุง ปิดผนึกแบบสุญญากาศ แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เวลา 25 นาที F_0=4 นาที หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่สำเร็จรูปบรรจุถุงรีทอร์ตไปวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่างๆ และทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง โดยมีการวัดค่าคุณภาพทุก 30 วันเป็นระยะเวลา 180 วัน หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์มาให้ความร้อนซ้ำ 2 วิธี คือ การต้มในน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส 3 นาที และการใช้ตู้อบไมโครเวฟ กำลังไฟ 600 วัตต์ 2 นาที

2.3 การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากตัวอย่าง

การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระดัดแปลงวิธีการของ Zlotek และคณะ [20] โดยทำการปั่นตัวอย่างให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น จากนั้นชั่งตัวอย่างจำนวน 5 กรัม เติมเมทานอล 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าสารที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำการสกัดด้วยวิธีเดิมอีกครั้ง แล้วนำสารสกัดที่ได้ทั้งสองครั้งมารวมกัน ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอลบรรจุใส่ขวดที่ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์เพื่อนำไปทดสอบสมบัติของสารสกัดต่อไปโดยสารสกัดคำนวณในรูปของน้ำหนักแห้งของข้าว

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินด้วยเทคนิค pH differential method โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Giusti และ Wrolstad [21] ใช้บัฟเฟอร์ KCl pH 1 และ CH_3COONa pH 4.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ 700 นาโนเมตร คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินในรูปของ cyanidin-3-glucoside โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

Anthocyanins (mg/100 g)=$(A \times M_w \times 1000)/(\varepsilon \times 1)$

เมื่อ A = $(A_{520} - A_{700})$ pH1.0-$(A_{520} - A_{700})$ pH4.5

M_w = 449.2 g/mol for cyanidin-3-glucoside

ε = 26900 molar extinction coefficient in L/mol/cm for cyanidin-3-glucoside

1 = pathlength in cm

1000 = conversion from g to mg

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดด้วยเทคนิค Folin-Ciocalteu method โดยใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน เริ่มจากการนำสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 200 ไมโครลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu's reagent ที่ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 เท่าปริมาตร 800 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5ปริมาตร 2 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน 2 นาที เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ สำหรับ blank ใช้น้ำกลั่นแทนสารสกัดตัวอย่าง และใช้กรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 5, 10, 20, 50 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นสารละลายมาตรฐาน โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับสารสกัดตัวอย่างข้างต้นโดยเปลี่ยนจากสารสกัดตัวอย่างเป็นสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก แล้วนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดสอบสารสกัดจากข้าวไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม [22] โดยรายงานผลในหน่วย mg gallic acid ต่อตัวอย่างข้าว 100g

2.6 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ

ทดสอบประสิทธิภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระ 2 วิธี คือ

- DPPH radical scavenging ability โดยใช้ 2, 2 - diphenyl-1-picryl-hydrazyl radical (DPPH) เป็นอนุมูลอิสระ เริ่มจากการนำสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 150 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.6 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเก็บในที่มืด 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร สำหรับ blank ใช้น้ำกลั่นแทนสารสกัดตัวอย่างและใช้ Trolox ความเข้มข้น 25, 50, 100, 300 และ 600 µM เป็นสารมาตรฐาน นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดสอบสารสกัดจากตัวอย่างข้าวไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระรายงานผลในหน่วยของ µmol Trolox ต่อตัวอย่างข้าว 100g [23]

- Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) โดยใช้ FRAP เป็นอนุมูลอิสระ เริ่มจากปิเปตสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 150 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองเติมสารละลาย FRAP ปริมาตร 2850 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันเก็บในที่มืด 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร สำหรับ blank ใช้น้ำกลั่นแทนสารสกัดตัวอย่างและใช้ Trolox ความเข้มข้น 25, 50, 100, 300 และ 600 µmol เป็นสารมาตรฐาน รายงานผลในหน่วยของ µmol Trolox ต่อตัวอย่างข้าว 100g [24]

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของการแปรรูปต่อปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ

ผลของการแปรรูปต่อปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า วัตถุดิบข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 70.79 mg/100 g เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูป ได้แก่ การล้างน้ำ การต้ม และการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เวลา 25 นาที ปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวลดลงเรื่อยๆ เหลือ 62.27 41.14 และ 11.84 mg/100 g ตามลำดับ ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคเหลือปริมาณแอนโทไซยานินเพียงร้อยละ 16.72 จากปริมาณเริ่มต้นเท่านั้น เนื่องจากแอนโทไซยานินในข้าวสีจะพบอยู่ในส่วนของแวคิวโอ และไม่สร้างพันธะกับผนังเซลล์ จึงอยู่ในรูปอิสระ ทำให้แอนโทไซยานินเป็นสารที่ละลายน้ำได้ง่าย สามารถถูกชะล้างออกไปกับน้ำที่ใช้ในการแปรรูปได้ [6,7] Finocchiaro และคณะ [11] รายงานว่าน้ำที่ใช้แปรรูปข้าวสีมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงถึงร้อยละ 57.66 จากวัตถุดิบ นอกจากนี้แอนโทไซยานินยังเป็นสารที่ไม่เสถียร เมื่อโดนความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและสลายตัวอย่างรวดเร็วโดย Hiemori และคณะ [25] รายงานว่า การให้ความร้อนร่วมกับความดันทำให้แอนโทไซยานินในข้าวสีดำของแคลิฟอร์เนีย (japonica var.) ลดลงถึงร้อยละ 80 Surh and Koh [26] พบว่าการคั่ว และการต้มข้าวสีดำของเกาหลีทำให้แอนโทไซยานินลดลงถึงร้อยละ 94 และ 77 ตามลำดับ

สำหรับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 85.03 mg gallic acid/100 g เมื่อผ่านการล้างน้ำปริมาณฟีนอลิกมีค่าลดลง แต่เมื่อผ่านการให้ความร้อนทั้งจากการหุงและการฆ่าเชื้อระดับสเตอริไลซ์ ปริมาณฟีนอลิกกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวพร้อมบริโภคมีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับ 85.05 mg gallic acid/100 g ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับปริมาณเริ่มต้น (85.03 mg gallic acid/100 g) สารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ภายในเซลล์มีทั้งรูปแบบอิสระ (free form) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ และแบบไม่อิสระ (bound form) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เนื่องจากมีการสร้างพันธะกับสารประกอบอื่น โดยมากมักจะรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ หรือรวมตัวกับสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเองหรือกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน แอลคาลอยด์ ลิปิด และเทอร์พีนอยด์ เป็นต้น ดังนั้น การแช่น้ำ หรือการล้างน้ำจึงสามารถทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปอิสระได้ [27] Walter และคณะ [9] รายงานว่า ในการผลิตข้าวนึ่ง มีการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกประมาณ 10-40 mg gallic/100 g ในน้ำข้าวที่ใช้แช่ข้าว สำหรับผลของความร้อนต่อปริมาณฟีนอลิกนั้น การศึกษาก่อนหน้านี้ได้รายงานว่า การใช้ความร้อนมักเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในธัญพืชต่างๆ ลดลง [9, 11, 28, 29, 30] โดยเฉพาะการให้ความร้อนแบบร้อนชื้นในสภาวะที่มีออกซิเจนจะยิ่งเร่งการเสื่อมสลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก [7, 30] แต่สำหรับผลการวิจัยนี้ เมื่อให้ความร้อนแก่ข้าว โดยการหุงข้าวในน้ำซึ่งมีปริมาณน้ำ 1.5 เท่าของปริมาณข้าวและน้ำนี้ถูกดูดซึมเข้าไปในข้าวจนหมด และการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เวลา 25 นาที กลับทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Zaupa และคณะ [6] ที่พบว่าการให้ความร้อนแก่ข้าวสีดำด้วยวิธีรีซอตโต้ (risotto, มีการดูดซึมน้ำกลับเข้าข้าวจนหมด) ทำให้ protocatechuic acid (PCA) ซึ่งเป็นกรดฟีนอลิกที่สำคัญที่อยู่ในรูปแบบอิสระ มีปริมาณเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า ในขณะที่กรดฟีนอลิกชนิดอื่น ทั้งรูปแบบอิสระ เช่น m-Coumaric acid Sinapic acid O-dihexoside และแบบไม่อิสระ เช่น ferulic acid p-coumaric acid มีปริมาณลดลง เช่นเดียวกับการวิจัยของ Chattongpisut และคณะ [1] พบว่า การให้ความร้อนแก่ข้าวสีม่วงด้วยการหุงในหม้อหุงข้าวและใช้หม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ทำให้ปริมาณ PCA เพิ่มขึ้น 2 เท่า และ 3 เท่า จากวัตถุดิบข้าว ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิกแบบอิสระนี้ ไม่ได้เกิดจากการลดลงของฟีนอลิกแบบไม่อิสระที่ถูกแตกพันธะออก [6] แต่เกิดจากการสลายตัวของแอนโทไซยานิน โดยความร้อนจะไปสลายพันธะไกลโคไซด์ของ cyanidin-3-glucoside ซึ่งเป็นแอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดในข้าว ได้เป็น cyanidin และกลูโคสอิสระ หลังจากนั้นวงแหวน A และ B ของ cyaniding ซึ่งมีความเสถียรต่ำในสภาวะที่เป็นกลาง จะเปลี่ยนรูปเป็น phloroglucinaldehyde และ PCA ตามลำดับ [1, 6, 25]

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอร์รี่ตั้งแต่วัตถุดิบข้าว จนถึงผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ตแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า เมื่อข้าวผ่านกระบวนการล้างน้ำ ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของข้าวมีค่าลดลง แต่จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำข้าวนั้นมาผ่านกระบวนการหุง และการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน โดยผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมบริโภคที่บรรจุในถุงรีทอร์ต มีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า หรือไม่แตกต่างกับวัตถุดิบข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อวัดด้วยวิธี DPPH และ FRAP ตามลำดับ ทั้งนี้การวัดด้วยวิธี DPPH และ FRAP อาจไม่ได้สอดคล้องกันทั้งหมด เนื่องจากสองวิธีนี้มีกลไกในการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระและกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องใช้การทดสอบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระหลายวิธีเพื่อเปรียบเทียบกัน โดยวิธี DPPH เป็นการทดสอบความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลอิสระของ $DPPH^{\bullet}$ และวิธี FRAP เป็นการทดสอบความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่เป็นตัวแทนของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ [31] อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระมักใช้วิธี FRAP และ DPPH ร่วมกันเพื่อประเมินกิจกรรมโดยรวมของสารต้านอนุมูลอิสระ [10, 32, 33] ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของข้าวทั้งที่วัดด้วยวิธี DPPH และ FRAP มีความสัมพันธ์เชิงบวกอยู่ในระดับมากกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.77 และ 0.79 ตามลำดับ แสดงว่าสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารสำคัญที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวไรซ์เบอร์รี่ และในอาหารอื่นๆ เช่น มัลเบอร์รี แบล็กเบอร์รี เมล็ดแฟลกซ์ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต โสม เป็นต้น [9] แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นกับโครงสร้างทางเคมีของสารนั้นด้วย โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในรูปอิสระจะมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารประกอบฟีนอลิกในรูปแบบไม่อิสระ [6, 19, 27] และยังมีสารประเภทอื่นที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้แก่ แคโรทีนอยด์ วิตามินอี แกมมาโอรีซานอล วิตามินซี แทนนิน และแร่ธาตุอื่นๆ เป็นต้น [1, 6, 31]

จากผลการวิจัยในขั้นตอนนี้ แสดงให้เห็นว่า สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติของข้าวยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระถึงแม้จะผ่านกระบวนการล้างน้ำ และการให้ความร้อนในระดับสเตอริไลซ์จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ตที่เพิ่งผลิตใหม่ยังคงมีคุณค่าในการต้านอนุมูลอิสระอยู่สูงเมื่อเทียบกับวัตถุดิบข้าว

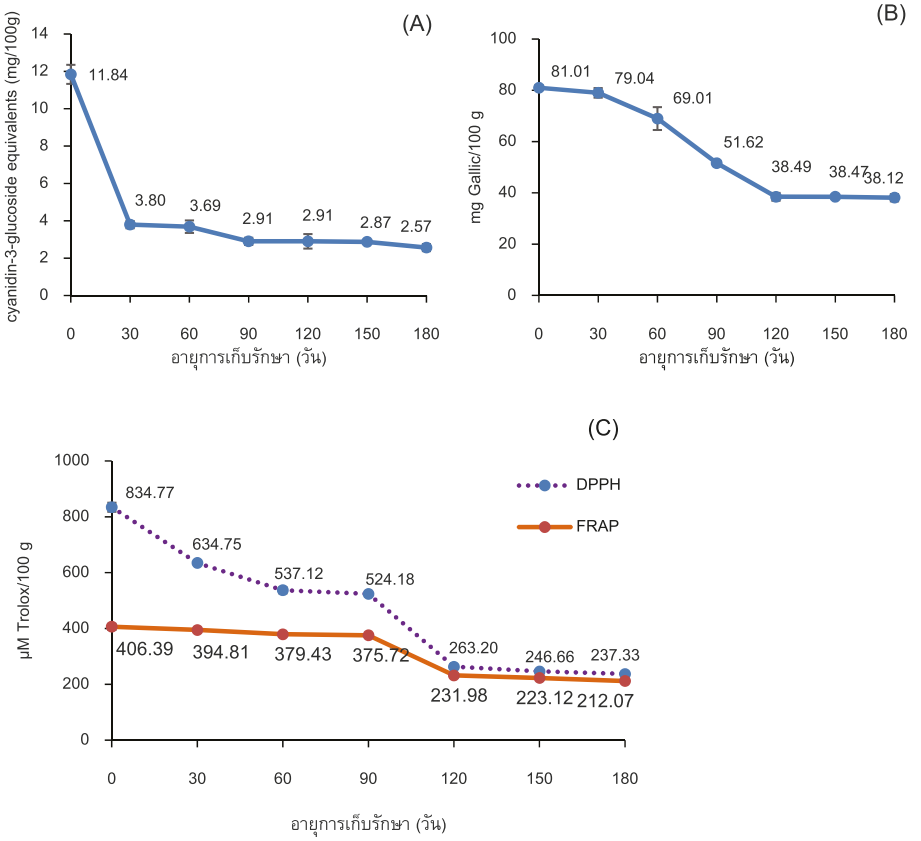
ตารางที่ 1 ผลของการแปรรูปต่อปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอร์รี

วิธีการแปรรูป	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ		ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ	
	แอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-glucoside /100g)	สารประกอบฟีนอลิก (mg gallic/100g)	DPPH (μM Trolox/100g)	FRAP (μM Trolox/100g)
วัตถุดิบข้าว	$70.79^{a} \pm 1.30$	$85.03^{a} \pm 0.30$	$744.78^{b} \pm 27.26$	$392.46^{a} \pm 11.36$
การล้างน้ำ	$62.27^{b} \pm 1.37$	$67.85^{d} \pm 0.91$	$610.59^{d} \pm 24.05$	$335.10^{b} \pm 10.65$
การหุง	$41.14^{c} \pm 1.36$	$78.36^{c} \pm 0.64$	$692.44^{c} \pm 4.35$	$409.41^{a} \pm 6.84$
การฆ่าเชื้อ	$11.84^{d} \pm 0.51$	$85.05^{a} \pm 0.90$	$834.77^{a} \pm 16.26$	$406.39^{a} \pm 10.78$

หมายเหตุ : อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$)

3.2 ผลของการเก็บรักษาต่อปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ

ปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ต เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 180 วัน แสดงดังรูปที่ 1 พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกรวมถึงประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระทั้งวิธี DPPH และ FRAP ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเฉพาะแอนโทไซยานิน มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอายุการเก็บรักษา 30 วันแรก จาก 11.84 mg/100g เหลือเพียง 3.80 mg/100g หรือลดลงร้อยละ 67.90 จากผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ต แต่หากคิดจากวัตถุดิบข้าวไรซ์เบอร์รีเริ่มต้น ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงถึงร้อยละ 94.63 การลดลงของสารต้านอนุมูลอิสระนี้เกิดจากปฏิกิริยาการเสื่อมสลายทางเคมีในระหว่างการเก็บรักษา [4] จากงานวิจัยของ Zhou และคณะ [19] ทำการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 4 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และโปรแอนโทไซยานิดิน และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระทั้งในส่วนอิสระและไม่อิสระลดลงมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และงานวิจัยของ Chmiel และคณะ [30] พบว่า ข้าวกล้อง และข้าวขาวขัดสีที่หุงสุกแล้ว ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีปริมาณและประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าที่เก็บรักษาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวมีผลต่อปริมาณและประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นจึงแนะนำให้บริโภคข้าวที่หุงสุกใหม่เพื่อให้ได้คุณค่าทางโภชนาการสูงสุด



รูปที่ 1 ผลของการเก็บรักษาข้าวพร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ทเป็นระยะเวลา 180 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ต่อปริมาณแอนโทไซยานิน (A), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (B), และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH และ FRAP (C)

3.3 ผลของการให้ความร้อนซ้ำต่อปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ

โดยทั่วไป ผู้บริโภคจะทำการให้ความร้อนซ้ำกับผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุถุงรีทอร์ตก่อนการบริโภค เพื่อให้มีสภาวะเหมือนการบริโภคจริง งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนซ้ำต่อปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพร้อมบริโภค โดยเปรียบเทียบกันสองวิธีคือ การต้มในน้ำร้อน และการใช้ตู้อบไมโครเวฟ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ข้าวที่ให้ความร้อนซ้ำด้วยตู้อบไมโครเวฟ จะเหลือปริมาณแอนโทไซยานิน และสารประกอบฟีนอลิก รวมถึงประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวที่ให้ความร้อนซ้ำด้วยวิธีต้มในน้ำร้อน โดย Zhao และคณะ [34] อธิบายว่า วิถีการเสื่อมสลายของแอนโทไซยานินที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยตู้อบไมโครเวฟจะแตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยน้ำ จึงทำให้ผลที่เกิดขึ้นระหว่างการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและน้ำแตกต่างกันไปด้วย โดยวัตถุที่ดูดซับพลังงานไมโครเวฟจะเกิดการสั่นสะเทือนของอนุภาคที่มีประจุ และ/หรือการหมุนตัวของอนุภาคที่มีขั้ว ทำให้ชนกับอนุภาคอื่นที่อยู่ข้างเคียงเป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว และเกิดการสูญเสียคุณภาพด้านต่างๆ เช่น สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่าการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม [35] ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chmiel และคณะ [30] ที่เปรียบเทียบวิธีการให้ความร้อนแก่ข้าวด้วยวิธีหุงในหม้อหุงข้าว และการใช้ตู้อบไมโครเวฟ โดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากัน คือ 1:2 พบว่าข้าวที่ให้ความร้อนในตู้อบไมโครเวฟ กำลังไฟ 450 วัตต์ 20 นาที ก่อให้เกิดการสูญเสียต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระน้อยมาก ทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวที่หุงด้วยหม้อหุงข้าว แต่ก็มีงานวิจัยที่ให้ผลในทางตรงกันข้าม โดย Chatthongpisut และคณะ [1] รายงานว่าการให้ความร้อนแก่ข้าวสีม่วงในตู้อบไมโครเวฟ โดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 9 กำลังไฟ 800 วัตต์ 13 นาที จะทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานิน แลสารประกอบฟีนอลิกแบบอิสระมากที่สุด และยังทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งเซลล์มะเร็งที่ลำไส้ลดลงมากที่สุดด้วยเมื่อเทียบกับวิธีการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดัน และหม้อหุงข้าว ความแตกต่างของผลการวิจัยนี้ อาจเนื่องจากความแตกต่างในรายละเอียดของการวิจัย เช่น วัตถุดิบข้าว กระบวนการแปรรูป อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ กำลังวัตต์ของตู้อบไมโครเวฟ ระยะเวลาการให้ความร้อน เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ

ตารางที่ 2 ผลของการให้ความร้อนซ้ำต่อปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ต

วิธีการให้ความร้อนซ้ำ	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ		ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ	
	cyanidin-3-glucoside equivalents (mg/100g)	phenolic compound (mg gallic/100g)	DPPH (μM Trolox/100g)	FRAP (μM Trolox/100g)
ข้าวก่อนให้ความร้อน	2.57^{a} ± 0.19	38.12^{a} ± 1.40	237.33^{a} ± 3.09	212.07^{a} ± 2.06
น้ำร้อน	1.57^{b} ± 0.20	30.01^{b} ± 1.40	173.09^{c} ± 3.09	148.25^{c} ± 2.06
ไมโครเวฟ	2.24^{a} ± 0.20	37.31^{a} ± 1.40	224.84^{b} ± 5.35	190.11^{b} ± 1.18

หมายเหตุ : อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$)

4. สรุป

กระบวนการแปรรูปวัตถุดิบข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ต ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินลดลงอย่างมากในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีค่าลดลงเมื่อผ่านกระบวนการล้างน้ำ แต่เมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยหม้อหุงข้าว และการฆ่าเชื้อระดับสเตอริไลซ์กลับมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนไม่แตกต่างกับปริมาณวัตถุดิบเริ่มต้น ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของข้าวทั้งที่วัดด้วยวิธี DPPH และ FRAP มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมากกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ข้าวไรซ์เบอร์รี่พร้อมบริโภคบรรจุถุงรีทอร์ตที่เพิ่งผลิตใหม่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระสูงมากเมื่อเทียบกับวัตถุดิบเริ่มต้น แต่เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระก็มีค่าลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นจึงแนะนำให้บริโภคข้าวที่หุงสุกใหม่เพื่อให้ได้คุณค่าทางโภชนาการสูงสุด และเมื่อนำข้าวมาให้ความร้อนซ้ำด้วยวิธีการนำไปต้มในน้ำเดือดและในตู้อบไมโครเวฟ พบว่าการให้ความร้อนในตู้อบไมโครเวฟยังคงรักษาปริมาณ และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าการนำไปต้มในน้ำเดือด

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่สนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณที่ปรึกษาทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. Chatthongpisut, R., Schwartz, S.J. and Yongsawatdigul, J., 2015, “Antioxidant Activities and Antiproliferative Activity of Thai Purple Rice Cooked by Various Methods on Human Colon Cancer Cells,” *Food Chemistry*, 188, pp. 99-105.

2. Setyaningsih, W., Saputro, I.E., Palma, M. and Barroso, C.G., 2015, “Optimisation and Validation of the Microwave-assisted Extraction of Phenolic Compounds from Rice Grains,” *Food Chemistry*, 169, pp. 141-149.

3. Apichat, W., 2013, “Riceberry,”*Rice Bowl Magazine*, 1 (12), pp. 12-20. (In Thai)

4. Norkaew, O., Boontakham, P., Dumri, K., Noenplab, A.N.L., Sookwong, P. and Mahatheeranont, S., 2017, “Effect of Post-Harvest Treatment on Bioactive Phytochemicals of Thai Black Rice,” *Food Chemistry*, 217, pp. 98-105.

5. Zaupa, M., Ganino, T., Dramis, L. and Pellegrini, N., 2016, “Anatomical Study of the Effect of Cooking on Differently Pigmented Rice Varieties,” *Food Structure*, 7, pp. 6-12.

6. Zaupa, M., Calani, L., Del Rio, D., Brighenti, F. and Pellegrini, N., 2015, “Characterization of Total Antioxidant Capacity and (poly) Phenolic Compounds of Differently Pigmented Rice Varieties and their Changes during Domestic Cooking,” *Food Chemistry,* 187, pp. 338-347.

7. Min, B., McClung, A. and Chen, M.H., 2014, “Effects of Hydrothermal Processes on Antioxidants in Brown, Purple and Red Bran Whole Grain Rice (*Oryza sativaL.)*,” *Food Chemistry*, 159, pp. 106-115.

8. Bordiga, M., Gomez-Alonso, S., Locatelli, M., Travaglia, F., Coïsson, J.D., Hermosin-Gutierrez, I. and Arlorio, M., 2014, “Phenolics Characterization and Antioxidant Activity of Six different Pigmented *Oryza sativa* L. Cultivars Grown in Piedmont (Italy),” *Food Research International*, 65, pp. 282-290.

9. Walter, M., Marchesan, E., Massoni, P. F.S., da Silva, L.P., Sartori, G.M.S. and Ferreira, R.B., 2013, “Antioxidant Properties of Rice Grains with Light Brown, Red and Black Pericarp Colors and the Effect of Processing,” *Food Research International*, 50 (2), pp. 698-703.

10. Tananuwong, K. and Tewaruth, W., 2010, “Extraction and Application of Antioxidants from Black Glutinous Rice,” *LWT-Food Science and Technology*, 43 (3), pp. 476-481.

11. Finocchiaro, F., Ferrari, B., Gianinetti, A., Dall' Asta, C., Galaverna, G. and Scazzina, F., 2007, "Characterization of Antioxidant Compounds of Red and White Rice and Changes in Total Antioxidant Capacity during Processing," *Molecular Nutrition and Food Research*, 51, pp. 28-34.

12. Hattayananont, A., Soyraya, B., Theeramongkol, P.,2014, "Development of Textile in SLUB Yarn Fabric from Textile Material Waste," Complete Research Report, Home Economics Technology Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (In Thai)

13. Hansuttiwarin, S., 2017, Color Rice [Online], Available : http://www. bangkokbiznews.com/blog/detail/640681 [10 December 2017].

14. Mahunnopkul, W., 2012, New Ready-to-Eat Meal Technology, Packaged in Retort Pouch and Heat-Resistant Trays, Today and ScienceRadio Program Broadcast from the Radio Station of Thailand in February 2012.

15. Hengsawat, D., 2014, "Rice Against the Diabet, The Food You Choose," *Food Journal*, 44 (2), pp. 15-18. (In Thai)

16. Kirdsiri, C., 2015,The Efficacy of Riceberry Extract Cream on the Treatment of Periorbital Wrinkles, Master of Science in Anti Aging and Regeneratibe Medicine Thesis, Mae Fah Luang University. (In Thai)

17. Tangkanakul, P., Auttaviboonkul, P., Niyomwit, B., Lowvitoon, N., Charoenthamawat, P. and Trakoontivakorn, G., 2009, "Antioxidant Capacity, Total Phenolic Content and Nutritional Composition of AsianFoods after Thermal Processing," *International Food Research Journal*, 16 (4), pp. 571-580.

18. Handayani, A.P., Karim, R. and Muhammad, K., 2015, "Optimization of Processing Conditions for Aqueous Pigmented Rice Extracts as Bases for Antioxidant Drinks," *Journal of Rice Research*, 3 (2).

19. Zhou, Z., Chen, X., Zhang, M. and Blanchard, C., 2014, "Phenolics, Flavonoids, Proanthocyanidin and Antioxidant Activity of Brown Rice with Different Pericarp Colors following Storage," *Journal of Stored Products Research*, 59, pp. 120-125.

20. Zlotek, U., Mikulska, S., Nagajek, M. and Swieca, M., 2016, "The Effect of Different Solvents and Number of Extraction Steps on the Polyphenol Content and Antioxidant Capacity of Basil Leaves (*Ocimum basilicumL.*) Extracts," *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23 (5), pp. 628-633.

21. Giusti, M.M. and Wrolstad, R.E., 2001, "Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-visible Spectroscopy," *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*.

22. Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R.M., 1999, "Analysis of Total Phenols and other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-ciocalteu Reagent," *Methods in Enzymology,* 299, pp. 152-178.

23. Nuengchamnong, N., Krittasilp, K. and Ingkaninan, K., 2009, "Rapid Screening and Identification of Antioxidants in Aqueous Extracts of Houttuynia Cordata using LC–ESI–MS Coupled with DPPH Assay," *Food Chemistry*, 117 (4), pp. 750-756.

24. Benzie, I. F. and Strain, J.J., 1996, "The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "antioxidant power" : the FRAP Assay," *Analytical Biochemistry*, 239 (1), pp. 70-76.

25. Hiemori, M., Koh, E. and Mitchell, A. E., 2009, "Influence of Cooking on Anthocyanins in Black Rice (*Oryza sativa L*. japonica var. SBR," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (5), pp. 1908-1914.

26. Surh, J. and Koh, E., 2014, "Effects of Four Different Cooking Methods on Anthocyanins, Total Phenolics and Antioxidant Activity of Black Rice," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94 (15), pp. 3296-3304.

27. Anson, N.M., van den Berg, R., Havenaar, R., Bast, A. and Haenen, G.R.M.M., 2009, "Bioavailability

of Ferulic Acid is Determined by its Bioaccessibility," *Journal of Cereal Science*, 49, pp. 296-300.

28. Massaretto, I.L., Alves, M.F.M., de Mira, N.V.M., Carmona, A.K. and Marquez, U.M.L., 2011, "Phenolic Compounds in Raw and Cooked Rice (*Oryza sativa* L.) and their Inhibitory Effect on the Activity of Angiotensin I-converting Enzyme," *Journal of Cereal Science*, 54 (2), pp. 236-240.

29. Verardo, V., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., Marconi, E., Fernández-Gutiérrez, A. and Caboni, M.F., 2011, "Determination of Free and Bound Phenolic Compounds in Buckwheat Spaghetti by RP-HPLC-ESI-TOF-MS: Effect of Thermal Processing from Farm to Fork," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 (14), pp. 7700-7707.

30. Chmiel, T., Saputro, I.E., Kusznierewicz, B. and Bartoszek, A., 2018,"The Impact of Cooking Method on the Phenolic Composition, Total Antioxidant Activity and Starch Digestibility of Rice (*Oryza sativa* L.)," *Journal of Food Processing and Preservation*, 42 (1).

31. Halee, A. and Rattanapun, B., 2017, "Study of Antioxidant Efficacies of 15 Local Herbs," *KMUTT Research and Development Journal,* 40 (2), pp. 269-279. (In Thai)

32. Jiang, H., Ji, B., Liang, J., Zhou, F., Yang, Z. and Zhang, H., 2006,"Comparison on the Antioxidant Capacity of Selected Fruits and Vegetables and their Separations," *Chemistry of Natural Compounds*, 42 (4), pp. 410-414.

33. Stratil, P., Klejdus, B. and Kubáň, V., 2006, "Determination of Total Content of Phenolic Compounds and their Antioxidant Activity in Vegetables Evaluation of Spectrophotometric Methods," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (3), pp. 607-616.

34. Zhao, M., Luo, Y., Li, Y., Liu, X., Wu, J., Liao, X. and Chen, F., 2013, "The Identification of Degradation Products and Degradation Pathway of Malvidin-3-glucoside and Malvidin-3, 5-diglucoside under Microwave Treatment," *Food Chemistry*, 141 (3), pp. 3260-3267.

35. Singh, R.P. and Heldman, D.R., 2001,"Microwave Heating," in *Introduction to Food Engineering*, 3rd ed., Academic Press, London.