

ผลของอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัว

สุนัน ปานสาคร^{1*} และจตุรงค์ ลังกาพินธุ์¹

sunan.p@en.mutt.ac.th^{1*}, jaturong.l@en.mutt.ac.th¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received : 19-Mar-2020
Revised : 28-Aug-2020
Accepted : 14-Sep-2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งที่ -18°C และ -40°C ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากการทดลองพบว่า การแช่เยือกแข็งที่ -40°C ใช้เวลาระหว่าง 1-1.5 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิถึงจุดเยือกแข็ง -4 ถึง -5°C ในขณะที่การแช่เยือกแข็งที่ -18°C ใช้เวลาระหว่าง 2-2.5 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิถึงจุดเยือกแข็ง -0.2 ถึง -1°C ทั้งนี้พบความแตกต่างของเส้นกราฟการแช่เยือกแข็งระหว่างผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยเฉพาะช่วงหลังการลดอุณหภูมิไปยังเป้าหมายที่ -40°C และจากการตรวจวัดค่าสีข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ก่อนการแช่เยือกแข็งให้ค่า L^*, a^*, b^* เท่ากับ 38.05, 10.40, 23.74 และ 18.00, 5.56, 3.65 ตามลำดับ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ผ่านการแช่เยือกแข็งที่ -18°C และ -40°C พบแนวโน้มการลดลงของค่าสีทั้งสามค่า (L^*, a^*, b^*) โดยที่อุณหภูมิการแช่เยือกแข็งที่ต่ำทำให้ค่าการลดลงที่สูงขึ้น เช่นเดียวค่าความแข็งซึ่งพบว่าก่อนการแช่เยือกแข็งข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้ค่าเท่ากับ 37.49 นิวตัน และ 46.47 นิวตัน หลังการทำละลายพบแนวโน้มการลดลงโดยที่ความแข็งของข้าวไรซ์เบอร์รี่น้อยกว่าข้าวเสาไห้ และค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่าง 56-65 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมของทุกสภาวะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปลอดภัย และผู้บริโภคมีความชอบโดยรวมสูงสุดกับข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่ -40°C

คำสำคัญ: ข้าว ห่อใบบัว การแช่เยือกแข็ง ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวเสาไห้

Effect of Freezing Temperature on Quality of Rice Wrapped Lotus Left Product

Sunan Pamsakhom^{1*} and Jaturong Langkapin¹
sunan.p@en.rmutt.ac.th^{1*}, jaturong.l@en.rmutt.ac.th¹

¹ Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received	: 19-Mar-2020
Revised	: 28-Aug-2020
Accepted	: 14-Sep-2020

Abstract

The aim of this research was to study effect of freezing temperature at -18°C and -40°C on quality of lotus leaf wrapped rice from Sao Hai and Riceberry products. From the experiment, it was concluded that freezing at -40°C took between 1-1.5 hr to reach the initial freezing temperature from -4 to -5°C . While freezing at -18°C the process took was taken between 2-2.5 hr to reach the initial freezing temperature from -0.2 to -1°C . The differences in the freezing curve between the lotus leaf wrapped rice products from Sao Hai and Riceberry were found, especially after the temperature draw to the target at -40°C . Before freezing, rice wrapped in lotus leaf from Sao Hai rice and Riceberry were measured the color value with L^* , a^* , b^* and the results showed 38.05, 10.40, 23.74 and 18.00, 5.56, 3.65 respectively. After the products were freeze at -18°C and -40°C the trend was found of decreasing of the three color values (L^* , a^* , b^*) with low freezing temperatures providing a higher reduction. Likewise, the hardness values, which were found before freezing, rice wrapped in lotus leaf from Sao Hai and Riceberry, were equal to 37.49 N and 46.47 N. After the products were thawed the hardness value decreased, which the hardness value of Riceberry was less than Sao Hai rice. Moreover, moisture content of the products was presented between 56-65%wb and total microbial counts of all conditions were in the safe standard criteria. Moreover, consumers gave the higher satisfaction on lotus leaf wrapped rice from Riceberry frozen at -40°C than others.

Keywords: Rice, Lotus left, Freezing, Riceberry, Sao Hai

1. บทนำ

ข้าวหอมใบบัว เมล็ดที่หำรับประทานได้ไม่ถ้ง่ายนัก เป็นอาหารสุตรโบราณมีมานานตั้งแต่มัยราชวงศ์เหลียงทางตอนใต้ของจีน เป็นการนำข้าวมาผัดกับเครื่องเทศต่างๆ และผสมกับส่วนประกอบหลากหลายชนิด เช่น เนื้อหมู กุนเชียง เห็ดหอม กุ้งแห้ง ไข่เค็ม เม็ดบัว จากนั้นนำไปห่อรวมกันในใบบัวแล้วนำไปนึ่งจนได้ออกมาเป็นข้าวอบใบบัวที่มีกลิ่นหอมของใบบัวช่วยเพิ่มความอยากอาหาร และมีคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากในข้าวห่อใบบัวมีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ ข้าวที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตให้พลังงานแก่ร่างกาย [1] มีเนื้อสัตว์เป็นแหล่งโปรตีนช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ มีไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย [2] มีเห็ดหอมที่มีสรรพคุณทางยาช่วยป้องกันโรคกระดูกในเด็ก ถ้ารับประทานเป็นประจำจะช่วยป้องกันการอักเสบของผิวหนัง ช่วยป้องกันการเกิดอาการตบเซ็งและหลอดเลือดแข็งตัว มีเส้นใยช่วยทำให้ขับถ่ายได้ง่าย นอกจากนี้ยังช่วยจับสารเคมีที่เป็นพิษและทำให้ผ่านลำไส้ได้อย่างรวดเร็ว ลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ได้ [3] มีเม็ดบัวที่มีวิตามินซีสูง โปรตีนสูงและยังมีฟอสฟอรัส เหล็ก แต่ส่วนประกอบหลักจะเป็นคาร์โบไฮเดรตมากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีไขมัน จึงช่วยให้ไม่อิ่มง่ายและให้พลังงานมาก มีสรรพคุณเด่นช่วยในเรื่องของการบำรุงเลือดสำหรับสตรีที่ประจำเดือนมาไม่ปกติ อีกทั้งยังช่วยขับลม แก้อท้องผูก ท้องเฟ้อ [4,5] เป็นต้น

ในการผลิตข้าวห่อใบบัวพบว่าวัตถุดิบหลักที่ใช้ได้แก่ “ข้าว” ซึ่งข้าวเป็นธัญพืชที่ประชากรโลกบริโภคเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย ข้าวเป็นธัญพืชสำคัญที่สุดในด้านโภชนาการ คนส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวในลักษณะข้าวหุงสุกหรือการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมถึงการแปรรูปในลักษณะข้าวแช่แข็ง ซึ่งพบว่าการแช่เยือกแข็งข้าวหุงสุกที่มีค่าอะไมโลสและอะไมโลเพกตินต่างกันส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ เช่นข้าวมีค่าปริมาณของอะไมโลเพกตินสูงจะมีความคงตัวต่อสภาวะการแช่เยือกแข็งและการละลายได้มากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง รวมถึงยังพบว่าเมื่อนำข้าวไรซ์เบอร์รี่เพาะงอกหุงสุกแช่เยือกแข็งสามารถช่วยเพิ่มความคงตัวของสารกาบาและแอนโทไซยานิน [6,7] ดังนั้นข้าวห่อใบบัวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภค ถึงแม้ข้าวห่อใบบัวจะมี

คุณค่าทางโภชนาการสูงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ด้วยขั้นตอนการผลิตที่ค่อนข้างยุ่งยาก ส่วนผสมหลากหลายชนิดจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่หำรับประทานได้ค่อนข้างยาก และเดิมทีผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวนิยมนำข้าวเสาไห้มาเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากมีลักษณะการแยกตัวของเมล็ดข้าวค่อนข้างดี เป็นข้าวในกลุ่มอะไมโลสสูง [8] ซึ่งเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็งด้วยคนปัจจุบันหันมาใส่ใจสุขภาพกันมากขึ้นดังนั้นข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีและข้าวกลุ่มที่เมล็ดมีสีเฉดน้ำตาลหรือม่วง เช่น ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่จึงเป็นที่นิยม ทั้งนี้ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีลักษณะเป็นข้าวเจ้าสีม่วงเข้ม รูปร่างเมล็ดเรียวยาว มีคุณสมบัติเด่นทางด้านโภชนาการ คือ มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ เบต้าแคโรทีน, แกมมาโอไรซานอล, วิตามินอี, มีดัชนีน้ำตาลต่ำถึงปานกลาง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีสาร “แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)” เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและเส้นเลือดอุดตันในสมอง ด้วยการยับยั้งไม่ให้เลือดจับตัวเป็นก้อน ชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร [9,10] ปัจจุบันยังไม่มียานวิจัยใดรายงานชัดเจนเกี่ยวกับการนำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาผลิตข้าวห่อใบบัว ประกอบกับข้าวห่อใบบัวมีข้อเสียในแง่มีอายุการเก็บรักษาได้ในระยะเวลาสั้นเนื่องจากเกิดการเน่าเสีย และปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร เช่น ปฏิกิริยาทางเคมี เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ของจุลินทรีย์ เอนไซม์ของจุลินทรีย์จะทำให้เกิดลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส การเกิดแก๊ส การไหลเอิ้มของของเหลว ดังนั้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นนักวิจัยจึงมีแนวคิดในการใช้เทคนิคการแช่เยือกแข็งเข้ามาช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว เนื่องจากการแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการถนอมรักษาอาหารประเภทหนึ่ง โดยที่ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยการให้ความเย็นระดับเยือกแข็งจะสามารถเก็บรักษาได้ยาวนาน เพราะอุณหภูมิที่ต่ำจะสามารถยับยั้งและหยุดการเสื่อมเสียในอาหารอันเนื่องมาจากการเจริญของจุลินทรีย์ [11]

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนักวิจัยจึงมีแนวคิดในการผลิตข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัว ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูป เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับผู้บริโภค ทั้งช่วยส่งเสริม

ให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เป็น การส่งเสริมและรักษาภูมิปัญญาท้องถิ่นให้คงอยู่เป็นที่รู้จัก อย่างแพร่หลายมากขึ้น รวมถึงผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้จะเป็น อีกหนึ่งทางเลือกของผู้ ประกอบการในการนำไปขยายต่อเชิง พาณิชยต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

- **การเตรียมตัวอย่างข้าวห่อใบบัว :** จัดซื้อข้าว พันธุ์เสาไห้ และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่คุณภาพดี เมล็ดสมบูรณ์ สะอาด จากร้านค้าที่ได้มาตรฐาน ควบคุมความชื้นเริ่มต้น ของข้าวที่ประมาณ 12-10เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก นำมา บรรจุสุญญากาศสุญญากาศลงละ 1,000 กรัม เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดสอบ จากนั้นเตรียม ส่วนผสมในการทำข้าวห่อใบบัว ประกอบด้วย น้ำซอสปรุงรส เห็ดหอม เม็ดบัว กุ้งแห้ง หมู กุนเชียง และไข่เค็ม

ขั้นตอนการเตรียมข้าวหุงสุกโดยซังตัวอย่างข้าว และน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1:2 ใส่ลงในหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และทำการเปิดสวิตซ์เพื่อทำการหุงสุกจนได้ตัวอย่างข้าวหุงสุก และนำใบบัวหลวงมาตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 25 เซนติเมตร หนึ่งให้ความร้อนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำตัวอย่างข้าวหุงสุกที่ได้เตรียมไว้ซังน้ำหนัก ตัวอย่างละ 150 กรัม ผสมกับน้ำซอสปรุงรสคลุกเคล้าให้เข้า กัน นำส่วนผสมอื่นจัดเรียงในใบบัว แล้วนำข้าวหุงสุกที่ผ่านการคลุกเคล้าใส่ลงในใบบัว ทำการห่อข้าวในใบบัวและนึ่งโดยใช้หม้อต้มน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95°C เป็นเวลา 30 นาที ขั้นตอนนี้เป็น การให้ความร้อนกับข้าวห่อใบบัวในทุก ตัวอย่างซึ่งตัวอย่างนี้ถือเป็นตัวอย่างควบคุม จากนั้น ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีพร้อมทั้งทำการทดสอบ ซ้ำจำนวน3 ซ้ำ

- **กระบวนการแช่เยือกแข็งและการทำลายข้าวห่อใบบัว :** จากขั้นตอนการการเตรียมตัวอย่างข้าวห่อใบบัว ด้วยข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่และนึ่งให้ความร้อน จากนั้น นำไปใส่ภาชนะพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดพอดี กับข้าวห่อใบบัว 10x10x5 เซนติเมตร (กxยxส) ปิดด้วย กระจาดายฟอยล์และติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด k ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของตัวอย่างข้าวห่อใบบัวที่บรรจุในภาชนะ เพื่อวัดอุณหภูมิ โดยบันทึกอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึก อุณหภูมิ (Data logger) ยี่ห้อ Fuke รุ่น 2625A ก่อนนำ

ภาชนะพร้อมสายเทอร์โมคัปเปิลวางในเครื่องแช่เยือกแข็ง แบบอากาศนิ่ง (Still air freezer) ควบคุมอุณหภูมิที่ -18°C โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการแช่ เยือกแข็ง จากนั้นทำเช่นเดิมปรับเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น -40°C ทำการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 14 วัน จากนั้น นำมาทำลายโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟทันทีหลังจาก ออกจากเครื่องแช่เยือกแข็งที่กำลังไฟ 1,100 วัตต์ เวลา 2.30 นาที ซึ่งกำลังไฟฟ้าและเวลาดังกล่าวนี้ได้ผ่านการทดสอบถึง ความเหมาะสมในการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์อย่าง สม่าเสมอ พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีหลัง กระบวนการแช่เยือกแข็ง

- **การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ปริมาณความชื้นและค่าแอดเวอร์แอกติวิตี (a_w) :** ทดสอบ ปริมาณความชื้นโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างจำนวน 10 กรัม อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Binder FD115, Germany อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง อ้างอิงวิธีการทดสอบ จากมาตรฐาน [12] และหาค่าแอดเวอร์แอกติวิตี (a_w) ด้วย เครื่องวัดค่าแอดเวอร์แอกติวิตี (Aqualab 3TE, USA)

ค่าสี (Color value) : วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (JC801, Japan) รายงานผลในรูปของ L^* , a^* , b^* ซึ่งค่าทั้ง 3 ค่า เป็นการแสดงการวัดค่าสีโดยที่ค่าสี L^* คือ ค่าความ สว่าง (lightness) มีค่าความสว่างมากเมื่อเข้าใกล้ 100 และ มีความมืดเมื่อเข้าใกล้ 0 ค่า a^* คือค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (Redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b^* คือ ค่าความเป็นสี เหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าความเป็นสี น้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ ซึ่งก่อนทำการวัดค่าสี เครื่องวัดสีถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Standard Calibration Plate ค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 98.11, -0.11 และ -ตามลำดับ 0.08

ค่าความแข็ง : ตัวอย่างข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเสาไห้หุงสุกนำไปทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Universal Tester Machine) ตามวิธีการกดแบบ Back extrusion ค่าที่อ่านได้เป็นค่าที่แสดงความแข็งของ ตัวอย่างข้าวหุงสุกในหน่วยของนิวตัน [13]

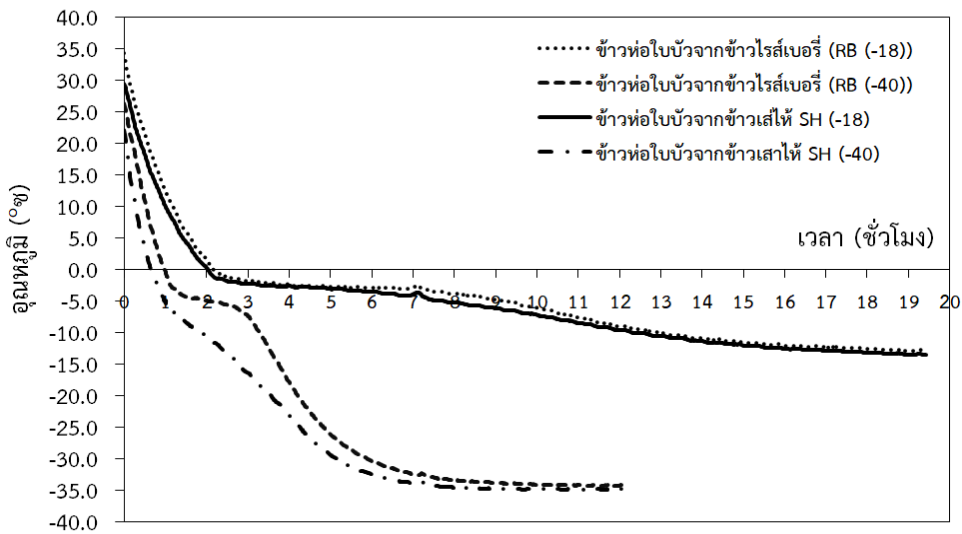
ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม (Total viable count) : อ้างอิงวิธีการทดสอบจาก Maturin และ Peeler [14]

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส : ทำการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคจำนวน 30 คน โดยวิธี Hedonic Scaling 9 point ซึ่งมี คะแนน 9 ได้แก่ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 2 หมายถึง หมายถึงไม่ชอบมาก 3 หมายถึงไม่ชอบปานกลาง 4 หมายถึงไม่ชอบเล็กน้อย 5 หมายถึงเฉยๆ 6 หมายถึงชอบเล็กน้อย 7 หมายถึงชอบปานกลาง 8 หมายถึงชอบมาก 9 หมายถึงชอบมากอย่างยิ่ง ในด้านสี ลักษณะปรากฏ การแยกตัวของเมล็ดข้าว กลิ่น ความนุ่ม ความเหนียว รสชาติ และความชอบโดยรวม

- **การวิเคราะห์ทางสถิติ :** ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95% (One-way analysis of variance (ANOVA)) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวหอมใบบัว ทำการศึกษาการแช่เยือกแข็ง 2 ระดับที่อุณหภูมิ -18^oซ และ -40^oซ โดยเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีกับการใช้ข้าวสองชนิด ได้แก่ ข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในการผลิตข้าวหอมใบบัว สมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมใบบัวที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ค่าสี ค่าความแข็ง ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม และระดับความพึงพอใจของผู้บริโภค พร้อมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1-2 และตารางที่ 1-3



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมใบบัวในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง

3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิข้าวหอมใบบัวระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง

จากขั้นตอนการผลิตข้าวหอมใบบัวโดยใช้ข้าวเสาไห้ (SH (C)) จากนั้นนำไปผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18^oซ (SH (-18)) และอุณหภูมิ -40^oซ (SH (-40)) พร้อมทั้งผลิตข้าวหอมใบบัวโดยใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (RB (C)) จากนั้นนำไปผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18^oซ (RB (-18)) และอุณหภูมิ -40^oซ (RB (-40)) ตามลำดับ ก่อนการแช่เยือกแข็งข้าวหอมใบบัวทุกตัวอย่างได้ผ่านการนึ่งโดยใช้หม้อต้มน้ำ

ควบคุมอุณหภูมิที่ 95^oซ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งตามอุณหภูมิที่กำหนด พบลักษณะเส้นกราฟการแช่เยือกแข็ง (Freezing curve) ในแต่ละตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 1 โดยอุณหภูมิตัวกลางและชนิดของข้าวมีผลต่ออัตราการลดลงของอุณหภูมิ ทั้งนี้การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18^oซ พบว่าจากอุณหภูมิเริ่มต้น 30-35^oซ จะใช้เวลาระหว่าง 2-2.5 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีอุณหภูมิถึงสภาวะที่เรียกว่าการเย็นยิ่งยวด (Super cooling) ก่อนที่น้ำในผลิตภัณฑ์จะมีการ

คายความร้อนแฝงเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นผลึกน้ำแข็ง [15] และพบจุดเยือกแข็งที่ประมาณ -0.2 ถึง -1°C จากนั้นแช่เยือกแข็งต่อเนื่องจนกระทั่งสามารถลดอุณหภูมิลงไปยังเป้าหมายที่ -18°C จึงจะมีแนวโน้มคงที่ของอุณหภูมิ ซึ่งลักษณะการลดลงของอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ในขณะที่การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40°C พบแนวโน้มของการลดของอุณหภูมิที่เร็วกว่าโดยพบว่าจากอุณหภูมิเริ่มต้น 30-35°C จะใช้เวลาระหว่าง 1-1.5 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิจนถึงจุดเยือกแข็งที่ประมาณ -4 ถึง -5°C

และจากรูปที่ 1 พบว่าการใช้อุณหภูมิแช่เยือกแข็งที่ -40°C ส่งผลต่อลักษณะการลดลงของอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะช่วงหลังการลดอุณหภูมิไปยังเป้าหมายที่ -40°C ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์และคุณสมบัติที่แตกต่างกันของข้าวทั้งสองชนิด เช่น ข้าวเสาไห้อยู่ในกลุ่มข้าวปริมาณอะไมโลสสูง [16] และผ่านการขัดขาว ในขณะที่ข้าวไรซ์เบอร์รี่อยู่ในกลุ่มข้าวปริมาณอะไมโลสปานกลาง [17] และไม่ผ่านการขัดขาว เป็นต้น

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านสีและปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง

ตัวอย่าง	ค่าสี			ค่าแอมิตอร์แอดคิตีวีตี้
	L*	a*	b*	(a _w)
SH (C)	38.05±0.49 ^a	10.40±0.15 ^a	23.74±0.26 ^a	0.91±0.01 ^a
SH (-18)	33.53±0.04 ^b	9.87±0.07 ^b	22.86±0.17 ^b	0.90±0.01 ^{bc}
SH (-40)	31.75±0.03 ^c	9.70±0.04 ^b	19.49±0.11 ^c	0.86±0.01 ^c
RB (C)	18.00±0.96 ^d	5.56±0.56 ^c	3.65±0.79 ^d	0.91±0.01 ^{ab}
RB (-18)	16.50±0.12 ^e	5.73±0.05 ^c	4.25±0.05 ^d	0.90±0.01 ^{bc}
RB (-40)	16.39±0.10 ^e	4.82±0.08 ^d	3.08±0.07 ^e	0.89±0.01 ^c

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.)

^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

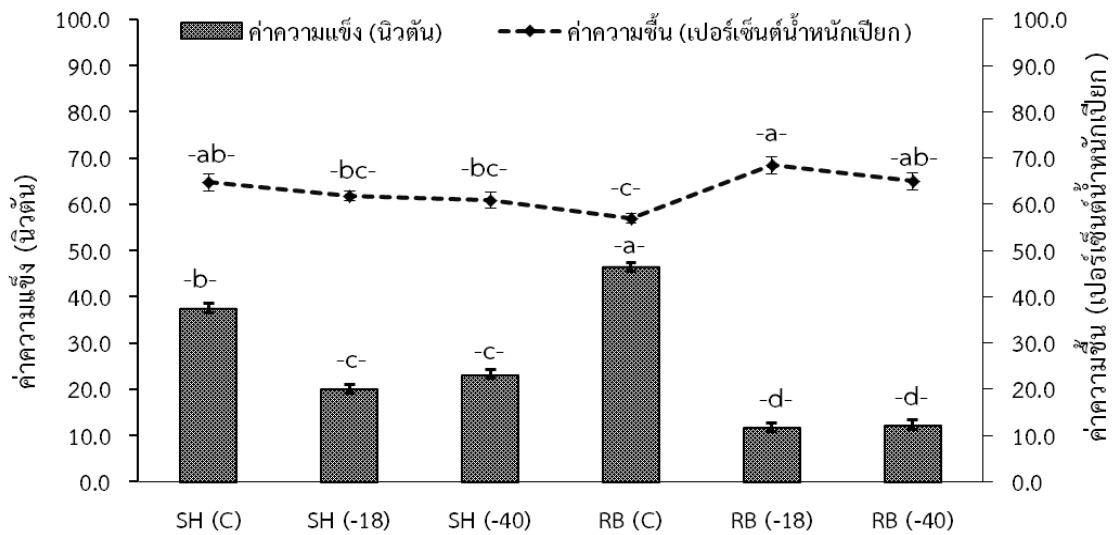
3.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านสีและค่าแอมิตอร์แอดคิตีวีตี้ของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง

ค่าสีนับเป็นปัจจัยหนึ่งของการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหาร ดังนั้นในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์อาหารใดๆ จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยเรื่องสีของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยแรกๆ เสมอ ซึ่งจากตารางที่ 1 พบว่าค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของกลุ่มข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และกลุ่มข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ก่อนและหลังการแช่เยือกแข็งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) นั่นคือข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้ก่อนการแช่เยือกแข็ง SH (C) ให้ค่า L*,a*,b* เท่ากับ 38.05, 10.40 และ 23.74 ตามลำดับ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ผ่านการแช่เยือก

แข็งที่ -18°C (SH (-18)) และ -40°C (SH (-40)) พบแนวโน้มการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ของค่าสีทั้งสามค่า (L*,a*,b*) โดยที่อุณหภูมิการแช่เยือกแข็งที่ต่ำทำให้ค่าการลดลงที่สูงขึ้น ทั้งนี้ในข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แสดงผลการวัดค่าสีในทิศทางเดียวกันนั่นคือ ก่อนการแช่เยือกแข็ง RB (C) ให้ค่า L*,a*,b* เท่ากับ 18.00, 5.56 และ 3.65 ตามลำดับ และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ที่อุณหภูมิการแช่เยือกแข็ง -18°C (RB (-18)) และ -40°C (RB (-40)) ค่า L* ระหว่าง 16.39-16.50, ค่า a* ระหว่าง 4.82-5.73 และ ค่า b* ระหว่าง 3.08-4.25 การลดลงของค่าสีหลังการแช่เยือกแข็งสอดคล้องกับค่าความชื้นที่ลดลงเนื่องมาจากการระเหยของน้ำจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดลักษณะสีคล้ำ ในส่วนค่าแอมิตอร์แอดคิตีวีตี้ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อม

เสียของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญ ซึ่งส่งผลให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย ทั้งนี้ น้ำที่มีอยู่ในอาหารแต่ละชนิดมีการยึดติดอยู่ในโครงสร้าง หรือโมเลกุลของสารอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารในรูปแบบและความแข็งแรงต่างกัน รวมถึง

ปริมาณน้ำในอาหารมีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่ความชื้นสูง จากตารางที่ 2 พบค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวทั้งสองชนิดอยู่ที่ประมาณ 0.86-0.91 ซึ่งถือว่าสูงและอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารสด [15]



รูปที่ 2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งและค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง

^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งและค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง

ชนิดของข้าวและอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้ SH (C) และข้าวไรซ์เบอร์รี่ RB (C) ก่อนการแช่เยือกแข็งให้ค่าความแข็ง 37.49 นิวตัน และ 46.47 นิวตัน ตามลำดับ เมื่อผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°C และ -40°C พบแนวโน้มการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของทั้งสองชนิดพันธุ์ข้าว โดยที่จากผลการทดสอบการใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในการผลิตข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งเมื่อนำมาผ่านการทำละลายและทดสอบค่าความแข็งพบว่าให้ค่าที่น้อยกว่าการใช้ข้าวเสาไห้ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้กับปริมาณความชื้น

พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงส่งผลต่อค่าความแข็งที่ลดลงเช่นกัน ทั้งนี้ชนิดของข้าวที่แตกต่างกันซึ่งโดยพื้นฐานจะมีโครงสร้างภายในเมล็ดที่ต่างกันจะมีผลต่อลักษณะการดูดซึมน้ำและเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้โครงสร้างภายในเม็ดข้าวเกิดการคลายตัว มีความสามารถในการดูดน้ำไว้ในโครงสร้าง เม็ดข้าวจึงมีความแข็งลดลง [18] ประกอบกับสูญเสียน้ำหลังการทำละลายน้ำแข็ง เกิดขึ้นเนื่องจากการในระหว่างการแช่เยือกแข็งเซลล์ของผลิตภัณฑ์ถูกทำลายเนื่องจากผลึกน้ำแข็งรวมถึงน้ำบางส่วนเกิดการเคลื่อนที่ออกมาภายนอกเซลล์ เมื่อทำการละลายน้ำแข็งของเหลวบางส่วนในเซลล์จึงเกิดการสูญเสียออกจากชั้นผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหากเกิดการสูญเสียน้ำหลังการละลายน้ำแข็งย่อมสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของเซลล์ที่ลดลง ดังนั้นจึงอาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสที่ค่าความแข็งลดลง [19] ความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหารโดยเฉพาะการเสื่อม

เสียเนื่องจากจุลินทรีย์ อาหารที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำสูงจะเป็นอาหารที่เสื่อมเสียง่าย เนื่องจากมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้อาหารเสื่อมเสีย อีกทั้งความชื้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงความร้อนของอาหารด้านต่างๆ ในส่วนกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวหอโอบัว พบว่าปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และส่งผลไปยังการยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากหากความชื้นต่ำจะส่งผลให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างแข็งและในทางตรงกันข้ามหากความชื้นสูงมากเกินไปจะทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นิ่มและแฉะไม่น่ารับประทาน ดังนั้นจากรูปที่ 2 พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวหอโอบัวจากข้าวเสาไห้ให้ค่าความชื้น 60-65 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก ในขณะที่ข้าวหอโอบัวจากข้าวไรซ์

เบอร์รี่ให้ค่าความชื้นที่ 56-65 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก ซึ่งหลังการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ข้าวหอโอบัวจากข้าวเสาไห้มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยของค่าความชื้นแต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่หลังการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ข้าวหอโอบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อุณหภูมิ -18°C และ -40°C พบการเพิ่มขึ้นของความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของแป้งข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นการแช่เยือกแข็งแบบช้าผลิตภัณฑ์น้ำแข็งจึงมีขนาดใหญ่ ไปได้หรือที่มแทงผนังเซลล์ เป็นผลให้เมื่อนำมาทำละลายของเหลวในเซลล์ไหลออกมาจึงเกิดการชุ่มน้ำ [20] ส่งผลต่อค่าความชื้นที่วัดได้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวหอโอบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ก่อนและหลังกระบวนการแช่เยือกแข็ง

สภาวะการทดสอบ	ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม (โคโลนีต่อกรัม)
SH (C)	10
SH (-18)	<10
SH (-40)	<10
RB (C)	10
RB (-18)	25
RB (-40)	20

*ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

3.4 ผลการทดสอบหาปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวหอโอบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ก่อนและหลังการแช่เยือกแข็ง

การปนเปื้อนจุลินทรีย์ในอาหารนับว่าเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นกับอาหาร รวมถึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ทำให้คุณภาพอาหารเปลี่ยนไปจนไม่เป็นที่ยอมรับ จากการทดสอบหาปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าข้าวหอโอบัวที่ผลิตจากข้าวเสาไห้ SH (C) และข้าวไรซ์เบอร์รี่ RB (C) ก่อนการแช่เยือกแข็งมีปริมาณจุลินทรีย์โดยเท่ากับ 10 โคโลนีต่อกรัม และเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C และ -40°C พบว่าข้าวหอโอบัวที่ผลิตจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม <10 โคโลนีต่อกรัม ถึง 25 โคโลนี

ต่อกรัมแต่เมื่อมาพิจารณาตัวเลขก็อาจจะมองได้ว่าการแช่เยือกแข็ง RB (-18) มีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่า RB (-40) เล็กน้อยอาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิ -18°C ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็งที่นานกว่า -40°C จึงอาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมเล็กน้อย อย่างไรก็ตามปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมทั้งหมดที่กล่าวมาอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย อ้างอิงได้จากมาตรฐานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.746/2548 กำหนดมาตรฐานของข้าวหอม ให้มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อกรัม [21]

3.5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่หลังการทำการละลายน้ำแข็ง

การประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัสมีบทบาทสำคัญในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ การบริโภคอาหารความรู้สึกที่ซับซ้อนที่เกิดจากการทดสอบทาง

ประสาทสัมผัสนี้ จะส่งผลให้เกิดการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภค โดยทำการประเมินการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของอาหารใช้ประสาทสัมผัสของผู้ชิม คือ สี ลักษณะปรากฏ การแยกตัวของเมล็ดข้าว กลิ่น ความนุ่ม ความเหนียว รสชาติ และความชอบโดยรวม ให้ผลแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่หลังการทำการละลายน้ำแข็ง

ปัจจัยการทดสอบ	ตัวอย่าง			
	SH (-18)	SH (-40)	RB (-18)	RB (-40)
สี	6.53±1.81 ^a	6.30±1.38 ^a	6.50±1.48 ^a	6.60±1.86 ^a
ลักษณะปรากฏ	6.80±1.39 ^a	6.70±1.30 ^a	6.77±1.37 ^a	6.93±1.53 ^a
การแยกตัวของเมล็ดข้าว	6.37±1.67 ^a	5.73±1.36 ^b	6.23±1.33 ^{ab}	6.40±1.22 ^a
กลิ่น	6.20±1.56 ^{ab}	5.50±1.57 ^b	6.07±1.49 ^{ab}	6.90±1.93 ^a
ความนุ่ม	6.33±1.72 ^a	6.60±1.47 ^a	6.30±1.49 ^a	6.53±1.61 ^a
ความเหนียว	5.77±1.60 ^a	6.17±1.49 ^a	5.80±1.59 ^a	6.00±1.60 ^a
รสชาติ	6.40±1.46 ^a	5.70±1.83 ^a	5.97±1.63 ^a	6.50±1.97 ^a
ความชอบโดยรวม	6.80±1.47 ^a	6.33±1.16 ^a	6.60±1.32 ^a	6.90±1.06 ^a

^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์คือการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18°C (SH (-18)) และ -40°C (SH (-40)) กับข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -18°C (RB (-18)) และ -40°C (RB (-40)) ทั้งนี้ก่อนการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค ได้ทำการละลายน้ำแข็งโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟกำลัง 1,100 วัตต์ เวลา 2.30 นาที และทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 30 คน ที่ระดับคะแนนสูงสุด 9 คะแนน ให้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งทั้ง 4 ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในทุกด้านของการทดสอบ แต่เมื่อพิจารณาระดับคะแนนพบว่าข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -40°C (RB(-40)) ให้ค่าระดับความพึงพอใจด้าน สี ลักษณะปรากฏ การแยกตัว

ของเมล็ดข้าว กลิ่น และความชอบโดยรวมสูงกว่าผลิตภัณฑ์อื่นที่ 6.60 6.93 6.40 6.90 และ 6.90 ตามลำดับ ในขณะที่ด้านความนุ่มและรสชาติผู้บริโภคมีความพึงพอใจสูงที่สุดกับข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -40°C (SH (-40)) และ -18°C (SH (-18))

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัว โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ของการแช่เยือกแข็ง 2 ระดับที่ -18°C และ -40°C เปรียบ เทียบผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี ค่าความแข็ง ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม ระดับความพึงพอใจของผู้บริโภค กับการใช้ข้าวสองชนิด คือ ข้าวเสาไห้ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในการผลิตข้าวห่อใบบัว จากการทดสอบพบว่า การแช่เยือกแข็งที่ -40°

ซ ใช้เวลาระหว่าง 1-1.5 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิถึงจุดเยือกแข็งที่ประมาณ -4 ถึง -5°C ในขณะที่การแช่เยือกแข็งที่ -18°C ใช้เวลาระหว่าง 2-2.5 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิถึงจุดเยือกแข็งที่ -0.2 ถึง -1°C ทั้งนี้ยังพบความแตกต่างของเส้นกราฟการแช่เยือกแข็งระหว่างผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวห่อใบบัวข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยเฉพาะช่วงหลังการลดอุณหภูมิไปยังเป้าหมายที่ -40°C และจากการตรวจวัดค่าสีข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ก่อนการแช่เยือกแข็งให้ค่า L^*, a^*, b^* เท่ากับ 38.05, 10.40, 23.74 และ 18.00, 5.56, 3.65 ตามลำดับ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ผ่านการแช่เยือกแข็งที่ -18°C และ -40°C พบแนวโน้มการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของค่าสีทั้งสามค่าโดยที่อุณหภูมิการแช่เยือกแข็งที่ต่ำทำให้ค่าการลดลงที่สูงขึ้น และจากการตรวจวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตีให้ค่าระหว่าง 0.86-0.91 เช่นเดียวค่าความแข็งซึ่งพบว่าก่อนการแช่แข็งข้าวห่อใบบัวจากข้าวเสาไห้และข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้ค่าเท่ากับ 37.49 นิวตัน และ 46.47 นิวตัน หลังการทำละลายพบแนวโน้มการลดลงโดยค่าความแข็งของข้าวไรซ์เบอร์รี่น้อยกว่าข้าวเสาไห้ และค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่าง 56-65 เปอร์เซ็นต์เห็นต้นน้ำหนักเปียกปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมของผลิตภัณฑ์ทุกสภาวะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปลอดภัยสำหรับการบริโภค และจากการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในทุกด้านของการทดสอบ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อุดหนุนทุนวิจัย “ทุนนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาพื้นที่ ประเพณีร่วมทุน” ประจำปีงบประมาณ 2563

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Palanasingh C, Thaweesuk D. Exercise and energy source. Journal of science and technology Mahasarakham University. 2013;31(3): 316-22. (in Thai)
- [2] Srijumroon A. Food and nutrition: prevention and treatment of diseases. 1st ed. Bangkok : Chulalongkorn University Press; 2013. p. 226. (in Thai)
- [3] Thananiveskul A. Food and nutrition (Mushroom, nutritional value). Villagers Doctor Magazine; 2006. Vol 327. (in Thai)
- [4] Kandikere R.S. Nutritional quality evaluation of electron beam-irradiated lotus (Nelumbo nucifera) seeds. Food Chemistry. 2008; 107(1):174-84.
- [5] Anonymous. Medicinal properties of lotus seeds. 2019 [cited 2019 December 26]. Available from: <https://www.honestdocs.co/medicinal-properties-of-lotus-seeds> (in Thai)
- [6] Chuakaew A. Effect of chemical and physico-chemical properties of mixed rice on cooking quality and frozen fried rice. Master of Science (Food Technology), Faculty of Technology, Khon Kaen University. 159 pages. (in Thai)
- [7] Pamsakhom S, Langkapin J, Muangrat R. Effect of freezing on the stability of GABA and Anthocyanin content of cooked germinated. Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 2019; 18(1):1-13. (in Thai)
- [8] Naiwikul A. Rice: Science and Technology. 1st ed. Bangkok : Kasetsart University Press; 2004. p. 366. (in Thai)
- [9] Singhasurasak H. Rice berry. 2019 [cited 2019 December 22]. Available from: <http://riceberry-rice.blogspot.com/2013/12/blog-post.html>.
- [10] Rice Science Center. Riceberry. 2019 [cited 2019 December 22]. Available from: <https://sites.google.com/site/baanmaklomp/khaw-risbe-xri> (in Thai)

- [11] Uttapichat B. Food microbiology. 5th ed. revised version. Thaksin University Bookstore Songkhla Province : Numsilp Advertising Company Limited, 2012. p. 427. (in Thai)
- [12] AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Arlington, Virginia, USA; 1990.
- [13] Reyes V.G, Jindal V.K. A small sample back extrusion test for measuring texture of cooked rice. *Journal of Food Quality*. 1989; 13(2):109-18.
- [14] Maturin L, Peeler J.T. Chapter 3. Aerobic Plate Count, In: Food and Drug Administration (FDA), *Bacteriological Analytical Manual Online*. 8th ed. Silver Spring, Berlin; 2001.
- [15] Rangsadthong W. Food processing technology. 5th ed. Bangkok : Tex and Journal Public Company Limited.; 2014. p. 500. (in Thai)
- [16] Innawong B, Mahayothee B. Research report Application of near infrared spectroscopy for amylose content determination in milled rice. Research and Development Institute Silapahom University; 2015. P. 98 (in Thai)
- [17] Bainak J, Wongpakdee R, Suksomboon A. Development of Dried Rice Noodle (Kanom-geen) from Riceberry. *Agricultural Science Journal*. 2015; 46(3)(Suppl.): 361-4. (in Thai)
- [18] Kerdpiboon S, Charoendee D, Chuntawong N, Asawachit P. Effect of Cooking Methods on Morphological and Physical Properties of Hang Rice during Cooking. *Agricultural Science journal*. 2012;46(3):41-4. (in Thai)
- [19] Sirijariyawat A, Phakul W, Arsanok A. Effect of freezing on quality of ripe mango flesh. *Khon Kane Agr. J*. 2015; 43(1)(Suppl.): 846-50. (in Thai)
- [20] Supawiriyakom W. Effects of lactic acid and phosphate on quality of chilled-frozen fish fillets (*Pangasianodon gigas*). Research report. Maejo University. 2011. (in Thai)
- [21] Community Product Standards. Khao Lam Community Product Standard. 2005 [cited 2019 December 26]. Available from: http://tcps.tisi.go.th/pub /tcps1366_50.pdf (in Thai)