Research Article

Received: October 29, 2019; Accepted: January 9, 2020

ผลของการแปรรูปและการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่

Effects of Processing and Heating on Antioxidant Activity and Quality of Riceberry Malted Beverage

สุนัน ปานสาคร* และจตุรงค์ ลังกาพินธุ์

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Sunan Parnsakhorn* and Jaturong Langkapin

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Khlong Hok, Thanyaburi, Pathum Thani 12110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการแปรรูปและการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ โดยขั้นตอนการผลิตข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอรี่ประกอบด้วยการแช่ การบ่มเพื่อให้เกิดการงอกจากนั้นอบแห้งและคั่ว และนำไปผลิตเป็นน้ำแป้ง พร้อมทั้งผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ นมสด น้ำตาลหญ้าหวาน และเจลาติน จนได้เป็นเครื่องดื่มข้าวมอลต์ จากนั้นให้ความร้อนในภาชนะขวดแก้วปิดผนึกสนิทที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 15, 25 และ 35 min ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าขั้นตอนการผลิตข้าวมอลต์ส่งผลต่อการลดลงของแอนโทไซยานิน และเมื่อนำเครื่องดื่มข้าวมอลต์ผ่านการให้ความร้อนที่เวลานานขึ้น แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการลดลงต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของแอนโทไซยานินเช่นกัน การตรวจวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH รายงานค่าเป็น mg TE/100 g โดยที่เครื่องดื่มก่อนการฆ่าเชื้อให้ค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 36.94 mg TE/100 g และลดลง 26-28 mg TE/100 g หลังการให้ความร้อน ส่วนสมบัติทางกายภาพด้านอื่น ๆ พบว่าการให้ความร้อนด้วยระยะเวลาที่นานทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและมีแนวโน้มลดลง ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หรือมีแนวโน้มของสีที่เข้มขึ้น ขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และความเป็นกรดเป็นด่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เวลาการให้ความร้อน 15-35 min เมื่อทดสอบปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมของผลิตภัณฑ์หลังการฆ่าเชื้อให้ค่าลดลงลง $1.4\text{-}4.9 \times 10^2$ CFU/mL ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถบริโภคอย่างปลอดภัย

คำสำคัญ : ข้าวมอลต์; ข้าวไรซ์เบอรี่; เครื่องดื่ม; แอนโทไซยานิน; สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** sunan.p@en.rmutt.ac.th

doi: 10.14456/tstj.2021.11

Abstract

This study aimed to investigate the effects of processing and heating on antioxidant activity and quality of Riceberry malted beverage. There are many stages involved in converting Riceberry to malt, namely steeping germination and kilning. Riceberry malted beverage was produced by malt flour along with other ingredients, such as milk, stevia sugar and gelatin. Riceberry malted beverage was heated in a sealed glass jar container at a temperature of 90 ºC for 15, 25 and 35 minutes, respectively. The test results showed that the malted process affected the anthocyanin value to be decreased. In addition, increasing the Riceberry malted beverage heating time led to significantly ($p \leq 0.05$) reduce the anthocyanin value. The antioxidant activity (AA) was investigated by the 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging method and expressed as trolox equivalents (TE). The antioxidant activity value of the Riceberry malted beverage is 36.94 mg TE/100 g and decreased to a range from 26 to 28 mg TE/100 g after heating. For other physical properties, the result indicated that as long time heating, the viscosity increased during the first period and tended to decrease. The overall color difference (ΔE *) significantly increased ($p \leq 0.05$) and the appearance became darker, while total soluble solid (TSS) and pH value were invariable at the heating time between 15-35 minutes. The overall microbial quantities of products were tested after sterilization, the values decreased to 1.4-4.9 x 10^2 CFU/mL, which is within the criteria that can be safely consumed.

Keywords: rice malt; Riceberry; beverage; anthocyanin; antioxidant

1. บทนำ

เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง สังเกตได้จากมีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้นในท้องตลาด ได้แก่ น้ำสมุนไพร เครื่องดื่มธัญพืช ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแปรรูปจากผักผลไม้ เป็นต้น โดยเฉพาะเครื่องดื่มจากธัญพืชมีบทบาทในตลาดอุตสาหกรรมอาหารและได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นตามกระแสการตื่นตัวของการรักษาสุขภาพ ประกอบกับมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตเครื่องดื่มจากธัญพืชหลายชนิด ได้แก่ การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวจากรวงข้าวอ่อนผสมธัญพืช [1] เครื่องดื่มหมักฟังก์ชั่นจากข้าวธัญสิรินและข้าวหอมล้านนา [2] การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวหอมนิล [3] การผลิตผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าว [4] การผลิตเครื่องดื่มซุปเปอร์เบอรี่ที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวหอมนิล [5] เป็นต้น เครื่องดื่มธัญพืชจัดว่าเป็นเครื่องดื่มเลียนแบบนมประเภทหนึ่ง คือ การใช้วัตถุดิบจากพืช อาจอยู่ในรูปของการใช้เมล็ดพืชมาผลิตโดยตรง หรืออาจใช้ในรูปของโปรตีนสกัดจากเมล็ดพืชและใบพืช ทั้งนี้มีธัญพืชชนิดหนึ่งที่นับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศนั้น คือ ข้าว ซึ่งเป็นธัญพืชที่มีประโยชน์ค่อนข้างสูงโดยเฉพาะข้าวสี (color rice) ที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดมีสีตามพันธุกรรม

ปัจจุบันมีพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry) ซึ่งได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลักษณะเป็นข้าวเจ้า สีม่วงเข้ม

รูปร่างเมล็ดเรียวยาวเมื่อนำมาหุงสุกจะได้เนื้อสัมผัสที่นุ่มน่ารับประทาน สมบัติเด่นด้านโภชนาการ คือ มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี แทนนิน สังกะสี และโฟเลต มีดัชนีน้ำตาลในระดับปานกลางถึงต่ำ [6] นอกจากนี้รำข้าวและน้ำมันรำข้าวยังมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี ซึ่งนอกจากจะใช้รับประทานเพื่อเสริมสร้างสุขภาพที่ดี ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง ทางการแพทย์ยังนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารโภชนาบำบัดอีกด้วย นอกจากนี้ข้าวไรซ์เบอรี่ยังมีเส้นใยอาหารอยู่ปริมาณมาก ช่วยควบคุมน้ำหนัก ช่วยระบบขับถ่าย ช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล ป้องกันโรคหัวใจ [7-9] และที่สำคัญอย่างยิ่งข้าวไรซ์เบอรี่มีสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นรงควัตถุหรือสารสี (pigment) ที่พบในผัก ผลไม้ที่มีสีแดงหรือม่วง สารสกัดแอนโทไซยานินมีสมบัติเป็นโภชนะเภสัช (nutraceutical) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและเส้นเลือดอุดตันในสมอง ด้วยการยับยั้งไม่ให้เลือดจับตัวเป็นก้อน ชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ และยังช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหารที่เป็นสาเหตุของโรคท้องร่วงและอาหารเป็นพิษด้วย [10-12] โดยคุณประโยชน์ดังกล่าว ข้าวไรส์เบอรี่จึงเป็นข้าวพันธุ์ที่น่าส่งเสริมเชิงการค้าเป็นอย่างยิ่ง

ด้วยคุณประโยชน์ของข้าวไรซ์เบอรี่ดังข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์ ทั้งนี้ข้าวมอลต์เป็นเทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพของข้าวในแง่ของการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและการปรับปรุงคุณภาพด้านรสชาติ สี และมีกลิ่นหอม โดยมีขั้นตอนคือนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำ จากนั้นนำขึ้นมาบ่มไว้ให้งอก แล้วจึงนำข้าวเปลือกที่งอกนั้นมาคั่ว หลังการคั่วนำไปอบให้แห้งแล้วสีเอาเปลือกออก วิธีการนี้ทำให้วิตามินและสารอาหารต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ยังคงอยู่ในเม็ดข้าว นอกจากนี้ข้าวมอลต์ยังให้วิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน แคลเซียม วิตามินเอ วิตามินซี และมีวิตามินบีหลายชนิด มีไนอะซิน โปแตสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม ซึ่งล้วนแล้วแต่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโต และหนึ่งในสารอาหารที่มีประโยชน์เหล่านั้น คือ GABA [13-15] จากขั้นตอนการผลิตข้าวมอลต์จะทำให้มีการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลบางส่วน รสชาติจึงเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น และยิ่งเมื่อนำไปให้ความร้อนหรือทำแห้ง จึงมีรสชาติ สี และกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงที่เกิดจากสารอาหารชนิดต่าง ๆ ที่สร้างสะสมอยู่ในเมล็ดข้าวระหว่างการงอก [16,17] ทั้งหมดนี้จึงทำให้นักวิจัยมีแนวคิดในการยกระดับข้าวไทยนั้น คือ ข้าวไรซ์เบอรี่โดยพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม และศึกษาผลของการแปรรูปด้วยการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์ต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ เนื่องจากความร้อนระดับพาสเจอร์ไรซ์เป็นการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ในระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค แต่เป็นอีกแนวทางในการรักษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ให้คงอยู่ รวมถึงผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้จะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของผู้ประกอบการในการนำไปขยายต่อเชิงพาณิชย์ต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

2.1 การผลิตข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอรี่

2.1.1 จัดซื้อข้าวเปลือกพันธุ์ไรซ์เบอรี่คุณภาพดี เมล็ดสมบูรณ์ สะอาด มีค่าความชื้นประมาณ 12-13 %wb จากเกษตรกรในจังหวัดปทุมธานี มาทำความสะอาดด้วยการเป่าแยกฝุ่นละออง ก่อนที่จะนำไปทดสอบในขั้นตอนการทำข้าวมอลต์ต่อไป

2.1.2 นำข้าวเปลือกพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วแช่น้ำในอ่างน้ำ (Wise bath WB-22, Korea) ควบคุมอุณหภูมิ 35±1 ºC เป็นเวลา 24 hr พร้อมทั้งเปลี่ยนน้ำทุก 4 hr เพื่อป้องกันการหมักของข้าว เมื่อครบเวลาตามกำหนด กรองเอาเมล็ดข้าวเปลือกออก นำขึ้นไปสู่ขั้นตอนการบ่มเพื่อให้ข้าวเปลือกงอกโดยห่อด้วยผ้าขาวบางสะอาดชุ่มน้ำนำเข้าตู้ควบคุมความชื้น (Binder KBF, Germany) ที่อุณหภูมิ 35±1 ºC ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 เป็นเวลา 48 hr จะได้ข้าวเปลือกไรซ์เบอรี่ที่งอกความยาวของรากประมาณ 3-4 mm

2.1.3 นำตัวอย่างข้าวเปลือกพันธุ์ไรซ์เบอรี่เพาะงอก คั่วด้วยเครื่องคั่วระบบฮีตเตอร์อุณหภูมิ 120 ºC ที่เวลา 20 min จากนั้นลดความชื้นด้วยการอบในตู้ลมร้อน (Binder FD115, Germany) ที่อุณหภูมิ 50 ºC จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ประมาณ 13 %wb และนำไปกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะ (Model P-1, Thailand) จะได้ข้าวกล้องมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอรี่

2.2 การเตรียมส่วนผสมของเครื่องดื่มข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

นำข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอรี่มาผลิตน้ำแป้งโดยเทคนิคการโม่เปียกด้วยเครื่องโม่ไฟฟ้า (Promix OP-001, Japan) แช่ข้าวมอลต์ในน้ำอัตราส่วนข้าว 1 ส่วนต่อน้ำ 2 ส่วน อุณหภูมิ 30±2 ºC เวลา 3 hr และโม่ด้วยเครื่องโม่ไฟฟ้า นำมากรองด้วยผ้าขาวบางสองชั้นจนได้น้ำแป้งข้าวมอลต์ ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยน้ำสะอาดและตรวจวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ≈7 ºBrix ด้วยเครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์ (hand refractometer) แล้วจัดเตรียมส่วนผสมของเครื่องดื่ม ได้แก่ น้ำแป้งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอรี่ นมสด น้ำตาลหญ้าหวาน ในอัตราส่วน 50.0, 49.5 และ 0.5 ตามลำดับ พร้อมทั้งเติมเจลาติน 0.1 % โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปโฮโมจีไนส์ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Ystral 3 X10/25, Germany) หัว โฮโมจีไนเซอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24.9 mm ความเร็วรอบ 16,000 rpm เป็นเวลา 5 min ก่อนนำไปสู่ขั้นตอนการให้ความร้อนต่อไป

2.3 การให้ความร้อนด้วยการพาสเจอไรซ์

ตวงเครื่องดื่มข้าวมอลต์ขนาด 150 mL บรรจุในขวดแก้วที่ผ่านการลวกฆ่าเชื้อ ปิดฝา และให้ความร้อนในภาชนะปิดผนึกสนิทอุณหภูมิ 90 ºC เป็นเวลา 15, 25 และ 35 min ตามลำดับ ด้วยหม้อฆ่าเชื้อ (รีทอร์ดแรงดันสูงชนิด water spray retort (National direct network, Co., Ltd., Thailand) ทำให้เย็นทันที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ºC ก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีต่อไป

2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

2.4.1 ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ทดสอบความชื้นโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างจำนวน 2 g อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Binder FD115, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 ºC เป็นเวลา 16 hr อ้างอิงวิธีการทดสอบจากมาตรฐาน [18] และหาค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Aqualab 3 TE, USA)

2.4.2 ค่าสี วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (JC801, Japan) รายงานผลในรูปของ L*, a*, b* ซึ่งทั้ง 3 ค่าเป็นการแสดงการวัดค่าสีโดยที่ค่า L* คือ ค่าความสว่าง (lightness) มีค่าความสว่างมากเมื่อเข้าใกล้ 100 และมีความมืดเมื่อเข้าใกล้ 0 ค่า a* คือ ค่าความเป็นสีเขียว (greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าความเป็นสีน้ำเงิน (blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ และวัดค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*, total color difference) ดังสมการที่ (1) [19] เปรียบเทียบระหว่างก่อนกระบวนการและหลังกระบวนการ ซึ่งก่อนวัดค่าสี

เครื่องวัดสีถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย standard calibration plate ค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 98.11, -0.11 and -0.08 ตามลำดับ

$$\Delta E^* = ((L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2)^{1/2} \quad (1)$$

โดยที่ ΔE^* = ความแตกต่างของสี (total color difference); L_0^*, L^* = ค่าความสว่างของตัวอย่างก่อนกระบวนการและหลังกระบวนการ; a_0^*, a^* = ค่าความเป็นสีเขียวหรือสีแดงของตัวอย่างก่อนกระบวนการและหลังกระบวนการ; b_0^*, b^* = ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของตัวอย่างก่อนกระบวนการและหลังกระบวนการ

2.4.3 ปริมาณแอนโทไซยานิน วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน (total anthocyanin content) [20,21] โดยเตรียมตัวอย่างเครื่องดื่ม 1 mL ใสลงในสารละลายเอทาโนลิกไฮโดรคลอริก (เอทานอล 95 % 85 mL ตอ กรดไฮโดรคลอริก 1.5 นอรมอล 15 mL) ปริมาตร 25 mL เขย่าให้เข้ากัน ปิดฝาด้วยแผ่นอลูมินัมฟอยลแล่วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 ºC นาน 24 hr จากนั้นนำออกมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 ปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทาโนลิกไฮโดรคลอริกใหม่มีปริมาตร 25 mL แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Thermo Spectronic Genesys, USA) ที่ความยาวคลื่น 535 nm โดยใช้สารละลายเอทาโนลิกไฮโดรคลอริก เปนตัวปรับศูนย (blank) คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสมการที่ (2) และ (3) ดังนี้

$$\text{total absorbance} = (OD_{535} \times V \times 100) \div W \quad (2)$$

$$\text{total anthocyanin content (mg/g)} = \text{Total absorbance} \div 98.2 \quad (3)$$

โดยที่ V = ปริมาตรของสารละลายที่นำมาหาปริมาณแอนโทไซยานิน (mL); W = น้ำหนักของตัวอย่างเครื่องดื่มที่นำมาหาปริมาณแอนโทไซยานิน (mL); OD_{535} = ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

2.4.4 ค่าความหนืดและค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความหนืดของตัวอย่างวัดด้วยเครื่องวัดความข้นหนืด Brookfield viscometer (Brookfield RVDV-II+PRO, USA) โดยใช้หัวเข็มขนาด No. 1 ปริมาณตัวอย่าง 250 mL ต่อการวัดแต่ละครั้ง อ่านค่าที่ระดับความเร็วรอบ 150 rpm บันทึกค่าในหน่วยเซนติพอยด์ (cP) วัดซ้ำ 3 ซ้ำ วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเครื่องดื่มข้าวด้วยเครื่อง pH meter (Jenco VisionPlus630, USA) วัดซ้ำ 3 ซ้ำ

2.4.5 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging ability โดยใช้ 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl radical (DPPH) เป็นอนุมูลอิสระ เริ่มจากการนนำสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 150 µL ใส่ในหลอดทดลองเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.6 mM ปริมาตร 3 mL เขย่าให้เข้ากันเก็บในที่มืด 30 min ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm และเทียบกับกราฟสารมาตรฐานโทรล็อกซ์รายงานในหน่วย mg Trolox/100 g [22]

2.4.6 การทดสอบจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม (total viable count) โดยอ้างอิงวิธีการทดสอบจาก Maturin และ Peeler [23] และรายงานปริมาณจุลินทรีย์เป็น CFU/mL ของตัวอย่างเครื่องดื่มข้าวมอลต์

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95 % [one-way analysis of variance (ANOVA)] และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan new's multiple range test (DMRT)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ไรซ์เบอรี่และข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอรี่

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการแปรรูปและการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ โดยมีส่วนผสมหลัก 4 ชนิด ได้แก่ น้ำแป้งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอรี่ นมสด น้ำตาลหญ้าหวาน และเจลาติน ทั้งนี้กระบวนการเริ่มตั้งแต่การผลิตข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

Table 1 Physicochemical properties of Riceberry brown rice (RB) and Riceberry malted (RBM)

Samples	Anthocyanin (mg/g dry weight)	Color values			Moisture content (%wb)	Water activity (a_w)
		L*	a*	b*		
BR	1.94±0.16	24.25±0.01	7.29±0.02	7.58±0.05	7.89±0.53	0.29±0.01
RBM	1.17±0.08	23.39±0.02	4.78±0.08	5.17±0.13	10.19±0.53	0.30±0.01

*Data are expressed as mean±SD, n = 3; BR = Riceberry brown rice; RBM = Riceberry malted

ตารางที่ 1 พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่เมื่อนำมาผ่านการกะเทาะเปลือก (BR) มีลักษณะสีม่วงเข้ม ก่อนนำมาผ่านขั้นตอนการผลิตข้าวมอลต์นำไปทดสอบหาปริมาณสารแอนโทไซยานินให้ค่า 1.94 mg/g dry weight ซึ่งสีม่วงของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่เป็นสีที่มีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) หรือที่เรียกว่าสารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ (antioxidant) ทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระ และช่วยทำให้กลไกการทำงานของร่างกายมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าปรกติ [24] ดังนั้นการที่ข้าวไรซ์เบอรี่ที่ทดสอบนี้มีสารแอนโทไซยานินที่มีประโยชน์จึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ (functional food) ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจอุดตันและมะเร็ง [25,26] และเมื่อนำข้าวไรซ์เบอรี่มาผ่านขั้นตอนการผลิตข้าวมอลต์ และนำไปทดสอบหาปริมาณสารแอนโทไซยานินพบว่าให้ค่าลดลงที่ 1.17 mg/g dry weight ซึ่งการลดลงอาจเนื่องจากกระบวนการผลิตข้าวมอลต์ตัวอย่างข้าวต้องผ่านขั้นตอนทั้งการแช่ การล้าง และการให้ความร้อนจึงส่งผลต่อการลดลงของสารแอนโทไซยานิน เนื่องจากสมบัติของแอนโทไซยานินที่ละลายได้ดีในน้ำ ไม่เสถียร สลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน และแสง เมื่อโครงสร้างเปลี่ยนแปลงสีจะเปลี่ยนไปด้วย [27] อย่างไรก็ตาม ข้าวมอลต์ที่ผลิตจากข้าวไรซ์เบอรี่ยังคงมีปริมาณสารแอนโทไซยานินเหลืออยู่ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค และกระบวนการผลิตข้าวมอลต์เป็นการปรับปรุงคุณภาพข้าวช่วยให้มีรสชาติ สี และกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ และยังมีงานวิจัยรายงานถึงคุณค่าทางโภชนาการที่สูงซึ่งเกิดจากสารอาหารชนิดต่าง ๆ ที่สร้างสะสมอยู่ในเมล็ดข้าวระหว่างการงอก [16,17]

เปรียบเทียบสมบัติของตัวอย่างก่อนและหลังการผลิตข้าวมอลต์ประกอบด้วยค่าสี ค่าความชื้นและปริมาณน้ำอิสระซึ่งให้ผลดังตารางที่ 1 ว่าค่าสีของข้าวไรซ์เบอรี่ก่อนการผลิตข้าวมอลต์มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 24.25±0.01, 7.29±0.02 และ 7.58±0.05 ตามลำดับ ขณะที่ค่าสีของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่หลังการผลิตข้าวมอลต์มีค่า 23.39±0.02, 4.78±0.08 และ 5.71±0.13 ตามลำดับ ทั้งนี้สังเกตได้ว่าระหว่าง

กระบวนการล้างและแช่อีกทั้งยังบ่มไว้เป็นเวลานานทำให้เกิดการชะล้างของเม็ดสี ส่งผลให้ค่าสีทั้งสามของข้าวไรซ์เบอรี่หลังการผลิตข้าวมอลต์มีแนวโน้มลดลง ข้อมูลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการวัดปริมาณสารแอนโทไซยานินดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และการวิเคราะห์ค่าความชื้นพบว่าก่อนการผลิตข้าวมอลต์เท่ากับ 7.89±0.02 %wb และค่าความชื้นหลังการผลิตข้าวมอลต์เท่ากับ 10.19±0.01 %wb ซึ่งค่าความชื้นดังกล่าวอยู่ในช่วง 7-11 %wb พบว่าข้าวไรซ์เบอรี่หลังการผลิตข้าวมอลต์มีค่าความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการผลิตข้าวมอลต์มีการแช่และบ่มซึ่งใช้น้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ส่งผลให้ค่าปริมาณน้ำอิสระในข้าวไรซ์เบอรี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกันจาก 0.29±0.01 เป็น 0.30±0.01 จัดอยู่ในกลุ่มอาหารแห้งค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 โดยที่ปริมาณน้ำอิสระบอกถึงปริมาณน้ำในอาหาร ซึ่งส่งผลให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย ทั้งนี้น้ำที่มีอยู่ในอาหารแต่ละชนิดมีการยึดติดอยู่ในโครงสร้างหรือโมเลกุลของสารอื่น ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารในรูปแบบและความแข็งแรงต่างกัน รวมถึงปริมาณน้ำในอาหารมีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เนื่องจากจุลินทรีย์เจริญได้ดีในอาหารที่ความชื้นสูง [28]

3.2 ผลการแปรรูปและการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่

คุณภาพที่สำคัญของเครื่องดื่ม คือ สี ความหนืด รสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ และที่สำคัญต้องปลอดภัยสำหรับการบริโภค การทดสอบเบื้องต้นของงานวิจัยจนได้ส่วนผสมที่เหมาะสมของเครื่องดื่มประกอบด้วย แป้งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอรี่ นมสด น้ำตาลหญ้าหวาน ในอัตราส่วน 50.0, 49.5 และ 0.5 ตามลำดับ พร้อมทั้งเติมเจลาติน 0.1 % โดยน้ำหนักโฮโมจิไนส์จนเป็นเนื้อเดียวกัน [RBM (control)] จากนั้นเพื่อต้องการศึกษาผลของความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ ต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงนำไปให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 90 ºC เป็นเวลา 15 min [RBM - (90/15)], 90 ºC เป็นเวลา 25 min [RBM - (90/25)] และ 90 ºC เป็นเวลา 30 min [RBM - (90/30)] ตามลำดับ ให้ผลการทดสอบดังแสดงต่อไปนี้

3.2.1 ผลของการแปรรูปและการให้ความร้อนต่อสมบัติด้านความหนืดของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่

ความหนืดเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงความต้านทานการไหล เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของอาหาร และการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์กลุ่มอาหารเหลว ซึ่งในกระบวนการทดสอบความหนืดของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ก่อนและหลังการให้ความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 1 พบว่าเครื่องดื่มก่อนให้ความร้อน [RBM (control)] มีค่าความหนืด 17.17 cP หลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 ºC เวลา 15 min [RBM – (90/15)] และ 25 min [RBM – (90/25)] ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ 35.83 cP และ 40.37 cP ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม กลับพบว่าที่สภาวะการให้ความ 90 ºC เวลา 35 min [RBM - (90/35)] ค่าความหนืดของเครื่องดื่มข้าวมอลต์มีแนวโน้มลดลงที่ 36.80 cP ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่เติมเจลาตินโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความคงตัวและเป็นอิมัลซิไฟเอร์ช่วยทำให้เครื่องดื่มไม่เกิดการแยกชั้น แต่ด้วยคุณสมบัติของเจลาตินที่อุ้มน้ำได้ 5-10 เท่า และเมื่อได้รับความร้อนจะหนืดขึ้น แต่ถ้าทำให้เย็นจะมีการเซ็ตตัว ขณะที่เมื่อเจลาตินได้รับความร้อนที่สูงและนานเกินไปจะทำลายความสามารถในการเซ็ตตัว ส่งผลให้เห็นว่าที่เวลาในการให้ความร้อนที่นานขึ้นกับเครื่องดื่มข้าวมอลต์ค่าความหนืดจึงมีแนวโน้มลดลง [3]

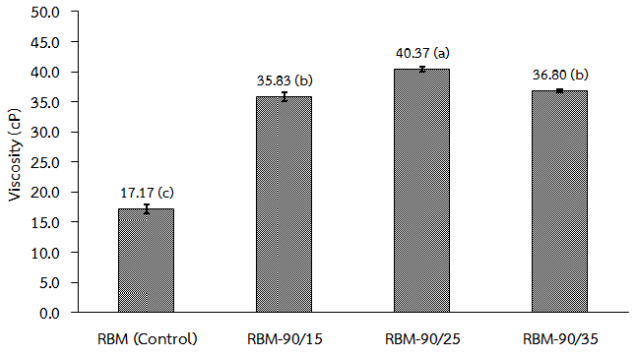

Figure 1 Comparison of viscosity values in Riceberry malted beverage at different pasteurized conditions. Different letters above the data bars indicate significantly different treatments (DMRT, $p < 0.05$).

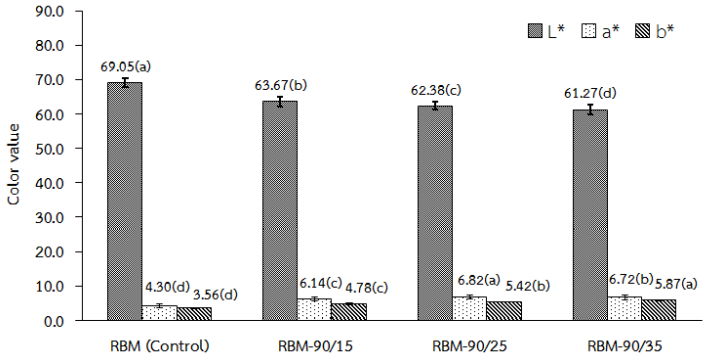

Figure 2 Comparison of color values in Riceberry malted beverage at different pasteurized conditions. Different letters above the data bars indicate significantly different treatments (DMRT, $p < 0.05$).

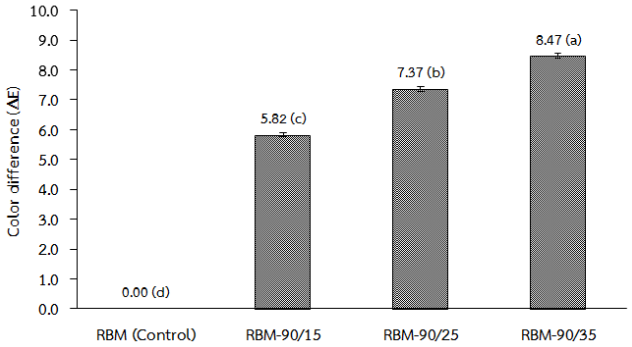

Figure 3 Comparison of color difference values in Riceberry malted beverage at different pasteurized conditions. Different letters above the data bars indicate significantly different treatments (DMRT, $p < 0.05$).

3.2.2 ผลของการแปรรูปและการให้ความร้อนต่อสมบัติด้านสีของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่

ค่าสีนับเป็นปัจจัยหนึ่งของการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่จึงคำนึงถึงปัจจัยนี้เป็นอันดับแรก ๆ โดยงานวิจัยวัดค่าสีจากตัวอย่างเครื่องดื่มทั้ง 3 สภาวะ ที่ผ่านการให้ความร้อน พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับค่าสีของตัวอย่างเครื่องดื่มก่อนให้ความร้อนให้ผลแสดงดังรูปที่ 2 และ 3 พบว่าค่าความสว่าง (L*) ของเครื่องดื่มก่อนให้ความร้อนมีค่า 69.05 และเมื่อเวลาที่นานขึ้นของกระบวนการฆ่าเชื้อส่งผลต่อการลดลงของค่าความสว่าง (L*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ที่ 61.27-63.67 ในทางตรงกันข้ามกลับพบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ของค่า a* และ b* ของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่ 90 ºC เวลา 15 min [RBM - (90/15)] 25 min [RBM – (90/25)] และ 35 min [RBM – (90/25)] เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องดื่มก่อนให้ความร้อน [RBM (control)] ทั้งนี้สอดคล้องกับค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) พบว่าการเพิ่มขึ้นของเวลาในการให้ความร้อนที่ 90 ºC เวลา 15, 25 และ 35 min ให้ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ที่ 5.82, 7.37 และ 8.47 ตามลำดับ หรือมีแนวโน้มของสีที่เข้มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากข้าวไรซ์เบอรี่มีการผ่านขั้นตอนการเพาะงอกในการผลิตข้าวมอลต์ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวมีการย่อยสลายสารอาหารไปตามกระบวนการชีวเคมีจนได้สารที่มีโมเลกุลเล็กลง เช่น กรดอะมิโนต่าง ๆ และน้ำตาลรีดิวซ์ [29] เมื่อสารเหล่านี้ได้รับความร้อนจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงและเวลาในการให้ความร้อนที่นานจะทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลให้เห็นได้ชัดเจนขึ้น และผลของความร้อนนั้นจะทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และการสร้างสารพิษจากจุลินทรีย์ได้ [4,28]

3.2.3 ผลของการแปรรูปและการให้ความร้อนต่อสมบัติด้านความเป็นกรดเป็นด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่

การผลิตอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีสภาพเป็นกรดต่ำควรมีค่า pH สูงกว่า 4.6 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2556) ดังนั้นจากการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ทั้งหลังให้ความร้อนและก่อนให้ความร้อนแสดงดังรูปที่ 4 พบว่าก่อนการให้ความร้อน [RBM (control)] เครื่องดื่มมีค่า pH เท่ากับ 6.07 และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) หลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 ºC เวลา 15 min [RBM - (90/15)] 25 min [RBM - (90/25)] และ 35 min [RBM - (90/35)] เท่ากับ 6.39, 6.40 และ 6.38 ตามลำดับ หรือจัดอยู่ในกลุ่มเครื่องดื่มที่มีสภาพเป็นกรดต่ำ ผลการวิจัยสอดคล้องกับ จุฑามาศ และเฉลิมพล [3] ที่รายงานค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเครื่องดื่มจากข้าวหอมนิลที่เหมาะสมอยู่ที่ 6.71 นอกจากค่าความเป็นกรดด่างให้เหมาะสมกับเครื่องดื่มแล้วอีกปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง คือ ค่าความหวานหรือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid) เนื่องจากเป็นปัจจัยในการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภคดังนั้นจากการปรับอัตราส่วนค่าความหวานในเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ที่มีส่วนผสมประกอบด้วย น้ำแป้งข้าวมอลต์พันธุ์ไรซ์เบอรี่นมสด สารให้ความหวาน และเจลาติน พบว่าก่อนการให้ความร้อน [RBM (control)] เครื่องดื่มมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 7.00 ºBrix และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อนำไปให้ความร้อนที่ 90 ºC พบว่ามีค่าอยู่ที่ 11 ºBrix ของทั้ง 3 สภาวะให้ผลสอดคล้องกับ จุฑามาศ และเฉลิมพล [3]

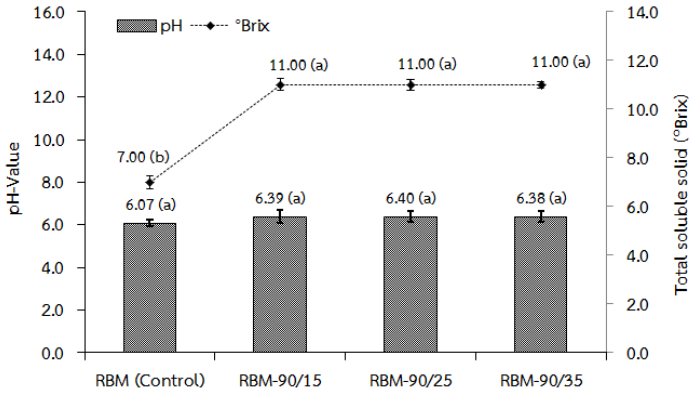

Figure 4 Comparison of pH values and total soluble solid in Riceberry malted beverage at different pasteurized conditions. Different letters above the data bars indicate significantly different treatments (DMRT, $p < 0.05$).

Table 2 Total aerobic microbial count and antioxidant activity of malted drink from Riceberry

Samples	Total aerobic microbial count	Antioxidants DPPH
	(CFU/mL)	(mg eq Trolox/100 g)
RMB (control)	1.3×10^5	36.94 ± 0.07^a
RMB - (90/15)	1.4×10^2	28.38 ± 0.06^d
RMB - (90/25)	4.9×10^2	26.93 ± 0.06^d
RMB - (90/35)	4.4×10^2	28.50 ± 0.05^b

Data are expressed as mean±SD

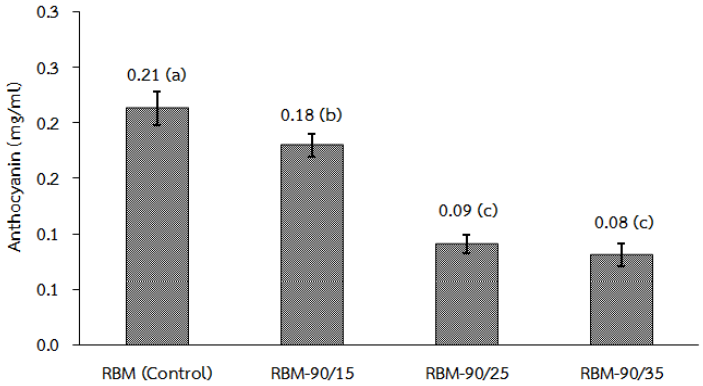

Figure 5 Comparison of anthocyanin values in Riceberry malted beverage at different pasteurized conditions. Different letters above the data bars indicate significantly different treatments (DMRT, $p < 0.05$).

3.2.4 ผลของการแปรรูปและการให้ความร้อนต่อปริมาณจุลินทรีย์และการต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่

การผลิตอาหารเพื่อการบริโภค สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึง คือ ความปลอดภัยของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องทดสอบปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ซึ่งให้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 ผลการประเมินพบว่าปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มก่อนการฆ่าเชื้อ [RMB (control)] มีค่า 1.3×10^5 CFU/mL ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่ามาตรฐาน หลังจากนั้นเมื่อนำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มไปผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 ºC เป็นเวลา 15 min [RBM - (90/15)] 25 min [RBM - (90/25)] และ 35 min [RBM - (90/35)] พบว่าปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมลดลงเท่ากับ 1.4×10^2, 4.9×10^2 และ 4.4×10^2 CFU/mL ตามลำดับ โดยที่ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมในผลิตภัณฑ์ลดลงและผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย อ้างอิงได้จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.282/2558 กำหนดมาตรฐานของน้ำข้าวกล้องให้มีจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 CFU/mL และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 355) พ.ศ. 2556 กำหนดจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ไม่เกิน 1×10^4 CFU/mg ในอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ศึกษาตรวจวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ที่รายงานค่าเป็น mg eq Trolox/100g โดยวิธี DPPH เป็นการทดสอบความสามารถ ในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลอิสระของ DPPH ซึ่งเป็นวิธีที่วิเคราะห์ง่าย สะดวก มีความเสถียร และสามารถใช้กับตัวอย่างหลายชนิด พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มข้าวมอลต์ส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยก่อนการฆ่าเชื้อ [RMB (control)] มีค่า antioxidants DPPH เท่ากับ 36.94 mg eq Trolox/100g หลังจากนั้นเมื่อนำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มไปผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 ºC เป็นเวลา 15 min [RBM - (90/15)] 25 min [RBM - (90/25)] และ 35 min [RBM - (90/35)] พบว่า antioxidants DPPH มีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 28.38±0.06, 26.93±0.06 และ 28.50±0.05 mg eq Trolox/100g ตามลำดับ ถึงแม้จะพบแนวโน้มที่ลดลงแต่ผลการวิจัยในขั้นตอนนี้แสดงให้เห็นว่าสารต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มข้าวมอลต์พร้อมบริโภคยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ถึงแม้จะผ่านการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ขวัญจิตต์ และขนิษฐา [30]

การทดสอบสารแอนโทไซยานินในเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ให้ผลแสดงดังรูปที่ 5 พบว่าเครื่องดื่มก่อนให้ความร้อน [RBM (control)] มีปริมาณสารแอนโทไซยานิน 0.21 mg/mL และมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 0.18, 0.09 และ 0.08 mg/mL ที่อุณหภูมิการให้ความร้อน 90 ºC เป็นเวลา 15, 25 และ 35 min ตามลำดับ การลดลงอาจเนื่องมาจากแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอล เป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ ไม่เสถียรจึงสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน ออกซิเจน และแสง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kirca และคณะ [31] ที่พบว่าเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำผลไม้เพิ่มขึ้น อัญจนา และคณะ [32] ที่พบว่าการต้มผักสีม่วง มันเทศ มะเขือยาวม่วง และกะหล่ำปลีสีม่วงที่อุณหภูมิ 98-100 ºC ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินเมื่อเปรียบเทียบกับผักสด และสุนันและคณะ [33] ที่พบว่าเมื่อนำเส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่ผลิตจากแป้งข้าวหอมนิลนึ่งไปผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ

50, 60 และ 70 °C ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินในเส้นก๋วยเตี๋ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะพบการลดลงของปริมาณสารแอนโทไซยานินในเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ แต่เครื่องดื่มยังคงมีปริมาณสารแอนโทไซยานินอยู่ ซึ่งส่งผลดีกับผลิตภัณฑ์เนื่องจากสารแอนโทไซยานินมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์เป็นสารปฏิชีวนะ ต้านภูมิแพ้ ต้านไวรัสพิษด้วย ช่วยการขยายตัวของหลอดเลือด รวมทั้งต้านการหืนของน้ำมัน [10-12,34]

4. สรุป

การศึกษาผลของการแปรรูปและการให้ความร้อนต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพของเครื่องดื่มข้าวมอลต์จากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอรี่ ผลการทดสอบพบว่าข้าวไรซ์เบอรี่มีสารแอนโทไซยานิน 1.94 mg/g dry weight และลดลงที่ 1.17 mg/g dry weight เมื่อผ่านขั้นตอนการเป็นผลิตข้าวมอลต์ และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อนำมาผลิตเป็นเครื่องดื่มโดยหลังการให้ความร้อนที่ 90 °C เป็นเวลา 15, 25 และ 35 min ให้ค่าแอนโทไซยานิน 0.18, 0.09 และ 0.08 mg/g dry weight ตามลำดับ การตรวจวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH รายงานค่าเป็น mg eq Trolox/100g โดยที่เครื่องดื่มก่อนการฆ่าเชื้อให้ค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 36.94 mg eq Trolox/100g และลดลง 26-28 mg eq Trolox/100g หลังการให้ความร้อน ส่วนสมบัติทางกายภาพด้านอื่น ๆ พบว่าการให้ความร้อนด้วยระยะเวลาที่นานทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 17.17-40.37 cP ในช่วงแรกและมีแนวโน้มลดลงที่ 36.80 cP เมื่อให้ความร้อนนานขึ้น ส่วนค่าความสว่าง (L*) ของเครื่องดื่มก่อนให้ความร้อนมีค่า 69.05 และเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อด้วยเวลาที่นานส่งผลต่อการลดลงของค่าความสว่าง (L*) ขณะที่พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า a* และ b* สอดคล้องกับค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) ที่เพิ่มขึ้นหรือมีแนวโน้มของสีที่เข้มขึ้น ขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และความเป็นกรดเป็นด่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เวลาการให้ความร้อน 15-35 นาที เมื่อทดสอบปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมของผลิตภัณฑ์หลังการฆ่าเชื้อให้ค่าลดลงลง 1.4×10^2 - 4.9×10^2 CFU/mL ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถบริโภคอย่างปลอดภัย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อุดหนุนทุนวิจัยประเภทงบประมาณกองทุนส่งเสริมงานวิจัยฯ ประจำปีงบประมาณ 2562

6. References

[1] Rawdsiri, S. and Thongrak, P., 2012, Product Development of Young Rice and cereal Beverage, Research Report, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phranakhon Si Ayutthaya, 80 p. (in Thai)

[2] Chomsri, N.O. and Panomwan Na Ayutthaya, R., 2014, Functional Fermented Beverage from Tunyasirin and Lanna Rices, Research Report, Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lana, Chiangmai, 59 p. (in Thai)

[3] Tirasarot, J. and Thanomwong, C., 2015, Production of healthy beverage from

"Homnil" rice, KKU Sci. J. 43(3): 395-402. (in Thai)

[4] Nootjaree Sonsa-ard, N., Rupakchee, S. and Nakngam, A., 2017, The effects of stabilizer and thermal conditions on quality of milky rice product, p. 389, ICT 2017 Innovation and Technology Conference, Nakhon Ratchasima. (in Thai)

[5] Pinitglang, S. and Saiprajong, R., 2018, Formulation of super Berry beverage containing anthocyanin extract from Thai back jasmine rice based on sensory analysis, Agric. Sci. J. 49(2)(Suppl.): 25-28. (in Thai)

[6] Sirichokworrakita, S., Phetkhuta, J. and Khommoona, A., 2015, Effect of partial substitution of wheat flour with Riceberry flour on quality of noodles, Proc. Soc. Behav. Sci. 197: 1006-1012.

[7] Boontun, C., Lomeniem T., Saimo Chu, J. and Thumthanaruk, B., 2015, Comparison of rice berry flour and sweeteners affecting quality of custard cream stuffed rice berry Chinese bun, Agric. Sci. J. 46(3)(Suppl.): 525-528. (in Thai)

[8] Sinchaipanit, P., Budpong, K., Disnil., S. and Twichatwitayakul., R., 2017, Influences of rice berry flour as a wheat flour substitute in brownie: Textural and quality attributes, SDU Res. J. 10(2): 69-80. (in Thai)

[9] Hatthaya, S., Riceberry, Available Source: http://riceberry-rice.blogspot.com/2013/12/blog-post.html, May 25, 2016.

[10] Tsuda, T., Horio, F., Uchida, K., Aoki, H. and Osawa, T., 2003, Dietary cyanidin 3-O-beta-D-glucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice, J. Nutr. 133: 2125-2130.

[11] Jones, K., 2005, The potential health benefits of purple corn, Herbal Gram. 65: 46-49.

[12] He, J. and Giusti, M.M., 2010, Antho cyanins: Natural colorants with health-promoting properties, Ann. Rev. Food Sci. Tech. 1: 163-187.

[13] Rao, R.S.P. and Muralikrishna, G., 2006, Water soluble feruloyl arabi-noxylans from rice and ragi: changes upon malting and their consequence onantioxidant activity, Phytochemistry 67: 91-99.

[14] Celus, I., Brijs, K. and Delcour, J.A., 2006, The effects of malting and mashing on barley protein extractability, J. Cereal Sci. 44: 203-211.

[15] Nestle, Know Malt ... More Benefits Than You Think, Available Source: Nestle.co.th/th/nhw/news/รู้จักมอลต์...คุณประโยชน์มากกว่าที่คิด, February 25, 2019. (in Thai)

[16] Puangwerakul, Y. and Klaharn, W., 2007, Changes of Vitamine B1 and GABA Content in Pilot Plant Scale Production of KDML105 Parboiled Germinated Rice, Research report, Office of the Higher Education Commission, Bangkok. (in Thai)

[17] Puangwerakul, Y. and Towwirakun, C., 2010, Commercial Production of Steamed Vitamin Malt, Research Report, The Agricultural Research Development Agency (Public Organization), Bangkok. (in Thai)

[18] AOAC, 1990, Official Methods of Analyses of the Association of Official Analytical Chemists, 15th Ed, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.

[19] Rhim, J.W., Nunes, R.V., Jones, V.R. and Swartzel, K.R., 1989, Kinetics of color change of grape juice generated using linearly increasing temperature, J. Food Sci. 54: 776-777.

[20] Suwan, N., 2005, Effect of Coating Materials on Controlling of Browning and Weight Loss in Lychee Fruit, Master Thesis, Chiangmai University, Chiangmai. (in Thai)

[21] Ranganna, S., 1977, Plant Pigment, pp. 72-93, In Ragana, S. (Ed.), Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Produce, Tata McGraw-Hill Publishing Co., Ltd., New Delhi.

[22] 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 Chem. 117: 750-756.

[23] Maturin, L. and Peeler, J.T., 2001, Chapter 3: Aerobic Plate Count, In Food and Drug Administration (FDA), Bacteriological Analytical Manual Online, 8th Ed., Silver Spring, Berlin.

[24] Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S. Linsberger-Martin, G. and Berhhofer, E., 2011, Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Srilanka, Food Chem. 124: 132-140.

[25] Laze, M.C., Savio, M., Pizzala, R., Cazzalini, O., Perucca, P., Scovassi, A.I., Stivala, L.A. and Bianchi, L., 2004, Anthocyanins induce cell cycle perturbations and apoptosis in different human celllines, Carcinogenesis 25: 1427-1433.

[26] Lee, J.C., Kim, J.D., Hsieh, F.H. and Eun, J.B., 2008, Production of black rice cake using ground black rice and medium-grain brown rice, Int. J. Food Sci. Tech. 43: 1078-1082.

[27] Markakis, P., 1982, Anthocyanins as Food Colors, Academic Press, New York.

[28] Rangsathong, W., 2014, Food Processing Technology, 5th Ed., Tex and Journal Public Co., Ltd., Bangkok, 500 p. (in Thai)

[29] Hemalatha, K.P.J. and Prasad, D.S., 2003, Changes in the metabolism of protein during germination of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds, Plant Foods Hum. Nutr. 58(3): 1-10.

[30] Anukulwattana, K. and Srinual, K., 2018, Effects of processing, storage and reheating on the amounts and capacities of the antioxidants of ready-to-eat rice in

retort pouch, KMUTT Res. Develop. J. 41(3): 299-309. (in Thai)

[31] Kirca, A., Ozkan, M. and Cemeroglu, B., 2006, Stability of black carrot anthocyanin in various fruit juice and nectars, Food Chem. 97: 598-605.

[32] Junpatiw, A., Mitmungkorn, Y. and Montri, N., 2017, Effects of heat and storage treatments on the anthocyanin contents in selected purple vegetables, Khon Kaen Agric. J. 45(1)(Suppl.): 1278-1282. (in Thai)

[33] Parnsakhorn, S. and Lungapin, J., Chaiya phol, A. and Sookpasan, A., 2018, Effect of drying on physicochemical properties of noodles made from parboiled Hom-Nin brown rice flour with mixed rice flour, Khon Kaen Agric. J. 46(1): 117-128. (in Thai)

[34] Skrovankova, S., Sumczynski, D., Mlcek, J., Jurikova, T. and Sochor, J., 2015, Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries, Int. J. Mol. Sci. 16: 24673-24706.