



ผลของการแช่เยือกแข็งต่อความคงตัวของกาบาและแอนโทไซยานินในข้าว กล้องงอกหุงสุกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

Effect of Freezing on the Stability of GABA and Anthocyanin Content of Cooked Germinated

สุนัน ปานสาคร^{1*} จตุรงค์ ลังกาพินธุ์¹ และ รัตนา ม่วงรัตน์²

Sunan Parnsakhorn^{1*}, Jaturong Langkapin¹ and Ratana Muangrat²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต. คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

²สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50110

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

² Department of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100, THAILAND

*Corresponding Author E-mail: sunan.p@en.rmutt.ac.th

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history:	The aim of this research was to study the effect of freezing
Received 16 November 2018	on the stability of GABA and anthocyanin content of cooked
Accept 20 March 2019	germinated riceberry rice. The freezer (still air freezer) and IQF
Online 13 June 2019	freezer (belt freezer) were selected as the methods to prepare
doi.org/10.14456/rj-rmutt.2019.1	cooked rice freezing at -40 °C and -80 °C. After freezing treatment
Keywords: Riceberry,	the cooked rice was defrosted in microwave, and the effect of
Freezing, Germinated	freezing and thawing methods on moisture content, color values,
brown rice,	consumer satisfaction, the number of microorganisms, anthocyanin
Anthocyanin, GABA	content and GABA content were studied. The results showed that

the number of microorganisms was increased from 3.1×10^3 CFU/g to 9.7×10^7 CFU/g after germination process. The anthocyanin content was decreased from 17.53 mg/g dry weight to 2.82 mg/g dry weight, while the amount of GABA content was increased 7 times (1.86 mg/100 g to 11.63 mg/100g). From color analysis, it was found that L^* values were decreased while a^* and b^* values were slightly increased after germination process. After that, germinated brown rice was cooked with rice to water ratio at 1:0.5, 1:0.75 and 1:1. The results revealed that consumers were satisfied with the quality of cooked germinated riceberry rice when cooked with the ratio of rice to water at 1: 0.75. After that, cooked germinated riceberry rice was frozen. As a result, the product frozen with IQF freezer used less freezing time than still air freezer and the freezing point of the product was approximately -1 to -2 °C. After thawing, it was found that cooked germinated brown rice had anthocyanin content of 2.67-2.76 mg/g dry weight and the GABA content of 1.92-2.02 mg/100 g. Considering that, freezing with IQF (Fast freezing) showed higher GABA and anthocyanin stability content than freezing with still air freezer (Slow freezing). In conclusion, all conditions of frozen cooked germinated riceberry rice were safe for consumption.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งต่อความคงตัวของกาบาและแอนโทไซยานินในข้าวกล้องงอกหุงสุกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ โดยเลือกใช้วิธีการแช่เยือกแข็งข้าวหุงสุกด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่ง (Still air freezer) และการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง IQF แบบสายพาน (Belt freezer) ที่อุณหภูมิ -40°C และ -80°C จากนั้นทำละลายกลับผลิตภัณฑ์ด้วยไมโครเวฟและพิจารณาผลของการแช่เยือกแข็งและการทำละลายต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าความชื้น ค่าสี ความพึงพอใจของผู้บริโภค ปริมาณจุลินทรีย์ ปริมาณแอนโทไซยานิน และ

ปริมาณกาบา จากการทดลองพบว่าข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่หลังกระบวนการเพาะงอกมีปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมเพิ่มขึ้นจาก 3.1×10^3 CFU/g เป็น 9.7×10^7 CFU/g ปริมาณสารแอนโทไซยานินลดลง จาก 17.53 เป็น 2.82 mg/g dry weight ในขณะที่ปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้นประมาณ 7 เท่า (จากปริมาณ 1.86 mg/100 g เป็น 11.63 mg/100 g) และจากการวิเคราะห์ค่าสี พบว่ากระบวนการเพาะงอกส่งผลต่อการลดลงของค่า L^* ในขณะที่ค่า a^* และ b^* มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อนำข้าวกล้องงอกมาหุงสุกที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:0.5, 1:0.75 และ 1:1 พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อคุณภาพข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกหุงสุกเมื่อนำไปหุงด้วยอัตราส่วน

ข้าวต่อน้ำที่ 1:0.75 จากนั้นนำข้าวกล้องงอกหุงสุกดังกล่าวมาผ่านการแช่เยือกแข็งซึ่งผลิตภัณฑ์ที่แช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง IQF ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าการใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่ง และมีผลิตภัณฑ์มีจุดเยือกแข็งที่ประมาณ -1 ถึง -2°C หลังการทำละลายพบว่าข้าวกล้องงอกหุงสุกให้ปริมาณแอนโทไซยานินให้ค่า 2.67-2.76 mg/g dry weight และปริมาณสารกาบา 1.92-2.02 mg/100 g ทั้งนี้พิจารณาได้ว่าการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง IQF (การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว) ให้ค่าการคงอยู่ของสารกาบาและแอนโทไซยานินสูงกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยตู้แช่เยือกแข็ง (การแช่เยือกแข็งแบบช้า) รวมถึงปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกหุงสุกแช่เยือกแข็งทุกสภาวะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปลอดภัยสำหรับการบริโภค

คำสำคัญ: ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ การแช่เยือกแข็ง ข้าวกล้องงอก แอนโทไซยานิน กาบา

บทนำ

ข้าว นับเป็นอาหารหลักของทั้งคนไทยและคนส่วนใหญ่ในโลก รวมถึงเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ผู้บริโภค การนำข้าวมาบริโภคมีหลายรูปแบบ เช่น การบริโภคแบบหุงสุกหรือการแปรรูปให้เป็นอาหารสำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูปก่อนนำไปบริโภค ประกอบกับปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมาดูแลสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นความนิยมบริโภคข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีหรือที่เรียกว่า “ข้าวกล้อง” จึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี มีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าข้าวที่ผ่านการขัดสี (1) และมีหลากหลายสายพันธุ์ให้เลือกบริโภค ปัจจุบันมีการคิดค้นสายพันธุ์ข้าวเพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยในเรื่องด้านทานโรคเพื่อการเพาะปลูกในที่แล้ง (2) รวมถึงสายพันธุ์ที่มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้นและที่กำลังเป็นที่นิยมของกลุ่มผู้บริโภคสุขภาพ คือ ข้าวสายพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ เป็นข้าวที่พัฒนามาจากการผสมข้ามพันธุ์

ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลักษณะเป็นข้าวเจ้าสีม่วงเข้ม รูปร่างเมล็ดเรียวยาว (3) มีสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการ คือ มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี มีดัชนีน้ำตาลต่ำถึงปานกลาง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและเส้นเลือดอุดตันในสมอง ด้วยการยับยั้งไม่ให้เลือดจับตัวเป็นก้อน ชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร (3) ถึงแม้ว่าข้าวสายพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่จะมีคุณประโยชน์ค่อนข้างสูง แต่ด้วยข้อจำกัดในด้านเนื้อสัมผัส และกลิ่นที่แตกต่างจากข้าวขาว (3) ดังนั้นการนำไปแปรรูปเพื่อการพัฒนาคุณลักษณะทั้งทางกายภาพและเคมีจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ ในที่นี้คือการแปรรูปเป็น “ข้าวกล้องงอก”

ข้าวกล้องงอก (Germinated brown rice หรือ “GABA-rice”) ซึ่งถือเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่ได้รับคามนิยมมาอย่างยาวนาน เนื่องจากเมื่อข้าวกล้องผ่านกระบวนการงอก จะช่วยส่งเสริมให้ข้าวกล้องมีสารอาหารเพิ่มมากขึ้นจากเดิมซึ่งมีอยู่แล้วในข้าวกล้อง เช่น โยอาหาร กรดไฟติก วิตามินซี วิตามินอี (4) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง GABA (Gamma aminobutyric acid) ซึ่งช่วยป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคเครียด เบาหวาน และช่วยในการควบคุมน้ำหนักตัว เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องงอกที่หุงสุกจะมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม รับประทานได้ง่ายกว่าข้าวกล้องทั่วไป (5) ข้าวกล้องงอกส่วนใหญ่ที่วางขายตามท้องตลาดมักพบในรูปแบบข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งลดความชื้นแล้วก่อนส่งถึงมือผู้บริโภค ทั้งนี้การทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูงจะเป็นการทำลายและก่อให้เกิดการสูญเสียของสารกาบาที่เพิ่มขึ้นในข้าวกล้องงอกรวมถึงธาตุฟอสฟอรัสชนิดอื่นๆ (6) ดังนั้น การบริโภคข้าวกล้องงอกที่ผ่านการหุงสุกทันทีไม่ผ่านการอบแห้ง น่าจะได้คุณประโยชน์ที่สูงกว่า ประกอบกับเป็นการลดขั้นตอนของการทำแห้งลง

ด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเกิดแนวความคิดแปรรูปข้าวกล้องงอกหุงสุกพร้อมบริโภคสายพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ให้สะดวกในการบริโภคและยังคงคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะสารแอนโทไซยานินและกาบา ที่มีอยู่มากในข้าวไรซ์เบอร์รี่ดังรายละเอียดที่กล่าวมาแล้ว เนื่องด้วยทุกวันนี้สังคมเมืองเต็มไปด้วยความรีบเร่ง ผู้บริโภคต้องการความสะดวก ลดระยะเวลาในการเตรียมอาหารให้น้อยลง แต่ได้อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ดังกล่าวน่าจะตอบโจทย์ตรงนี้ได้เป็นอย่างดี เข้ากับยุคสมัยที่รวดเร็ว เหมาะกับผู้ที่สนใจดูแลสุขภาพเป็นอย่างดี ทั้งนี้การแปรรูปข้าวพร้อมบริโภคมีหลายเทคนิคด้วยกัน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจการแปรรูปข้าวกล้องงอกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่แบบหุงสุกแช่เยือกแข็ง เนื่องด้วยการแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการถนอมรักษาอาหารที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังกระบวนการค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับการแปรรูปแบบอื่นๆ และสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้เป็นเวลานาน เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้การทำงานของเอนไซม์ในจุลินทรีย์ลดลง ปฏิกริยาของเอนไซม์ลดลง น้ำในอาหารกลายเป็นน้ำแข็งทำให้อาหารมีปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ลดลงมีผลให้จุลินทรีย์ขาดอาหารและอาจตายได้ (7) อย่างไรก็ตามเทคนิคการแช่เยือกแข็งมีหลายรูปแบบซึ่งอาจส่งผลได้บ้างกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะอัตราการแช่เยือกแข็งหรือผลของอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิ ที่เรียกกันว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้าและแบบเร็ว และยังไม่มีการรายงานผลวิจัยในส่วนนี้ ดังนั้นงานวิจัยจึงทำการศึกษาผลของอัตราการแช่เยือกแข็งต่อความคงตัวของกาบาและแอนโทไซยานินในข้าวกล้องงอกหุงสุกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ เพื่อจะได้นำผลการทดสอบมาประยุกต์ใช้กับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

เตรียมข้าวกล้องพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

จัดซื้อข้าวกล้องพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ คุณภาพดี เมล็ดสมบูรณ์ สะอาด จากพื้นที่เพาะปลูกในจังหวัดปทุมธานี นำมาตรวจวัดสมบัติทั้งทางกายภาพและเคมีเบื้องต้น เพื่อเตรียมการเพาะงอกในขั้นตอนต่อไป

เตรียมข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอก

นำข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่แช่น้ำด้วยอัตราข้าว 1 ส่วนต่อน้ำ 2 ส่วน ที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 4 hr จากนั้นนำข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ล้างด้วยน้ำสะอาดและห่อด้วยผ้าขาวบางบรรจุในกล่องนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิเดิมเป็นเวลา 24 hr เรียกขั้นตอนนี้ว่า “การบ่ม” ระหว่างกระบวนการบ่มนำข้าวกล้องล้างด้วยน้ำสะอาดทุก 4 hr เพื่อป้องกันการหมักทำให้เกิดกลิ่นเหม็น เมื่อเวลาครบ 24 hr จะได้ข้าวกล้องงอกที่มีความยาวของงอกข้าวประมาณ 0.5-1 mm จากนั้นนำข้าวกล้องงอกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่หุงสุกด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ 1:0.5, 1:0.75 และ 1:1 ตามลำดับ พร้อมทั้งตรวจวัดสมบัติทั้งทางกายภาพและเคมี เพื่อเตรียมนำไปใช้ในขั้นตอนการแช่เยือกแข็งต่อไป

กระบวนการแช่เยือกแข็งข้าวกล้องงอกหุงสุกไรซ์เบอร์รี่

จากขั้นตอนการหุงสุกเลือกอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมในการหุงข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่ และทำการแช่เยือกแข็งตัวอย่างข้าวทันทีโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งเพื่อเปรียบเทียบผลของคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้วยการแช่เยือกแข็งแบบช้า (Slow freezing) ด้วยตู้แช่เยือกแข็งแบบไม่มีลมเป่า (Still air freezer) และการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว (Quick freezing) ด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิดไอคิวเอฟ (IQF) แบบสายพาน (Belt freezer) โดยหุงข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการหุงสุก 150 g บรรจุในกล่องพลาสติกขนาด $10 \times 10 \times 5$ cm (กxขxส) ปิดด้วยกระดาษฟอยล์และติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด k ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของตัวอย่างข้าวที่บรรจุในภาชนะเพื่อวัด

อุณหภูมิ โดยบันทึกอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึก (Data logger) ยี่ห้อ Fuke รุ่น 2625A ก่อนนำภาชนะพร้อมสายเทอร์โมคัปเปิลวางในเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่ง (Still air freezer) และเครื่องแช่แข็งชนิดไอคิวเอฟ (IQF) ควบคุมอุณหภูมิที่ -40°C และ -80°C

ขั้นตอนการละลายกลับ

ทำละลายกลับโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟกำลัง 1,100 W เวลา 2.30 min

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

1. ปริมาณความชื้น (Moisture content): ชั่งน้ำหนักตัวอย่างข้าว 2 g อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 16 hr (8)

2. ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม (Total viable count) : อ้างอิงวิธีการทดสอบจาก Maturin และ Peeler (9)

3. ค่าสี (Color): วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color Difference Meter (Model JC801, Tokyo, Japan) รายงานผลในรูปของ L^* , a^* , b^* ซึ่งทั้ง 3 ค่าเป็นการแสดงการวัดค่าสีเฉพาะเจาะจงโดยที่ค่า L^* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว สำหรับค่า a^* คือ ค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (Redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ ซึ่งก่อนทำการวัดค่าสี เครื่องวัดสีจะถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Standard Calibration Plate ค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 98.11, -0.11 and -0.08 ตามลำดับ

4. การวิเคราะห์หาค่าแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) : ด้วยวิธี pH Differential method (10) โดยคำนวณปริมาณแอนโทไซยานิน ด้วยสมการที่ (1) และ (2)

$$\text{แอนโทไซยานิน (mg/g of dry weight)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1,000}{e} \quad (1)$$

$$A = (A_{520} - A_{700})_{\text{KCl}_{pH1.0}} - (A_{520} - A_{700})_{\text{CH}_3\text{COONa}_{pH4.5}} \quad (2)$$

โดยกำหนดให้

MW = 449.2 g/mol (มวลโมเลกุล)

DF = 15 (Dilution factor)

e = 26,900 (Molar absorptivity)

5. การวิเคราะห์หาค่ากรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (GABA) : อ้างอิงกระบวนการทดสอบจากมาตรฐาน Mustafa et al. (11) โดยนำตัวอย่างข้าวบดด้วยเครื่องบดความละเอียด 0.5 mm นำมาสกัดด้วยแอลกอฮอล์ 50%, 50°C ก่อนนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 50°C อัตราการเขย่า 30 ครั้งต่อนาทีเป็นเวลา 20 min หลังจากนั้นเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูงที่ 1,350 g เป็นเวลา 20 min แยกส่วนใสที่ได้ วิเคราะห์ค่ากรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (GABA) ด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC)

6. การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation): การประเมินคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสของข้าวกล้องงอกหุงสุกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่พิจารณาที่ 5-point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5= ชอบมากที่สุด) ในด้านสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไป จำนวน 30 คน (12)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95% (One-way analysis of variance (ANOVA)) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ก่อนและหลังเพาะงอก

ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกเป็นข้าวที่ถูกพัฒนาด้านคุณภาพ เพื่อให้เกิดประโยชน์กับผู้บริโภคทั้งด้านคุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพด้านรสชาติ สี และมีกลิ่นหอม ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกด้วยการเพิ่มความชื้นของเมล็ดข้าว โดยแช่เมล็ดข้าวในน้ำตามด้วยขั้นตอนการบ่ม เพื่อให้จมูกข้าวงอกออกมาที่มีความยาวประมาณ 0.5-1 mm และทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เปลี่ยนแปลงแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ (BR) ความชื้นเริ่มต้น 15%wb และเพิ่มขึ้นหลังกระบวนการเพาะงอกเป็น 38.49%wb ความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหารโดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ อาหารที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำสูงจะเป็นอาหารที่เสื่อมเสียง่ายเนื่องจากมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ สังเกตได้จากปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม พบว่าก่อนการเพาะงอกมีค่า 3.1×10^3 CFU/g และเพิ่มขึ้นเป็น 9.7×10^7 CFU/g หลังการเพาะงอก อีกทั้งความชื้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงความร้อนของอาหารด้านต่างๆ ในส่วนกระบวนการเพาะงอกข้าวกล้องพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (GBR) พบว่าปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งต่อ

ประสิทธิภาพของการงอกทั้งนี้หากความชื้นไม่เหมาะสมประสิทธิภาพการงอกจะลดลง (13, 14) นอกจากนี้ยังพบว่าขั้นตอนการเพาะงอกเมล็ดข้าวกล้องส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารแอนโทไซยานิน จาก 17.53 เป็น 2.82 mg/g dry weight เนื่องมาจากเมล็ดข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ต้องผ่านขั้นตอนการแช่และการล้างด้วยน้ำสะอาดในหลายช่วงเวลา จึงส่งผลต่อการละลายตัวของเม็ดสีที่ผิวของเมล็ดข้าว สังเกตได้จากน้ำหลังการแช่และการล้างจะเป็นสีม่วงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของแอนโทไซยานินที่สามารถละลายได้ในน้ำ ไม่เสถียร ดังนั้น ปริมาณแอนโทไซยานินจึงมีค่าลดลง (15) ในขณะพบว่าหลังการเพาะงอกข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้นประมาณ 7 เท่า เมื่อเทียบกับข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ผ่านการเพาะงอก (จากปริมาณ 1.86 mg/100 g เพิ่มขึ้นเป็น 11.63 mg/100 g) โดยที่สารกาบาเป็นสารที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายในเมล็ดข้าว และถูกสังเคราะห์จากกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ของกรดกลูตามิก (Glutamic Acid) ด้วยเอนไซม์กลูตาเมตคาร์บอกซิเลส (Glutamate Decarboxylase) ซึ่งจะเปลี่ยนจาก กรดแอลกลูตามิก (L-glutamic acid) เป็นสารกาบา (16) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นหลังกระบวนการเพาะงอก นอกจากนั้นกระบวนการงอกยังส่งผลต่อการลดลงของค่า L^* ในขณะที่ค่า a^* และ b^* มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางจุลินทรีย์ของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ก่อนและหลังทำงอก

ตัวอย่าง	ความชื้น* (% wb)	แอนโทไซยา นิน* (mg/g dry weight)	กาบา* (mg/100g)	จุลินทรีย์ โดยรวม (CFU/g)	ค่าสี*		
					L^*	a^*	b^*
BR	15.00±0.78	17.53±0.54	1.86±0.01	3.1×10^3	16.57±0.06	1.10±0.10	5.10±0.00
GBR	38.49±0.10	2.83±0.38	11.63±0.02	9.7×10^7	14.27±0.06	1.57±0.06	5.60±0.10

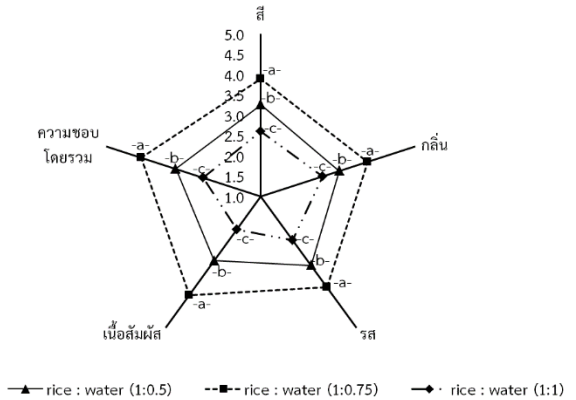
* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.) โดยกำหนดให้ BR = ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่

GBR = ข้าวกล้องงอกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

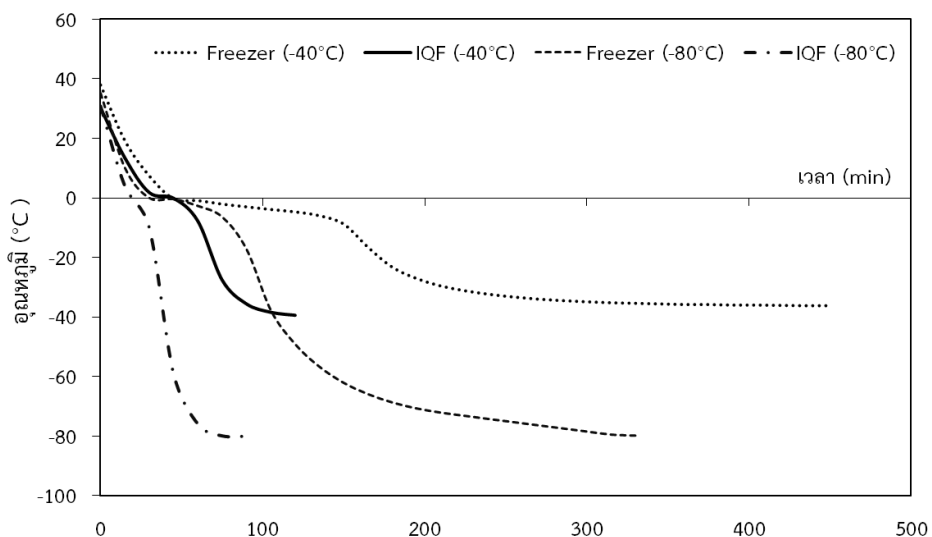
ระดับความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อตัวอย่างข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าวและน้ำระดับต่างๆ

ก่อนขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง ต้องนำข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกมาหุงสุกโดยการศึกษ้อัตราส่วนระหว่างข้าวต่อน้ำที่เหมาะสมพิจารณาจากความพึงพอใจของผู้บริโภคจำนวน 30 คน ที่ระดับคะแนนสูงสุด 5 คะแนน ในด้านสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ให้ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1 พบว่าข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกที่หุงสุกโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:0.75 ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในด้าน สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ที่ระดับ 3.90, 3.76, 3.76, 4.00 และ 4.10 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าสูงกว่าการใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:0.5 และ 1:1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกปัจจัยที่ทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นปริมาณน้ำที่เหมาะสมไม่ส่งผลให้เนื้อสัมผัสแข็งและนุ่มจนเกินไป รวมทั้งสี กลิ่น รส เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค ดังนั้นการหุงข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอก

ด้วยอัตราข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:0.75 จึงเป็นปริมาณน้ำที่เหมาะสมและได้นำไปเตรียมตัวอย่างข้าวหุงสุกในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 1 ระดับความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อตัวอย่างข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่หุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าวและน้ำระดับต่างๆ (^{ab} letters indicate differences among each treatment ($P < 0.05$) by DMRT)



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่หุงสุกระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง

Freezer (-40°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -40°C; IQF (-40°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิดไอคิวเอฟอุณหภูมิ -40°C; Freezer (-80°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -80°C; IQF (-80°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิดไอคิวเอฟอุณหภูมิ -80°C

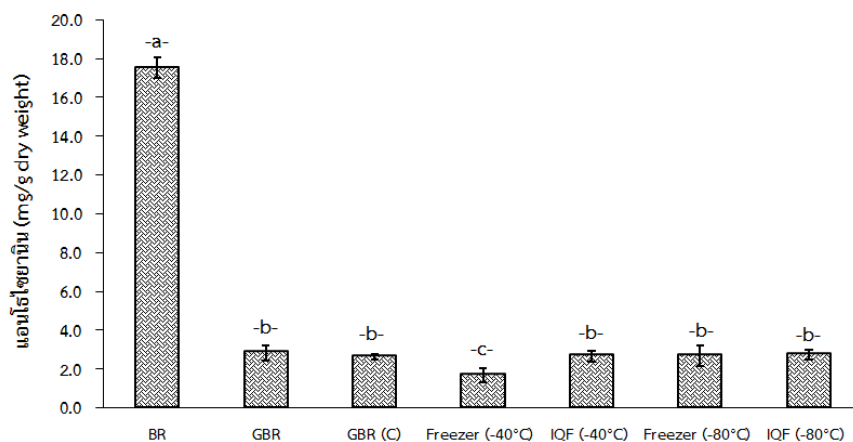
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่หุงสุก ระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง

จากขั้นตอนที่ผ่านมาเมื่อนำข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกมาหุงสุก (GBR (C)) ตามปริมาณน้ำที่เหมาะสม จากนั้นลดอุณหภูมิด้วยกระบวนการแช่เยือกแข็งทันทีด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่งอุณหภูมิ -40°C (Freezer (-40°C) และ -80°C (Freezer (-80°C) พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับเทคนิคการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิดไอคิวเอฟอุณหภูมิ -40°C (IQF(-40°C) และ -80°C (IQF(-80°C) เมื่อข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกหุงสุกผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งสองกระบวนการให้ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 2 โดยอุณหภูมิตัวกลางและชนิดของเครื่องแช่เยือกแข็งมีผลต่ออัตราการลดลงของอุณหภูมิ ทั้งนี้การแช่เยือกแข็งที่ IQF(-80°C) พบว่าจากอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ที่ 30°C ใช้เวลาเพียง 1 hr สามารถลดอุณหภูมิลงไปยังเป้าหมายที่ -80°C จึงจะมีแนวโน้มคงที่ของอุณหภูมิ ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะการแช่เยือกแข็งแบบเร็วที่จะช่วยคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (17) ในขณะที่การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่ง Freezer (-80°C) ใช้เวลา 4.0 hr นอกจากนี้การทดลองยังให้ผลลักษณะเดียวกับที่อุณหภูมิเป้าหมาย -40°C แต่การลดลงของอุณหภูมิใช้เวลานานกว่าเล็กน้อย โดยใช้เวลา 1.5 hr สำหรับการแช่เยือกแข็งแบบ IQF(-40°C) และใช้เวลา 5.0 hr สำหรับการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่ง Freezer (-40°C) ตามลำดับ จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาพบว่าจุดเยือกแข็งของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่งอกหุงสุกอยู่ที่ประมาณ -1 ถึง -2°C

การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่สภาวะต่างๆ

แอนโทไซยานินเป็นสารสีที่มีหลายสีตั้งแต่สีน้ำเงิน ม่วง จนถึงสีแดง พบในถุงเซลล์ของผัก ผลไม้และดอกไม้ โครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานินประกอบด้วยฟลาโวลีเลียมแคทไอออน (Flavylumcation) แอนโทไซยานินมีสมบัติละลายได้ในน้ำ ไม่เสถียร (17) ดังนั้นเมื่อข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่แช่ในน้ำจะมีสีซีดลงและแอนโทไซยานินจะสูญเสียได้ง่ายด้วยความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีออกซิเจนอยู่ด้วย อัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเร็วขึ้น (18) จากการทดลองหาค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่สภาวะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3 พบว่า ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ก่อนการเพาะงอกให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดเท่ากับ $17.53 \text{ mg/g dry weight}$ และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) หลังผ่านกระบวนการเพาะงอกให้ค่าเท่ากับ $2.82 \text{ mg/g dry weight}$ ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของค่าความสว่าง (L^*) ในขณะที่ค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อนำข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกไปหุงสุก พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ที่ $2.63 \text{ mg/g dry weight}$ จากนั้นข้าวกล้องงอกหุงสุกผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งและทำละลายกลับด้วยไมโครเวฟและนำมาตรวจสอบปริมาณแอนโทไซยานิน พบว่ามีค่าระหว่าง $1.67\text{-}2.76 \text{ mg/g dry weight}$ อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเทคนิคการแช่เยือกแข็ง พบว่าการแช่เยือกแข็งด้วยระบบ IQF หรือการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว ให้ค่าความคงตัวของปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่งหรือการแช่เยือกแข็งแบบช้า ทั้งนี้เนื่องมาจากการแช่เยือกแข็งข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่จะกระทำทันทีหลังการหุงสุก โดยที่ข้าวหลังการหุงสุกยังคงมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงซึ่งพบว่าแอนโทไซยานินจะสูญเสียได้ง่ายด้วยความร้อน ดังนั้นการแช่เยือกแข็งด้วยระบบ IQF ซึ่งใช้เวลาสั้นและรวดเร็วจึงช่วยลดการสูญเสียแอนโท

ไซยานินได้เมื่อเทียบกับการแช่เยือกแข็งด้วยตู้แช่เยือก
แข็งที่ใช้เวลาค่อนข้างนาน



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่สภาวะต่างๆ

BR = ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ ; GBR = ข้าวกล้องงอกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่; GBR (C) = ข้าวกล้องงอกหุงสุกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่;

Freezer (-40°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -40°C; IQF (-40°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิดไอคิวเอฟอุณหภูมิ -40°C; Freezer (-80°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -80°C; IQF (-80°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิดไอคิวเอฟอุณหภูมิ -80°C

^{ab} letters indicate differences among each treatment ($P < 0.05$) by DMRT

การเปลี่ยนแปลงสารกาบา (GABA) ของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ที่สภาวะต่างๆ

กาบาเป็นสารที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายในเมล็ดข้าว และมักมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเมล็ดข้าวผ่านกระบวนการงอก (13, 14, 16) จากการทดสอบหาปริมาณสารกาบา แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าค่าปริมาณสารกาบาของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ก่อนการเพาะงอกมีค่าเท่ากับ 1.86 mg/100 g และเมื่อผ่านกระบวนการเพาะงอกพบว่าปริมาณสารกาบาเพิ่มสูงขึ้นกว่า 7 เท่า (11.63 mg/100 g) ทั้งนี้พบว่าระหว่างกระบวนการเพาะงอกเมื่อนำข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่มาผ่านการแช่น้ำควบคุมอุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 4 hr ร่วมกับการบ่มที่อุณหภูมิเดิมเป็นเวลา 20 hr เมล็ดข้าวกล้องจะเริ่มงอก สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิด

เป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กและน้ำตาลรีดิวซ์ โปรตีนภายในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ รวมทั้งพบการสะสมสารเคมีที่สำคัญ คือ กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (Gamma-aminobutyric acid) หรือสารกาบา (GABA) (16) ทั้งนี้เมื่อการงอกสิ้นสุดที่เวลาการแช่น้ำระดับหนึ่ง เอนไซม์กาบาทรานสมีเนสจะกระตุ้นให้เกิดการผันกลับของกาบาไปเป็นซัคซินิกเซมิแอลดีไฮด์ (Succinic semialdehyde) ส่งผลต่อการลดลงของสารกาบาและอาจเกิดกระบวนการหมักเกิดขึ้น (13, 14, 16) เมื่อนำข้าวกล้องงอกมาหุงสุกด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่เหมาะสม (1:0.75) พบว่าความร้อนจากการหุงส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารกาบาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนจากการหุงข้าวกล้องงอกส่งผลให้เอนไซม์ Glutamate decarboxylase (GAD) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่

เร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์สารกาบาถูกทำลาย (19) ส่งผลให้กาบาคงเหลือที่ 1.86 mg/100 g จากนั้นนำมาผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งแบบช้าและแบบเร็วที่อุณหภูมิ -40°C และ -80°C พบว่า ปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง 1.92-2.08 mg/100 g ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากหลังการแช่เยือกแข็งทั้งแบบช้าและแบบเร็วผลิตภัณฑ์จะเกิดการสูญเสียน้ำ ดังนั้นความเข้มข้นของสารต่างๆ ภายในจึงเพิ่มขึ้นและให้ผลดีในกรณีของการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบช้าผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่ จึงไปดันหรือทิ่มแทงผนังเซลล์ของอาหารทำให้เกิดการฉีกขาด เมื่อนำมาทำละลายน้ำแข็งจึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมากกว่า การแช่เยือกแข็งแบบเร็วที่ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กผนังเซลล์ของอาหารไม่เกิดการฉีกขาดเกิดการสูญเสียให้น้อยกว่า เมื่อนำมาทำละลายจึงลดการสูญเสียสารอาหารต่างๆ ที่ละลายออกมากับน้ำ (20) จึงส่งผลให้การแช่เยือกแข็งแบบเร็วให้ค่าความคงตัวของปริมาณสารกาบาสูงกว่า การแช่เยือกแข็งแบบช้า

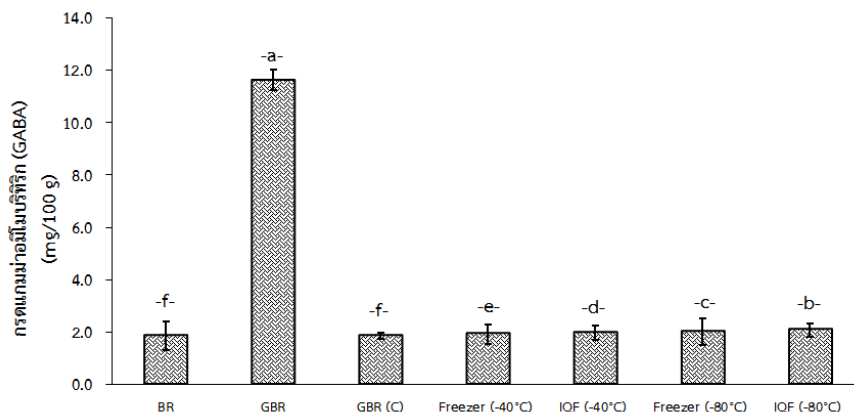
ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพทางจุลินทรีย์โดยรวมของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่สภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	*ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/g)
BR	3.1×10^3
GBR	9.6×10^7
GBR(C)	25×10^0
Freezer (-40°C)	7.4×10^2
IQF (-40°C)	15×10^0
Freezer (-80°C)	4.6×10^2
IQF (-80°C)	15×10^0

*ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

BR = ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ ; GBR = ข้าวกล้องงอกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่; GBR (C) = ข้าวกล้องงอกหุงสุกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่;

Freezer (-40°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิต่ำ -40°C ; IQF (-40°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิดไอคิวเอฟอุณหภูมิต่ำ -40°C ; Freezer (-80°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิต่ำ -80°C ; IQF (-80°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิดไอคิวเอฟอุณหภูมิต่ำ -80°C



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกาบาของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่หุงสุกหลังการทำละลายที่สภาวะต่างๆ

BR = ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ ; GBR = ข้าวกล้องงอกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่; GBR (C) = ข้าวกล้องงอกหุงสุกพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่;

Freezer (-40°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิต่ำ -40°C ; IQF (-40°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิดไอคิวเอฟอุณหภูมิต่ำ -40°C ; Freezer (-80°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยตู้แช่เยือกแข็งอุณหภูมิต่ำ -80°C ; IQF (-80°C) = การแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งชนิดไอคิวเอฟอุณหภูมิต่ำ -80°C

^{ab}Letters indicate differences among each treatment ($P < 0.05$) by DMRT

การผลิตอาหารเพื่อการบริโภค สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึง คือ ความปลอดภัยของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องทำการทดสอบปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกแช่เยือกแข็งพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งให้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 ผลการประเมิน พบว่า จุลินทรีย์ในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ก่อนการเพาะงอกให้ค่าที่ 3.1×10^3 CFU/g และเพิ่มขึ้นเป็น 9.6×10^7 CFU/g เมื่อนำไปเพาะงอก ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างกระบวนการเพาะงอกมีการย่อยสลายของโครงสร้างโปรตีน และเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ (14, 16) ดังนั้นจึงส่งผลให้เมล็ดข้าวกล้องงอกมีกลิ่นคล้ายอาหารหมัก ทั้งนี้สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้โดยการล้างตัวอย่างข้าวทุก 4 hr อย่างไรก็ตามเมื่อนำข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกมาให้ความร้อนด้วยการหุงสุก พบว่าปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมลดลงและอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย ซึ่งการหุงสุกร่วมกับแช่เยือกแข็งทำให้จุลินทรีย์โดยรวมลดลง เวลาในการแช่เยือกแข็งจึงมีส่วนสำคัญถ้าให้ความเย็นในเวลาทีรวดเร็วจะหยุดการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีมากขึ้น ดังนั้นการแช่เยือกแข็งด้วยระบบ IQF หรือการแช่แข็งแบบเร็ว (Quick freezing) จะทำให้จุลินทรีย์โดยรวมในผลิตภัณฑ์น้อยลงกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่งหรือการแช่แข็งแบบช้า (Slow freezing)

สรุปผล

ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ความชื้นเริ่มต้น 15%wb และเพิ่มขึ้นหลังกระบวนการเพาะงอกเป็น 38.49%wb ความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร สังเกตได้จากปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการเพาะงอกจาก 3.1×10^3 CFU/g เป็น 9.7×10^7 CFU/g หลังการเพาะงอกพบว่าปริมาณแอนโทไซยานินลดลงจาก 17.53 เป็น 2.82 mg/g dry weight ในขณะที่ปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้นกว่า 7 เท่า (จาก 1.86 mg/100 g เป็น 11.63 mg/100 g) นอกจากนั้นกระบวนการงอก

ยังส่งผลต่อการลดลงของค่า L^* ในขณะที่ค่า a^* และ b^* มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อคุณภาพข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกหุงสุกโดยใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:0.75 เมื่อนำข้าวกล้องงอกหุงสุกผ่านการแช่เยือกแข็ง ด้วยเทคนิคการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่ง (Still air freezer) และการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง IQF ที่อุณหภูมิ -40°C และ -80°C พบว่าการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง IQF ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าการใช้เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่งและมีค่าจุดเยือกแข็งที่ประมาณ -1 ถึง -2°C หลังการทำละลายกลับด้วยไมโครเวฟพบว่า การแช่เยือกแข็งด้วยระบบ IQF หรือการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว ให้ค่าการคงอยู่ของปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่งหรือการแช่เยือกแข็งแบบช้า ในส่วนปริมาณสารกาบามีแนวโน้มลดลงหลังการนำข้าวกล้องงอกไปหุงสุกและเมื่อนำมาผ่านการแช่เยือกแข็งทั้งแบบช้าและแบบเร็วที่อุณหภูมิ -40°C และ -80°C พบว่าปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง 1.92-2.08 mg/100 g ซึ่งการแช่เยือกแข็งแบบเร็วให้ค่าความคงตัวของปริมาณสารกาบาสูงกว่าการแช่เยือกแข็งแบบช้า และปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกหุงสุกแช่เยือกแข็งทุกสภาวะอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ สถานที่ในการทำวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. ศุภนาถ เห็นสว่าง. ข้าว ความสำคัญทางอาหาร และการปนเปื้อน. วารสารสิ่งแวดล้อม. ม.ค.-มี.ค. 2560;21(1):15-8.
2. กรมการข้าว. องค์ความรู้เรื่องข้าว [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ธ.ค. 2561]. จาก: <http://www.ricethailand.go.th/rkb/varieties/index.php.htm>
3. ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. ข้าวไรซ์เบอร์รี่ [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ก.ย. 2561]. จาก: <https://dn.kps.ku.ac.th/index.php/news-articles-rice-rsc-rgdu-knowledge/rice-breedinglab/riceberry-variety>
4. อังคณา เหลืองศิริโรจน์, เครือวัลย์ อัดตะวีริยะ สุข. เรื่องของเมล็ดข้าว ข้าว :ความรู้คู่ชาวนา. ใน: เอกสารวิชาการครบรอบ 80 ปี. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมวิชาการเกษตร, สถาบันวิจัยข้าว, ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี; 2539.
5. Komatsuzaki N, Tsukahara K, Toyoshima H, Suzuki T, Shimizu N, Kimura T. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. J Food Eng. 2007;78(2):556-60.
6. สุนัน ปานสาคร, จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, กาญจนา กลัดแสง, วรณภัส เชียงทอง. พัฒนาระบบการผลิตผลิตภัณฑ์งาอกร่วมกับการคั่วเพื่อการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร [Value augmentation to sesame sprouts through production method improvement and roast process] .วารสารแก่นเกษตร. ก.ค.-ก.ย. 2556;41(3):305-16.
7. บุษกร อุดรภิชาติ. จุลชีววิทยาทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 5 ฉบับปรับปรุง. จังหวัดสงขลา: ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยทักษิณ; 2555.
8. AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th Ed. Arlington, Virginia, USA; 1990.
9. Maturin L, Peeler JT. Chapter 3. Aerobic Plate Count. In: Food and Drug Administration (FDA). Bacteriological Analytical Manual Online. 8th ed. Silver Spring, Berlin; 2001.
10. Lee J, Durst R, Wrolstad R. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. J AOAC Int. 2005; 88(50):1269-78.
11. Mustafa A, Aman P, Andersson R, Kamal-Eldin A. Analysis of free amino acid in cereal products. Food Chem. 2007;105(1):317-24.
12. ปราณี อานเปื้อง. หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2551.
13. Varayanond W, Tungtrskul P, Surojanametakul V, Watanasiritham L, Luxiang W. Effects of water soaking on gamma-aminobutyric acid (GABA) in germs of different Thai rice varieties. Kasetsart Journal (National Science). 2005;39(3):411-5.
14. Komatsuzaki N, Tsukahara K, Toyoshima H, Suzuki T, Shimizu N, Kimura T. Effect of soaking

and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. J Food Eng. 2007;78(2):556-60.

15. Sutharut J. Sudarat J. Total anthocyanin content and antioxidant activity of germinated colored rice. International Food Research Journal. 2012;19(1):215-21.

16. Komatsuzaki N, Tsukahara K, Toyoshima H, Suzuki T, Shimizu N, Kimura T. Effect of soaking and gaseous phase sprout processing on the GABA content of pre-germinated brown rice. Am Soc Agric and Biol Eng. Paper number: 036073. ASAE Annual Meeting; 2003.

17. Leong SY, Oey I. Effect of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. Food Chem. 2012;63(4):435-40.

18. วรวิทย์ อารีกุล, กษัติน วงศ์ณรัตน์, สิริพรรณ กิตติวรพัฒน์. ความคงตัวของแอนโทไซยานินและความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระในน้ำบลูเบอร์รี่และบลูเบอร์รี่เข้มข้น. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร; 17-20 มี.ค. 2552; กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2552. น. 499-506.

19. ฤทัยรัตน์ สวัสดิวงศ์. ข้าวกล้องงอกจากข้าวพื้นเมืองภาคใต้ของไทย: สภาวะในการงอกและสมบัติการต้านออกซิเดชัน [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2552.

20. Judith AE. Frozen food science and technology. Australia: Blackwell; 2008.