

การพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่

Formulation and Process Development of Crispy Rice Coated with Riceberry Solution

กฤติยา เขื่อนเพชร*, นัชชา จันทร์ศรีบุตร และภัชชญา ลิขิตสิทธิกุล
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Krittaya Khuenpet*, Nutcha Chunsributh and Pashaya Likitsittikul

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Received: February 25, 2018; Accepted: April 10, 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ จากการศึกษาส่วนผสมน้ำเคลือบ 4 สูตร ได้แก่ สูตรน้ำลูกหม่อนผสมน้ำมันมะพร้าว (MC) สูตรน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมน้ำมันมะพร้าว (RC) สูตรน้ำลูกหม่อนผสมเนย (MB) และสูตรน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมเนย (RB) ข้าวพองเคลือบทั้ง 4 สูตร มีปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และค่าความแข็งอยู่ในช่วง 7.64-7.91 %wb, 0.40-0.45 และ 22.45-31.86 kg_{force} ตามลำดับ ข้าวพองเคลือบสูตรน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมเนย (RB) ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงสุด ($p < 0.05$) มีคะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบเล็กน้อย ไม่แตกต่างจากสูตรอื่น ($p \geq 0.05$) และมีต้นทุนต่ำที่สุด จากการศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำเคลือบต่อข้าวพอง (0.5 : 1, 0.75 : 1 และ 1 : 1) พบว่าอัตราส่วน 0.75 : 1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเคลือบที่สม่ำเสมอและได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในระดับชอบปานกลาง สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวพองเคลือบที่เหมาะสม คือ 70 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง สำหรับการพัฒนาสูตรน้ำเคลือบเพื่อสุขภาพ ส่วนผสมน้ำเคลือบที่เหมาะสมประกอบด้วยผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ น้ำลูกหม่อน มอลติทอลผง มอลติทอลไซรัป น้ำผึ้ง น้ำมันมะพร้าว และอินูลิน ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรเพื่อสุขภาพมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition) สูงกว่าสูตรปกติ

คำสำคัญ : ข้าวพอง; ผงข้าวไรซ์เบอร์รี่; น้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่; น้ำลูกหม่อน; อินูลิน

Abstract

The objective of this research was to formulate and develop process of crispy rice coated with riceberry solution. Four coating solution formulas were studied including mulberry juice mixed with

coconut oil (MC), riceberry bran solution mixed with coconut oil (RC), mulberry juice mixed with butter (MB) and riceberry bran solution mixed with butter (RB). It was found that moisture content, water activity (a_w) and hardness values of all solutions coated crispy rices were in the range of 7.64-7.91 %wb, 0.40-0.45 and 22.45-31.86 kg_{force}, respectively. The RB formula coated crispy rice got the highest sensorial score of liking color ($p < 0.05$). The overall acceptability score was slightly like, there was no significant difference from those of other coating formulas ($p \geq 0.05$) and had the lowest cost. Three ratios of coating solution to crispy rice (0.5 : 1, 0.75 : 1 and 1 : 1) were investigated. The result showed that the coating solution and crispy rice at the ratio of 0.75 : 1 was suitable due to providing a smooth surface covering and got the highest sensorial score of overall acceptability ($p < 0.05$) in moderately like level. The optimum drying condition was 70 °C for 3 hours. The healthy coating formula solution was developed. Riceberry powder, mulberry juice, maltitol powder, maltitol syrup, coconut oil and inulin were selected to use as ingredients. Crispy rice coated with healthy riceberry solution formula presented higher antioxidant activity (% inhibition) than that of normal formula.

Keywords: crispy rice; riceberry powder; riceberry bran solution; mulberry juice; inulin

1. คำนำ

ข้าวพอง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียวมาหุงให้สุก ผึ่งแดดหรืออบให้แห้ง นำมาทอดหรือคั่วให้พอง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2559) โดยข้าวพองจัดเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศ เช่น อินเดีย ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา ฟิlipปินส์ ในประเทศอินเดียนั้น ข้าวพองได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากราคาไม่แพง ทำได้ง่าย ข้าวยังคงเป็นเม็ด มีความกรอบ และมีพลังงานต่ำ (ไพบูลย์ และคณะ, 2545) ผู้บริโภคในปัจจุบันมีความตื่นตัวและใส่ใจในสุขภาพมากขึ้นจึงนิยมรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น การลดอาหารที่มีแป้งและน้ำตาลให้น้อยลง (ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย, 2561) โดยอาหารที่เหมาะสมกับผู้ชื่นชอบอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น อาหารที่ทำจากธัญชาติอบให้กรอบ นิยมรับประทานคู่กับนมหรือโยเกิร์ต (หทัยชนก และภรณีภา, 2558) ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารจากธัญชาติเข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาพการทำงานที่เร่งรีบ ต้องหันมาบริโภคอาหารที่

สะดวกรวดเร็ว สามารถเตรียมเองที่บ้านได้ เก็บไว้ได้นานและสามารถหาซื้อได้ตามร้านค้าทั่วไป อีกทั้งอร่อยและมีคุณค่าทางโภชนาการ จึงเป็นที่นิยมกับผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย โดยอาหารประเภทนี้นิยมใช้ข้าวโอ๊ตเป็นวัตถุดิบหลักถึงร้อยละ 30 (วัลย์ และคณะ, 2553) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่อาจต้องมีการนำเข้าและราคาสูง ดังนั้นหากมีผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายกัน แต่ผลิตมาจากข้าวที่เป็นผลผลิตของเกษตรกรไทย อาจทำให้เกิดผลดีหลายประการ นอกจากทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงแล้ว ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร และช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรไทย โดยผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวสำเร็จรูปที่มีโอกาสทางการส่งออก ได้แก่ ขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าว เพื่อตอบสนองการบริโภคของคนรุ่นใหม่และเป็นการเพิ่มช่องทางการบริโภคข้าวได้ง่ายขึ้น โดยผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าว เช่น ขนมข้าวกรอบ และขนมพองกรอบจากการอบหรือทอดก็สามารถทำตลาดในประเทศได้ผ่านช่องทางค้าปลีกแบบท้องถิ่น ร้านสะดวกซื้อ และห้างค้าปลีกสมัยใหม่ (ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย, 2561)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (riceberry) เป็นข้าวกล้องเพื่อสุขภาพที่ได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าพันธุ์หอมนิลกับพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ธัญพืชชา, 2559) โดยจะมีลักษณะเป็นสีม่วงเข้มเมล็ดเรียวยาว มีสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี และโฟเลตสูง นอกจากนี้ส่วนของรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ จึงเหมาะแก่การนำมาแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (สุจิตรา และคณะ, 2561) ซึ่งปัจจุบันผู้บริโภคมีแนวโน้มเลือกรับประทานผลิตภัณฑ์แปรรูปที่มีคุณค่าทางโภชนาการและคุณค่าเชิงฟังก์ชันเพิ่มมากขึ้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งใช้ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต (by product) คือ ผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ และรำข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นส่วนประกอบ เพื่อลดปริมาณของเสีย อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และมีการพัฒนาสูตรเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติอันเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ได้รับคุณค่าทางโภชนาการที่ดี สามารถใช้เป็นทางเลือกของผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ ง่ายต่อการพกพา สะดวกในการรับประทาน เหมาะกับช่วงเวลาที่ย่ำรุ่ง และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผลผลิตทางการเกษตร ก่อให้เกิดประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

ข้าวพอง ผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรดั้งเดิม ได้รับจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวสร้อยสุวรรณ จังหวัดกำแพงเพชร ส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ น้ำผึ้ง น้ำลูกหม่อน น้ำมันมะพร้าว เนยชนิดเค็ม กลูโคสไซรัป และครีมเทียมข้นหวาน ซื้อมาจากตลาดไท จังหวัดปทุมธานี อินูลิน มอลติทอลผง และ

มอลติทอลไซรัป เกรดอาหาร ซื้อมาจากบริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

2.2 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของข้าวพองสูตรทดลองกับสูตรดั้งเดิมและผลิตภัณฑ์ทางการค้า

ทดลองผลิตน้ำเคลือบข้าวพองสูตรทดลอง ซึ่งประกอบด้วยผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ น้ำมันมะพร้าว น้ำผึ้ง กลูโคสไซรัป น้ำลูกหม่อน ครีมเทียมข้นหวาน น้ำน้ำเคลือบที่ได้ไปเคลือบข้าวพองและอบแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (PML tray dryer รุ่น CD-1 ประเทศไทย) วิเคราะห์ค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวพองสูตรทดลองเปรียบเทียบกับข้าวพองเคลือบสูตรของผู้ประกอบการ (สูตรดั้งเดิม) และข้าวพองที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า 2 ตัวอย่าง โดยวิเคราะห์ค่าความแข็งเริ่มต้น และหลังจากแช่เนย เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 นาที โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส หัววัด cylinder probe (P50) (Texture analyzer, Stable Micro System รุ่น TA.XT2 ประเทศอังกฤษ)

2.3 การศึกษาสูตรน้ำเคลือบข้าวพอง

ส่วนผสมของน้ำเคลือบข้าวพองที่แปรชนิดของวัตถุดิบมี 4 สูตร คือ สูตรน้ำลูกหม่อนผสมน้ำมันมะพร้าว (mulberry juice mixed with coconut oil, MC) สูตรน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมน้ำมันมะพร้าว (riceberry bran solution mixed with coconut oil, RC) สูตรน้ำลูกหม่อนผสมเนย (mulberry juice mixed with butter, MB) และสูตรน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมเนย (riceberry bran solution mixed with butter, RB) แสดงดังตารางที่ 1 โดยส่วนผสมที่มีในทุกสูตรของน้ำเคลือบข้าวพอง คือ ผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ ครีมเทียมข้นหวาน กลูโคสไซรัป และน้ำผึ้ง เตรียมน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยนำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว มาต้มในน้ำเดือดอัตราส่วนรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อน้ำ 1 : 10 เป็นเวลา 10 นาที ทิ้งให้

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของน้ำเคลือบข้าวพองสูตรต่าง ๆ

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)			
	สูตรน้ำลูกหม่อนผสม น้ำมันมะพร้าว (MC)	สูตรน้ำรำข้าวผสม น้ำมันมะพร้าว (RC)	สูตรน้ำลูกหม่อน ผสมเนย (MB)	สูตรน้ำรำข้าวผสม เนย (RB)
ผงข้าวไรซ์เบอร์รี่	30	30	30	30
ครีมเทียมขั้วหวาน	4	4	4	4
กลูโคสไซรัป	6	6	6	6
น้ำผึ้ง	30	30	30	30
น้ำลูกหม่อน	24	-	24	-
น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่	-	24	-	24
น้ำมันมะพร้าว	6	6	-	-
เนยเค็ม	-	-	6	6

เป็น จากนั้นนำน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่มากรองแยกกาก
ได้น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่สีม่วง

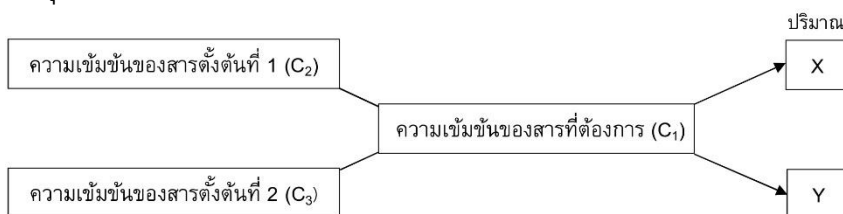
คำนวณเพื่อปรับความเข้มข้นของ
สารละลายน้ำตาลที่วัดค่าเป็นปริมาณของแข็งที่
ละลายได้ทั้งหมดในน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ (องศา
บริกซ์) โดยใช้ น้ำผึ้งเป็นสารปรับปริมาณของแข็งที่
ละลายได้ทั้งหมด ด้วยวิธีเพียร์สันสแควร์ ต้องการ
ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำรำข้าว
ไรซ์เบอร์รี่ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 1 องศาบริกซ์ ให้
มีความเข้มข้นสุดท้าย 13 องศาบริกซ์ (ซึ่ง 13

องศาบริกซ์ เป็นปริมาณของแข็งที่ละลายได้หมด
ของน้ำลูกหม่อนเข้มข้น 96 % ที่ใช้เป็นส่วนผสม
หนึ่งในการศึกษาสูตรน้ำเคลือบข้าวพอง)

คำนวณสัดส่วนผสมระหว่างน้ำรำข้าว
ไรซ์เบอร์รี่ (1 องศาบริกซ์) และน้ำผึ้ง (77 องศา
บริกซ์) แสดงดังสมการที่ 1 และ 2 และรูปที่ 1 (พร
พิรุณ และคณะ, 2556)

$$X = (A \times Z) \div C \tag{1}$$

$$Y = (B \times Z) \div C \tag{2}$$



รูปที่ 1 การคำนวณสัดส่วนผสมระหว่างน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ (1 องศาบริกซ์) และน้ำผึ้ง (77 องศาบริกซ์) [C₁ คือ ความเข้มข้นของสารที่ต้องการ (องศาบริกซ์; น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 13 องศาบริกซ์), C₂ คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ 1 (องศาบริกซ์; น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 1 องศาบริกซ์), C₃ คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ 2 (องศาบริกซ์; น้ำผึ้ง 77 องศาบริกซ์), X คือ ปริมาณของสารตั้งต้นที่ 1 (กรัม; น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 1 องศาบริกซ์), Y คือ ปริมาณของสารตั้งต้นที่ 2 (กรัม; น้ำผึ้ง 77 องศาบริกซ์), Z คือ ปริมาณของสารที่ต้องการ (กรัม; น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 13 องศาบริกซ์), A คือ C₃-C₁ (องศาบริกซ์), B คือ C₂-C₁ (องศาบริกซ์), C คือ A + B (องศาบริกซ์)]

ต้องการน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 13 องศาบริกซ์ จำนวน 100 กรัม ต้องใช้น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 1 องศาบริกซ์ $(Y) = (12 \times 100) \div (64 + 12) = 15.79$ กรัม เดิมน้ำผึ้ง $(X) = (64 \times 100) \div (64 + 12) = 84.21$ กรัม

เตรียมน้ำเคลือบข้าวพองโดยนำส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ตารางที่ 1) ของแต่ละสูตรมาผสมให้เข้ากัน โดยผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 30 แบ่งเติมเป็น 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 เติมผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 10 ลงไปในน้ำเคลือบหน้าเคลือบไปให้ความร้อนด้วยหม้อต้มแบบสองชั้น (double jacket) จนกระทั่งน้ำเคลือบมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ได้น้ำเคลือบที่เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำน้ำเคลือบคลุกผสมกับข้าวพอง ในอัตราส่วนน้ำเคลือบต่อข้าวพอง คือ 0.75:1 โยงผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ครั้งที่ 2 คือ ส่วนที่เหลือร้อยละ 20 ลงบนข้าวพองเคลือบ นำข้าวพองเคลือบไปอบแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด ทุก ๆ 30 นาที นำตัวอย่างข้าวพองเคลือบออกมาขยำ เพื่อแยกเมล็ดข้าวพองไม่ให้เกาะติดกันและแยกเป็นเมล็ดเดี่ยว นำผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าทางเคมี ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และความชื้น ค่าทางกายภาพ ได้แก่ สี (L^* , a^* และ b^*) และค่าความแข็ง (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อ 2.9) และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 25 คน ด้วยวิธี 9-point hedonic scale (9 คะแนน = ชอบมากที่สุด 1 คะแนน = ไม่ชอบมากที่สุด) โดยเสิร์ฟตัวอย่างข้าวพอง 2 กรัม พร้อมกับนมรสจืด 20 มิลลิลิตร ให้ผู้ทดสอบชิมเทข้าวพองแช่ไว้ในนม 1 นาที จากนั้นจึงทดสอบทางประสาทสัมผัส

2.4 การศึกษาปริมาณความหวานที่เหมาะสมของน้ำเคลือบ

โดยได้คะแนนความชอบจากการทดสอบ

ทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ที่อยู่ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย จึงศึกษาความพอดีด้านรสหวานของผลิตภัณฑ์ โดยทดสอบความพอดีด้วยวิธี just about right (JAR) โดยใช้ 5-point scale JAR กำหนดให้ คะแนน 1 คือ น้อยเกินไป คะแนน 3 คือ พอดี และคะแนน 5 คือ มากเกินไป และคำนวณค่า net score โดยคำนวณจากร้อยละของคำตอบที่บอกว่า “มากเกินไป” ลบด้วยร้อยละของคำตอบของคำตอบที่บอกว่า “น้อยเกินไป” โดยค่า net score ที่น้อยกว่า 20 หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีความพอดีแล้ว ไม่ต้องปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์นั้น แต่ถ้า net score มากกว่า 20 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ไม่มีความพอดี ต้องปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ตามทิศทางของร้อยละของคำตอบที่มีค่ามากกว่า (อมรรัตน์ และสุธีรา, 2561)

2.5 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำเคลือบข้าวพองและข้าวพองที่เหมาะสม

นำน้ำเคลือบสูตรที่ดีที่สุดจากข้อ 2.4 มาศึกษาปริมาณน้ำเคลือบข้าวพองต่อข้าวพอง 3 ระดับ ได้แก่ 0.5:1, 0.75:1 และ 1:1 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมี กายภาพ และทดสอบทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.3

2.6 การศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบแห้งข้าวพองเคลือบ

นำข้าวพองที่เคลือบด้วยน้ำเคลือบสูตรที่คัดเลือกจากข้อ 2.5 มาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบนาน 4 ชั่วโมง โดยปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ คือ 3-3.5 %wb เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความแห้งและกรอบ ระหว่างการอบมีการนำตัวอย่างข้าวพองออกมาขยำเพื่อไม่ให้เมล็ดติดกันและแยกเป็นเมล็ดเดี่ยวทุก ๆ 30 นาที และสุ่มตัวอย่างออกมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้นที่เวลา

0, 30, 60, 90, 120, 180 และ 240 นาที นำค่าความชื้นที่ได้มาสร้างกราฟการทำแห้ง

2.7 การพัฒนาสูตรน้ำเคลือบข้าวพองสูตรเพื่อสุขภาพ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่เพื่อสุขภาพสูตรลดน้ำตาลและเสริมใยอาหาร โดยส่วนประกอบที่เหมือนกับสูตรข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่ที่คัดเลือก (สูตรปกติ จากการทดลองข้อ 2.4) คือ ข้าวพอง ผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ น้ำผึ้ง ส่วนผสมที่เปลี่ยนแปลง คือ ใช้น้ำลูกหม่อนทดแทนน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ ใช้มอลติทอลไซรัปแทนกลูโคสไซรัป ใช้น้ำมันมะพร้าวทดแทนการใช้เนย ไม่เติมครีมเทียม ชันหวาน แปรปริมาณสารผสมระหว่างมอลติทอลผงและอินูลิน ในอัตราส่วน 1:1 เพื่อพัฒนาข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรลดน้ำตาลและเสริมใยอาหาร โดยปริมาณสารผสมระหว่างมอลติทอลผงและอินูลินที่ศึกษา คือ ร้อยละ 6.5 13 และ 19.5 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เตรียมน้ำเคลือบข้าวพองตามสูตรเพื่อสุขภาพทั้ง 3 สูตร นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพหาปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ความชื้น ค่าความแข็ง (hardness) และทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale เปรียบเทียบกับข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติที่ได้จากงานวิจัยนี้

2.8 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย

วิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมี ภายนอกภาพ ดังการทดลองที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมี และวิเคราะห์ฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ ทดสอบหาจำนวนยีสต์ รา และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรดั้งเดิม สูตรปกติที่ได้จากการทดลองนี้ และสูตรเพื่อสุขภาพ

2.9 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

2.9.1 วัดค่าสี (L^* , a^* และ b^*) โดยใช้

เครื่อง colorimeter ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น CX2687 ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.9.2 ค่าความแข็ง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA.XT2. ประเทศอังกฤษ หัววัด cylinder probe (P50) ตามวิธีของ Suwimon และคณะ (2007)

2.9.3 ปริมาณน้ำอิสระ โดยใช้เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระในอาหาร ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น CX2 ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.9.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น เถ้า ไขมัน เส้นใย โปรตีน (AOAC, 2000) และคาร์โบไฮเดรต จากการคำนวณ

2.9.5 สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay ดัดแปลงมาจาก Brand-Williams และคณะ (1995) โดยชั่งตัวอย่าง 100 มิลลิกรัม นำไปบดและสกัดด้วยเมทานอล 1 มิลลิลิตร นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3,000 x g นาน 10 นาที จากนั้นแยกสารละลายส่วนใสมาทำปฏิกิริยากับ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 3.9 มิลลิลิตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 nm ที่เวลา 0 และ 30 นาที ซึ่งร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระคำนวณได้จากสูตร ร้อยละการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ = $1 - (\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ 30 นาที} \div \text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ 0 นาที}) \times 100$

2.9.6 การตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) ยีสต์ และราตามวิธี AOAC (2000)

2.10 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองที่ 2.2-2.7 นั้น วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD)

สำหรับสมบัติทางกายภาพและเคมี และวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD, randomized complete block design) สำหรับการประเมินทางประสาทสัมผัส โดยทุกขั้นตอนจะทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's new multiple range test และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

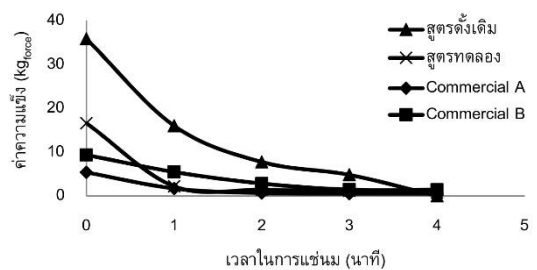
3.1 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรทดลองกับสูตรดั้งเดิมและผลิตภัณฑ์ทางการค้า

รูปที่ 2 แสดงค่าความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์สูตรทดลอง สูตรดั้งเดิม ผลิตภัณฑ์ข้าวพองทางการค้า A (ข้าวพองไม่เคลือบช็อกโกแลต) และ B (ข้าวพองเคลือบช็อกโกแลต) เมื่อแช่ในนมเป็นเวลา 4 นาที แล้วสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความแข็งทุก ๆ 1 นาที พบว่าสูตรดั้งเดิมมีความแข็งมากที่สุด และเมื่อแช่นม ค่าความแข็งลดลงช้าที่สุด ในขณะที่สูตรทดลองนั้นมีค่าความแข็งน้อยกว่าของสูตรดั้งเดิม แต่มากกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า และการลดลงของค่าความแข็งเมื่อนำมาแช่นมมีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ข้าวพองทางการค้า ดังนั้นจึงพัฒนาสูตรน้ำเคลือบข้าวพองโดยใช้ส่วนผสมจากสูตรทดลอง (ผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ น้ำมันมะพร้าว น้ำผึ้ง กลูโคสไซรัป น้ำลูกหม่อน ครีมเทียมชั้นหวาน)

3.2 การศึกษาสูตรน้ำเคลือบข้าวพอง

การศึกษาสูตรน้ำเคลือบข้าวพอง 4 สูตร ได้แก่ สูตรน้ำลูกหม่อนผสมน้ำมันมะพร้าว (MC) สูตรน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมน้ำมันมะพร้าว (RC) สูตรน้ำลูกหม่อนผสมเนย (MB) และสูตรน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมเนย (RB) เพื่อคัดเลือกน้ำเคลือบสูตรที่เหมาะสมเมื่อนำไปเคลือบข้าวพองแล้วนำไป

อบแห้ง จากตารางที่ 2 พบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และค่าความชื้นของตัวอย่างทั้ง 4 สูตร นั้นมีค่าแตกต่างกัน โดยข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรดั้งเดิมมีค่า a_w ต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากข้าวพองเคลือบสูตร MB ซึ่งค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบทุกสูตรอยู่ในช่วง 0.40-0.45 มีความปลอดภัยจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (สุพจน์, 2556) ส่วนค่าความชื้นพบว่าข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรดั้งเดิมมีความชื้นน้อยที่สุด (6.65 ± 0.07 %wb) ส่งผลให้มีความแข็งมากที่สุด (32.52 ± 6.06 kg_{force}) เมื่อเปรียบเทียบข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 4 สูตร พบว่าข้าวพองที่เคลือบด้วยน้ำเคลือบที่มีส่วนผสมของเนยจะมีความแข็งสูงกว่าสูตรที่ใช้ น้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนผสมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเนยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงกว่าน้ำมันเพราะเนยผลิตจากนม ในนมมีของแข็งที่ไม่รวมไขมัน (milk solid not fat) เช่น โปรตีน น้ำตาลแล็กโทส เกลือแร่ วิตามิน ร้อยละ 8.6 (ภาวีน และคณะ, 2549) เมื่อนำมาผลิตเป็นน้ำเคลือบข้าวพอง ทำให้ผิวที่เคลือบมีความสม่ำเสมอและเกิดเป็นชั้นเคลือบหนาอย่างชัดเจนหลังอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเคลือบที่มีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวที่อาจทำให้การเกาะติดของน้ำเคลือบบนข้าวพองได้น้อยกว่า จากคะแนนการทดสอบทาง



รูปที่ 2 ค่าความแข็งของข้าวพองเคลือบสูตรทดลอง สูตรดั้งเดิม และผลิตภัณฑ์ทางการค้า เมื่อแช่นมเป็นเวลา 4 นาที

ตารางที่ 2 คุณภาพทางเคมี กายภาพ และคะแนนการทดสอบของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่

สูตร	ปริมาณน้ำอิสระ (a _w)	ความชื้น (%wb)	Hardness (kg _{force})			
MC	0.45±0.00 ^a	7.64±0.15 ^b	23.22±0.81 ^b			
RC	0.44±0.01 ^a	7.91±0.15 ^a	22.45±3.19 ^b			
MB	0.40±0.00 ^b	7.91±0.04 ^a	29.97±1.72 ^a			
RB	0.45±0.01 ^a	7.73±0.06 ^{ab}	31.86±1.08 ^a			
สูตรดั้งเดิม	0.40±0.01 ^b	6.65±0.07 ^c	32.52±6.06 ^a			
คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส						
สูตร	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	ความกรอบ ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
MC	5.92±1.53 ^a	5.68±1.49 ^{ab}	5.24±1.36	5.76±1.27	5.56±1.71	5.72±1.40
RC	5.68±1.44 ^{ab}	5.36±1.50 ^b	5.24±1.51	5.56±1.80	5.40±1.68	5.32±1.52
MB	5.36±1.41 ^b	5.44±1.33 ^{ab}	5.48±1.61	5.92±1.47	6.12±1.74	5.96±1.43
RB	5.76±1.61 ^{ab}	5.88±1.45 ^a	5.40±1.12	5.72±1.02	5.64±1.52	5.72±1.28

^{a-c}ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างกัน (p < 0.05); ^{ns}ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≥ 0.05); MC คือ น้ำเคลือบสูตรน้ำลูกหมอนผสมน้ำมันมะพร้าว; RC คือ น้ำเคลือบสูตรน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมน้ำมันมะพร้าว; MB คือ น้ำเคลือบสูตรน้ำลูกหมอนผสมเนย; RB คือ น้ำเคลือบสูตรน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมเนย

ตารางที่ 3 ต้นทุนในการผลิตน้ำเคลือบข้าวพอง 100 กรัม

ส่วนผสม	ราคา/กก. (บาท)	MC		RC		MB		RB	
		ปริมาณ (กรัม)	ราคา (บาท)	ปริมาณ (กรัม)	ราคา (บาท)	ปริมาณ (กรัม)	ราคา (บาท)	ปริมาณ (กรัม)	ราคา (บาท)
ผงข้าวไรซ์เบอร์รี่	60	30	1.80	30	1.80	30	1.80	30	1.80
ครีมเทียมชั้นหวาน	60	4	0.24	4	0.24	4	0.24	4	0.24
กลูโคสไซรัป	51	6	0.31	6	0.31	6	0.31	6	0.31
น้ำผึ้ง	335	30	10.05	30	10.05	30	10.05	30	10.05
น้ำลูกหมอน	520	24	12.48	0	0.00	24	12.48	0	0.00
น้ำรำข้าว*	0	0	0.00	24	0.00	0	0.00	24	0.00
น้ำมันมะพร้าว	575	6	3.45	6	3.45	0	0.00	0	0.00
เนย	170	0	0.00	0	0.00	6	1.02	6	1.02
รวม	1717	100	28.33	100	15.85	100	25.9	100	13.42

*รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ในการทดลองเป็นวัตถุดิบที่เหลือจากการสกัดน้ำมันรำข้าวไรซ์เบอร์รี่; MC คือ น้ำเคลือบสูตรน้ำลูกหมอนผสมน้ำมันมะพร้าว; RC คือ น้ำเคลือบสูตรน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมน้ำมันมะพร้าว; MB คือ น้ำเคลือบสูตรน้ำลูกหมอนผสมเนย; RB คือ น้ำเคลือบสูตรน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมเนย

ประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่เมื่อรับประทานคู่กับนม พบว่าความชอบด้านลักษณะปรากฏของข้าวพองเคลือบสูตร MC ได้คะแนนสูงที่สุดในระดับชอบเล็กน้อย (5.92 ± 1.53) และสูตร MB ได้คะแนนต่ำที่สุด (5.36 ± 1.41) ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย การใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนผสมในน้ำเคลือบทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีลักษณะที่มันวาว นำรับประทาน ทำให้คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏสูงขึ้น สำหรับคะแนนความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์ พบว่าข้าวพองเคลือบสูตร RB นั้นได้คะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด (5.88 ± 1.45) ในระดับชอบเล็กน้อย ส่วนข้าวพองเคลือบสูตร RC ได้คะแนนความชอบด้านสีต่ำที่สุด (5.36 ± 1.50) ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย จากลักษณะปรากฏที่ข้าวพองที่เคลือบด้วยน้ำเคลือบที่มีส่วนผสมของเนยทำให้ผิวข้าวพองเคลือบมีความสม่ำเสมอ ทำให้สีของน้ำเคลือบเกาะติดบนข้าวพองได้อย่างทั่วถึง ส่งผลต่อความชอบด้านสี ส่วนคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ ความกรอบและความชอบโดยรวมของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 4 สูตรไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ได้รับความชอบในระดับเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิต (ตารางที่ 3) ส่วนผสมที่มีการแปรปรวน คือ น้ำลูกหม่อน น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ น้ำมันมะพร้าว และเนย น้ำเคลือบสูตรที่ใช้ น้ำลูกหม่อนเป็นส่วนผสมจะมีต้นทุนสูงกว่าสูตรที่ใช้ น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ เนื่องจากรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่นำมาใช้ในการวิจัยเป็น by product ของวิสาหกิจชุมชนที่เหลือจากการสกัดน้ำมันรำข้าว ส่วนน้ำมันมะพร้าวมีราคาสูงกว่าเนย ทำให้น้ำเคลือบสูตรน้ำลูกหม่อนผสมน้ำมันมะพร้าว (MC) 100 กรัม มีราคาสูงที่สุด คือ 28.33 บาท รองลงมา คือ สูตรน้ำลูกหม่อนผสมเนย (MB) สูตรน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมน้ำมันมะพร้าว (RC) และสูตรน้ำรำข้าวไรซ์

เบอร์รี่ผสมเนย (RB) ที่มีต้นทุน 25.9, 15.85, 13.42 บาทต่อน้ำเคลือบ 100 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นน้ำเคลือบสูตรน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมเนย (RB) จึงได้รับการคัดเลือกมาพัฒนาต่อในการทดลองต่อไป เนื่องจากน้ำเคลือบ RB ทำให้ได้ข้าวพองเคลือบที่มีความสม่ำเสมอ สีของน้ำเคลือบเกาะติดบนข้าวพองได้อย่างทั่วถึง มีความชอบโดยรวมในระดับชอบเล็กน้อยไม่แตกต่างจากสูตรอื่น ๆ ($p \geq 0.05$) และมีต้นทุนต่ำที่สุด นอกจากนี้จากคำแนะนำของผู้ทดสอบชิม เมื่อทดสอบชิมข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่คู่กับนมจืด ร้อยละ 90 แนะนำให้เพิ่มรสหวาน จึงศึกษาเพื่อเพิ่มรสหวานของข้าวพองเคลือบ เพื่อให้คะแนนการยอมรับในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น โดยแปรปริมาณครีมเทียมชั้นหวานจาก 4 เป็น 12, 24, และ 36 % ของส่วนผสมทั้งหมด

การทดสอบความพอดีด้านความหวานของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ที่แปรปริมาณครีมเทียมชั้นหวานที่ระดับแตกต่างกันด้วยวิธี just about right (JAR) พบว่าความหวานของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ที่เติมครีมเทียมชั้นหวานร้อยละ 12 และ 24 มีความพอดีน้อยกว่าร้อยละ 70 ส่วนข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ที่เติมครีมเทียมชั้นหวานร้อยละ 36 มีความพอดีร้อยละ 73 สอดคล้องกับค่า net score ของผลิตภัณฑ์ โดยที่ค่า net score น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 แสดงว่าลักษณะผลิตภัณฑ์มีความพอดีแล้ว จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่า net score ของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ที่เติมครีมเทียมชั้นหวานร้อยละ 36 มีค่าน้อยกว่า 20 ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่มีความหวานที่พอดีแล้ว จึงปรับสูตรน้ำเคลือบโดยใช้ครีมเทียมชั้นหวานร้อยละ 36 ของส่วนผสมทั้งหมด

3.3 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำเคลือบข้าวพองและข้าวพองที่เหมาะสม

โดยนำน้ำเคลือบสูตรที่คัดเลือก มาศึกษา

ตารางที่ 4 ทิศทางของความหวานของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ที่เพิ่มปริมาณครีมเทียมชั้นหวานจากการทดสอบความพอดี

ปริมาณครีมเทียมชั้นหวาน (ร้อยละ)	จำนวนผู้บริโภค (ร้อยละ)			Net score
	น้อยเกินไป	พอดี	มากเกินไป	
12	44	48	8	36
24	44	48	8	36
36	23	73	4	19

ปริมาณน้ำเคลือบข้าวพองต่อข้าวพอง 3 ระดับ คือ 0.5:1, 0.75:1 และ 1:1 หลังจากคลุกผสมน้ำเคลือบกับข้าวพองในอัตราส่วนดังกล่าว นำผลิตภัณฑ์ไปคลุกกับผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ก่อนนำไปอบแห้งจากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่มีสีม่วงเข้ม ซึ่งเป็นสีจากน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่และผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ซึ่งมีสารแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุให้สีตามธรรมชาติ (พัชราภรณ์ และคณะ, 2556; ศรีณยพร, 2559) เมื่อนำมาเคลือบข้าวพองแล้วทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีม่วง การใช้ น้ำเคลือบอัตราส่วนที่มากขึ้น ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่เข้มขึ้น เนื่องจากความหนาของชั้นเคลือบที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้ น้ำเคลือบในอัตราส่วนน้ำเคลือบต่อข้าวพอง 1:1 ไม่สามารถเคลือบข้าวพองได้สม่ำเสมอทั้งเม็ด เนื่องจากน้ำเคลือบจับตัวกันเป็นก้อน ไม่เคลือบผิวชั้นนอกของข้าวพองทั้งเม็ด ความเข้มสีของผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับค่าสีที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง colorimeter ผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ที่มีอัตราส่วนของน้ำเคลือบมากขึ้นทำให้ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเหลือง (b*) ลดลง และมีค่าสีแดง (a*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ดังตารางที่ 5 ตัวอย่างข้าวพองที่เคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ในอัตราส่วน 1:1 มีค่าสีแดง (a*) ลดลง เนื่องจากการยึดเกาะของน้ำเคลือบที่ข้าวพองไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้ผิวของเม็ดข้าวพอง

เคลือบมีส่วนที่เป็นสีม่วงจากน้ำเคลือบและสีข้าว น้ำตาลของข้าวพองที่ยังไม่ถูกเคลือบอย่างเห็นได้ชัด ส่งผลต่อสีที่วัดได้



รูปที่ 3 ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ที่มีอัตราส่วนน้ำเคลือบต่อข้าวพอง 3 ระดับ (ก) 0.5:1 (ข) 0.75:1 และ (ค) 1:1

ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ทั้งสามอัตราส่วนมีปริมาณน้ำอิสระไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 0.33-0.35 (ตารางที่ 5) โดยข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สู่อัตราส่วนน้ำเคลือบต่อข้าวพอง 0.5:1 มีความชื้นไม่แตกต่างจากสูตรน้ำเคลือบต่อข้าวพอง 1:1 สำหรับความแข็งของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของน้ำเคลือบที่เพิ่มขึ้น โดยข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่มีความแข็ง 14.67, 30.43 และ 37.99 kg_{force} เมื่ออัตราส่วนน้ำเคลือบต่อข้าวพองเป็น 0.5:1, 0.75:1 และ 1:1 ตามลำดับจากการทดสอบความชอบโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 6) พบว่าข้าวพองเคลือบ

สารละลายไรซ์เบอร์รี่ในอัตราส่วนน้ำเคลือบต่อข้าวพองในอัตราส่วน 0.75:1 ได้รับคะแนนความชอบทุกด้านสูงในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (คะแนน 6.28-7.20) ซึ่งแตกต่างจากข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่อัตราส่วน 0.5:1 และ 1:1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นข้าวพอง

เคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ในอัตราส่วนน้ำเคลือบต่อข้าวพอง 0.75:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ที่ให้ผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่มีการเคลือบสม่ำเสมอทั้งเมล็ดน้ำเคลือบไม่เกาะติดกันเป็นก้อน มีเนื้อสัมผัสที่กรอบ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบปานกลางเมื่อรับประทานร่วมกับนม (7.20 ± 1.04)

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น ความแข็ง และค่าสีของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่

อัตราส่วน	L*	a*	b*	a_w^{ns}	ความชื้น	Hardness (kg _{force})
0.5:1	42.61±0.25 ^a	6.8±0.13 ^b	9.78±0.23 ^a	0.35±0.02	5.37±0.12 ^a	14.67±1.71 ^c
0.75:1	36.86±0.21 ^b	7.05±0.04 ^a	8.40±0.20 ^b	0.33±0.01	4.73±0.31 ^b	30.43±3.37 ^b
1:1	35.33±0.35 ^c	6.10±0.12 ^c	8.39±0.22 ^b	0.35±0.01	5.23±0.43 ^a	37.99±1.85 ^a

^{a-c}ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในกลุ่มนี้เดียวกันแสดงความแตกต่างกัน ($p < 0.05$); ^{ns}ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่เมื่อรับประทานร่วมกับนม

อัตราส่วน	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
0.5:1	6.12±1.39 ^b	5.60±1.29 ^b	5.86±1.32 ^c	6.00±1.22 ^b	6.48±1.12 ^a	6.36±1.08 ^b
0.75:1	6.72±1.37 ^a	6.28±1.43 ^a	6.88±1.17 ^a	7.00±1.33 ^a	6.96±1.21 ^a	7.20±1.04 ^a
1:1	6.00±1.29 ^b	5.60±1.58 ^b	6.40±1.12 ^b	6.36±1.11 ^b	5.72±1.46 ^b	5.96±1.31 ^c

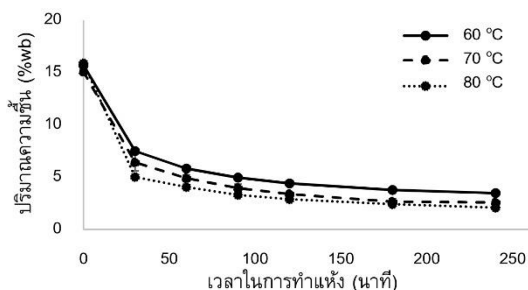
^{a-c}ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในกลุ่มนี้เดียวกันแสดงความแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

3.4 การศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบแห้งข้าวพองเคลือบ

ข้าวพองหลังจากเคลือบด้วยสารละลายไรซ์เบอร์รี่และคลุกด้วยผงไรซ์เบอร์รี่ ผลิตภัณฑ์มีความชื้นประมาณ 15 %wb เมื่อนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส รูปที่ 4 แสดงปริมาณความชื้นของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่กับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าพฤติกรรมการอบแห้งของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงของการอบแห้ง

ลดลง การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง มีผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว และใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง โดยความชื้นที่ต้องการของข้าวพองเคลือบในการทดลองนี้ คือ ความชื้นที่น้อยกว่าหรือเท่ากับของความชื้นข้าวพองเคลือบสูตรดั้งเดิมที่มีค่าความชื้น 3.59 ± 0.12 %wb โดยการอบแห้งข้าวพองเคลือบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์มีความชื้นใกล้เคียงกับการอบแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง คือ ต่ำกว่า 3 %wb ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาในการ

อบแห้งนานขึ้นเป็น 4 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ความชื้นอยู่ในระดับที่ต้องการ โดยผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบมีความชื้น 3.46 %wb การย่อยสลายทางความร้อน (thermal degradation) มีผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานิน คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่ม ความเสถียรของแอนโทไซยานินและรงควัตถุต่างๆ ในอาหารจะลดลง (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) ดังนั้นอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวพองเคลือบ คือ 70 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก อาจช่วยลดการสลายตัวของแอนโทไซยานินคงคุณค่าเชิงฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ได้ อีกทั้งประหยัดพลังงานจากเครื่องอบแห้งที่ต้องทำอากาศร้อนให้อุณหภูมิสูงถึง 80 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาของการทำแห้งข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

3.5 การพัฒนาสูตรน้ำเคลือบข้าวพองไรซ์เบอร์รี่เพื่อสุขภาพ

พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่เพื่อสุขภาพสูตรลดน้ำตาลและเสริมใยอาหาร โดยส่วนประกอบที่เหมือนกับข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติ (สูตรที่คัดเลือกจากการทดลองข้างต้น) คือ ข้าวพอง ผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ น้ำผึ้ง ส่วนผสมที่เปลี่ยนแปลงคือใช้น้ำลูกหมอนทดแทนน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ผลิตภัณฑ์ยังคงมีสี

ม่วง เพราะน้ำลูกหมอนเป็นแหล่งของแอนโทไซยานิน และมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง (ลือชัย, 2555) ใช้มอลติทอลไซรัปแทนกลูโคสไซรัป ใช้น้ำมันมะพร้าวทดแทนการใช้เนย ไม่เติมครีมเทียมชั้นหวาน (ที่ฉลากของครีมเทียมชั้นหวานระบุว่ามีส่วนประกอบ 46 %) ข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่เพื่อสุขภาพจึงเป็นสูตรลดน้ำตาล ศึกษาการแปรปรวนสารผสมระหว่างมอลติทอลผงและอินูลิน อัตราส่วน 1:1 เพื่อพัฒนาข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรลดน้ำตาลและเสริมใยอาหาร โดยปริมาณสารผสมระหว่างมอลติทอลผงและอินูลินที่ศึกษา คือ ร้อยละ 6.5, 13 และ 19.5 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด โดยผลิตข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่เพื่อสุขภาพทั้ง 3 สูตร นำมาวิเคราะห์คุณลักษณะเปรียบเทียบกับข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติที่ได้จากการทดลองขั้นต้น ตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากัน ปริมาณน้ำอิสระของข้าวพองเคลือบทั้ง 4 สูตร มีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 จึงจัดเป็นอาหารแห้งและมีความปลอดภัยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (สุพจน์, 2556) โดยข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติมีความชื้นสูงที่สุด คือ 3.12 ± 0.02 %wb เนื่องจากในสูตรน้ำเคลือบข้าวพองของสูตรปกติมีปริมาณของเหลวมากกว่าสูตรอื่น ๆ เพราะใช้ครีมเทียมชั้นหวานที่เป็นของเหลวหนืดเป็นส่วนผสม ในขณะที่สูตรอื่น ๆ ใช้มอลติทอลที่เป็นผงแห้งเป็นส่วนผสม ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรเพื่อสุขภาพทั้ง 3 สูตรมีปริมาณความชื้น 2.28-2.68 %wb สำหรับค่าความแข็งของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ทุกสูตรไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 31.72-35.74 kg_{force} เมื่อพิจารณาค่าสีของผลิตภัณฑ์พบว่าข้าวพองเคลือบสูตรเพื่อสุขภาพที่มีปริมาณสารผสมระหว่างมอลติทอลผงและอินูลินเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีความสว่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้

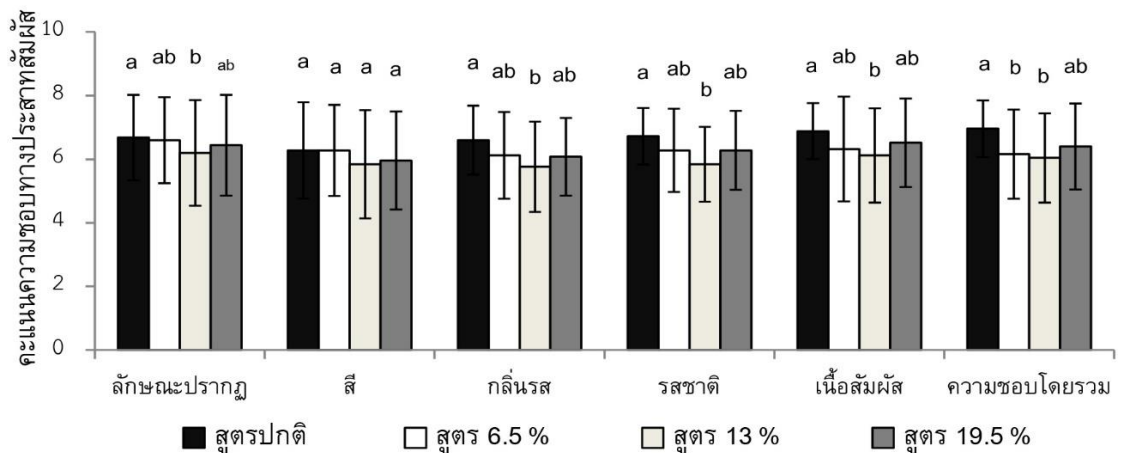
เนื่องจากมอลติทอลผงและอินูลินเป็นผงที่มีสีขาวเมื่อนำไปละลายใช้เป็นส่วนผสมของน้ำเคลือบจึงทำให้น้ำเคลือบสีม่วงมีค่าความสว่างมากขึ้น นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์สูตรเพื่อสุขภาพใช้น้ำมันมะพร้าวทดแทนเนย น้ำมันจะให้ความมันวาวมากกว่าเนยจึงส่งผลต่อค่าความสว่าง โดยค่าความสว่างของข้าวพองเคลือบสูตรปกติและสูตรเพื่อสุขภาพที่มีส่วน

ผสมของมอลติทอลผงและอินูลินร้อยละ 19.5 ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรเพื่อสุขภาพทั้ง 3 สูตร มีค่าสีแดง (a^*) สูงกว่าและมีค่าสีเหลือง (b^*) ต่ำกว่าข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม สีของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่ทุกสูตรยังอยู่ในโทนสีม่วง

ตารางที่ 7 ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ค่าปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น และค่าความแข็งของข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรเพื่อสุขภาพ

ผลิตภัณฑ์	L^*	a^*	b^*	a_w	ความชื้น (%wb)	Hardness ^{ns} (kg _{force})
สูตรปกติ	39.58±0.00 ^a	6.60±0.05 ^d	9.88±0.07 ^a	0.30±0.00 ^b	3.12±0.02 ^a	31.72±2.98
สูตร 6.5 %	37.13±0.18 ^c	7.19±0.06 ^b	8.55±0.14 ^b	0.28±0.02 ^c	2.68±0.04 ^b	32.99±3.54
สูตร 13 %	38.62±0.40 ^b	6.98±0.05 ^c	8.18±0.17 ^c	0.32±0.01 ^a	2.32±0.03 ^c	33.07±5.63
สูตร 19.5 %	39.52±0.08 ^a	7.29±0.03 ^a	8.58±0.03 ^b	0.30±0.02 ^b	2.28±0.04 ^c	35.74±3.27

^{a-c}ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกัน ($p < 0.05$); ^{ns}ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)



รูปที่ 5 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติและสูตรเพื่อสุขภาพที่แปรปริมาณส่วนผสมของมอลติทอลผงและอินูลิน (เมื่อรับประทานร่วมกับนม) [^{a-b}ตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละข้อมูลแสดงความแตกต่างกัน ($p < 0.05$)]

รูปที่ 5 แสดงคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติและสูตรเพื่อสุขภาพที่

แปรปริมาณส่วนผสมของมอลติทอลผงและอินูลินร้อยละ 6.5, 13 และ 19.5 เมื่อรับประทานร่วมกับนม จะเห็นได้ว่าคะแนนความชอบทางด้านลักษณะ

ปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติมีค่าสูงที่สุด และมีคะแนนความชอบของทุกด้าน (ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม) ไม่แตกต่างจากสูตรเพื่อสุขภาพที่มีส่วนผสมของมอลตีทอลผงและอินูลินร้อยละ 19.5 ซึ่งคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 4 สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง 6.04 ± 1.40 ถึง 6.96 ± 0.89 คะแนน ซึ่งหมายถึงผู้ทดสอบชิมมีความชอบในผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ดังนั้นสูตรน้ำเคลือบข้าวพองไรซ์เบอร์รี่เพื่อสุขภาพที่เหมาะสม คือ สูตรน้ำเคลือบที่เติมส่วนผสมของมอลตีทอลผงและอินูลินร้อยละ 19.5

3.6 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย

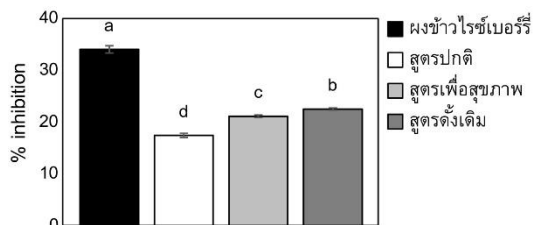
เมื่อนำผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติ สูตรเพื่อสุขภาพ และสูตรดั้งเดิมมาสกัดและวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (% inhibition) ด้วยวิธีดัดแปลงจาก Brand-Williams และคณะ (1995) ได้ผลดังรูปที่ 6 พบว่าฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ 100 % ก่อนที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่นั้น มีค่า % inhibition สูงที่สุด คือ 33.47 ± 1.32 % ส่วนข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 สูตร มีค่า % inhibition แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งผงข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตน้ำเคลือบข้าวพองจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะผ่านกระบวนการให้ความร้อน และใช้เป็นน้ำเคลือบลงบนผิวของผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นคลุกผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ส่วนที่สองลงบนข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่ที่เปียกก่อนนำไปอบแห้ง ดังนั้นผงข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่ใช้ในการผลิตข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ ฤทธิ์ใน

การต้านอนุมูลอิสระจึงน้อยกว่าผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ 100 % อย่างไรก็ตาม ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระลดลงเนื่องมาจากความร้อน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jimenez-Monreal และคณะ (2009) ที่รายงานว่าแครอท กะหล่ำดอก ถั่ว และแตงกวาญี่ปุ่นที่ผ่านการประกอบอาหารด้วยการอบ ทำให้สูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 30-50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 สูตร พบว่าข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรดั้งเดิมมี % inhibition สูงสุด คือ 23.81 ± 0.96 % รองลงมาคือ สูตรเพื่อสุขภาพและสูตรปกติ มีค่า % inhibition เท่ากับ 21.09 ± 0.84 และ 18.54 ± 1.47 % ตามลำดับ เนื่องจากข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรดั้งเดิมมีการใช้ปริมาณผงข้าวไรซ์เบอร์รี่มากกว่าสูตรปกติและสูตรเพื่อสุขภาพ ทำให้เมื่อเคลือบลงบนข้าวพองเกิดเป็นผิวเคลือบที่หนาทำให้ข้าวพองมีค่าความแข็งสูงที่สุด 38.75 ± 1.04 kg_{force} (รูปที่ 1) และเมื่อนำข้าวพองไรซ์เบอร์รี่สูตรดั้งเดิมไปแช่หม และวัดค่าความแข็งทุก ๆ นาที เป็นเวลา 4 นาที พบว่าค่าความแข็งลดลงช้าที่สุด เนื่องจากข้าวพองเคลือบดูดซับน้ำได้น้อย (รูปที่ 1) และจากการสังเกตลักษณะของเมล็ดข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรดั้งเดิมมีผิวเคลือบที่หนา สอดคล้องกับงานวิจัยของ จารุพรรณ และคณะ (2558) ที่รายงานว่า การเติมผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณมากขึ้นในผลิตภัณฑ์ขนมจีนอบแห้งผสมข้าวไรซ์เบอร์รี่ ส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่มากขึ้น สำหรับข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรเพื่อสุขภาพมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสูตรปกติ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเคลือบสูตรปกติใช้น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมกับผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ ส่วนน้ำเคลือบสูตรเพื่อสุขภาพใช้น้ำลูกหม่อนผสมกับผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรเพื่อสุขภาพมีน้ำลูกหม่อนเป็นส่วนผสม ซึ่งน้ำลูกหม่อนมีแอนโทไซยานินและสารต้านอนุมูล

อิสระสูง (วารสารณ์, 2554; ลีอชัย, 2555) ซึ่งอาจมีปริมาณสูงกว่าน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ในการทดลองนี้ เนื่องจากน้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ในการผลิตน้ำเคลือบสูตรปกติเป็นรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว สารต้านอนุมูลอิสระบางส่วนสามารถละลายได้ในไขมัน (ปริตววรรณ และวรรณุช, 2556) จึงอาจสูญเสียไปในกระบวนการสกัดน้ำมันรำข้าว ทำให้น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติที่ใช้น้ำรำข้าวไรซ์เบอร์รี่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรเพื่อสุขภาพที่มีน้ำลวกหมอนเป็นส่วนผสม

ตารางที่ 8 แสดงค่าคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง

เคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติ สูตรเพื่อสุขภาพ และสูตรดั้งเดิม ข้าวพองเคลือบสารละลาย



รูปที่ 6 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (% inhibition) ของผงข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรต่าง ๆ [a-d ตัวอักษรกำกับต่างกันในแท่งข้อมูลแสดงความแตกต่างกัน (p < 0.05)]

ตารางที่ 8 คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรต่าง ๆ

คุณภาพ	สูตรปกติ	สูตรเพื่อสุขภาพ	สูตรดั้งเดิม
คุณภาพทางกายภาพ			
ค่าความแข็ง (hardness; kg _{force})	30.86±0.75 ^c	35.64±0.10 ^b	39.72±0.14 ^a
L*	39.58±0.02 ^a	39.53±0.01 ^b	33.77±0.01 ^c
a*	6.98±0.01 ^c	7.29±0.01 ^b	8.90±0.02 ^a
b*	9.88±0.01 ^b	8.58±0.02 ^c	11.78±0.02 ^a
คุณภาพทางเคมี			
ปริมาณน้ำอิสระ (a _w)	0.30±0.02 ^b	0.30±0.01 ^b	0.42±0.02 ^a
ความชื้น (ร้อยละ)	2.92±0.06 ^b	2.68±0.05 ^c	3.59±0.12 ^a
โปรตีน (ร้อยละ) ^{ns}	7.29±1.03	6.90±0.67	8.43±0.71
ไขมัน (ร้อยละ) ^{ns}	2.23±0.06	2.13±0.06	2.24±0.04
เส้นใย (ร้อยละ)	< 1	< 1	< 1
เถ้า (ร้อยละ)	1.05±0.01 ^b	0.87±0.03 ^c	1.23±0.05 ^a
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	85.51±1.03 ^{ab}	86.44±0.69 ^a	83.51±0.56 ^b
คุณภาพทางจุลินทรีย์			
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	1.3 x 10 ²	1.3 x 10 ²	1.2 x 10 ²
จำนวนยีสต์และรา (CFU/g)	< 10	< 10	< 10

^{a-c}ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงความแตกต่างกัน (p < 0.05); ^{ns}ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≥ 0.05)

ไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติและสูตรเพื่อสุขภาพมีค่าความแข็งต่ำกว่าสูตรดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับค่าสีพบว่าข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติและสูตรเพื่อสุขภาพมีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่า ส่วนค่าสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) น้อยกว่าข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 สูตร มีค่าสีอยู่ในโทนสีม่วง สำหรับค่าคุณภาพทางเคมีพบว่าข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรดั้งเดิมมีปริมาณน้ำอิสระและความชื้นมากกว่าสูตรปกติและสูตรเพื่อสุขภาพ ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณโปรตีนและไขมันของข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่ทุกสูตรนั้นไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) และมีปริมาณเส้นใยน้อยกว่าร้อยละ 1 ข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรดั้งเดิมมีปริมาณเถ้ามากที่สุด คือ ร้อยละ 1.23 ± 0.05 ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตของข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 สูตร อยู่ในช่วงร้อยละ 83.51 ± 0.56 ถึง 86.44 ± 0.69 และจากการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางจุลินทรีย์พบว่าข้าวพองเคลือบไรซ์เบอร์รี่ทุกสูตรมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1×10^3 CFU/g และมียีสต์และรา < 10 CFU/g มีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้าวพอง (มผช.743) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2559)

4. สรุป

การพัฒนาสูตรน้ำเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรปกติพบว่าข้าวพองเคลือบสูตรน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมเนยได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสีสูงที่สุดและมีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด โดยอัตราส่วนน้ำเคลือบข้าวพองต่อข้าวพองที่เหมาะสม คือ 0.75 : 1 เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเคลือบที่สม่ำเสมอและได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระดับชอบปานกลาง สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งข้าวพอง

เคลือบที่เหมาะสม คือ 70 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำกว่า 3 %wb สำหรับการพัฒนาน้ำเคลือบไรซ์เบอร์รี่สูตรเพื่อสุขภาพ ส่วนผสมของน้ำเคลือบที่เหมาะสม ประกอบด้วย น้ำลูกหม่อน ผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ มอลดีทอลผง มอลดีทอลโซลไซรป์ น้ำผึ้ง น้ำมันมะพร้าว และอินูลิน ข้าวพองเคลือบสารละลายไรซ์เบอร์รี่สูตรเพื่อสุขภาพมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสูตรปกติ เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพเนื่องจากลดปริมาณน้ำตาล เพราะไม่ใช้ครีมเทียมชั้นหวานเป็นส่วนผสม และเสริมใยอาหารจากอินูลิน ดังนั้นผลงานวิจัยนี้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำข้าวไรซ์เบอร์รี่และผงข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เป็น by product มาพัฒนาเป็นน้ำเคลือบเพื่อใช้เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ข้าวพอง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์กลุ่มผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวสาลีสุพรรณ จังหวัดกำแพงเพชร สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

6. รายการอ้างอิง

จารุพรรณ ไบนาค, รัตนาภรณ์ วงศ์ภักดี และอโนชา สุขสมบูรณ์, 2558, การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนอบแห้งผสมข้าวไรซ์เบอร์รี่, ว.วิทยาศาสตร์เกษตร 46(3): 361-364.
 รัชฎาพิชชา เพิ่มเครือ, 2559, การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างแบรนต์ข้าวไรซ์เบอร์รี่, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
 ปรีดาวรรณ ขอช่วยกลาง และวรรณุช ศรีเจษฎารักษ์, 2556, การเปรียบเทียบวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายต่อการสกัดวิตามินอีและแกมมา-โอโรซานอลจากข้าวพันธุ์ กข 6, ว.วิจัย มช. 13(2): 10-17.
 พรพิรุณ มงคลถาวร, ภาณุพล ไชลนกระโทก,

- นวกัทธา หนูภาค และทวีพล ชื้อสัตย์, 2556, ระบบเตรียมสารละลายน้ำตาลอัตโนมัติสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารแช่แข็ง, น. 280-288, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51 : สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พัชรภรณ์ รัตนธรรม, ณีฐา เลหากุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น, 2556, สารประกอบฟีนอลิกแอนโทไซยานินและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องสีงอก, ว.วิทยาศาสตร์เกษตร 44(2): 441-444.
- ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก, จักรี ทองเรือง, พิชยา อุดลยธรรม, วรัญญ ศรีเดช และมุกิตา มีนุ่น, 2545, การผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพ, รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา 85 น.
- ภาวีน ผดุงทศ, ศักดา พริงลำภู, โพร้ศรี ลีลาภัทร์, ขวัญชาย เครือสุคนธ์, ชุติพร ศักดิ์สง่างาม, ดวงพร พืชผล และจุฑาทิพย์ ธิาบุญเป็ง, 2549, คุณภาพน้ำนมและพฤติกรรมการบริโภคน้ำนมของผู้บริโภคจังหวัดเชียงใหม่, เชียงใหม่สัตวแพทยสาร 4(1): 31-42.
- ลือชัย บุตุคูป, 2555, วิจัยพบ "ลูกหม่อน" ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง, สารวิจัยเพื่อชุมชนมหาวิทยาลัยมหาสารคาม 1(3): 41-47.
- วรภรณ์ สุทธิสา, 2554, การถ่ายทอดเทคโนโลยีการแปรรูปใบหม่อนและผลหม่อนเป็นอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ, ศูนย์นวัตกรรมใหม่ กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- วลัย หุตะโกวิท, บุษรา สร้อยระย้า, ชมพูนุช เผื่อนพิภพ และดวงกมล ตั้งสถิตพร, 2553, การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเข้าสำเร็จรูปจากแป้งกล้วยด้วยเทคโนโลยีเอกซ์ทราซัน, รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ, 77 น.
- ศรัณยพร มากทรัพย์, 2559, ผลของความเค็มต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอก, Veridian E-J. Sci. Technol. Silpakorn Univ. 3(6): 182-193.
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2561, จับข้าวไทยใส่นวัตกรรมเพิ่มมูลค่ายกระดับ SME, แหล่งที่มา : https://www.Kasikornbank.com/th/business/sme/KSMEKnowledge/article/KSMEAnalysis/Documents/Thai-Rice_Innovation_FullPage.pdf, 23 สิงหาคม 2561
- ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553, ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ แอนโทไซยานิน, สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 20 น.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2559, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 273/2559) ข้าวพอง, 9 น.
- สุจิตตา เรืองรัมย์, กนกวรรณ จัตวงษ์ และอบเชย วงศ์ทอง, 2561, การพัฒนาสูตรนมปังแซนด์วิชโดยใช้รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลี, ว.วิจัยราชภัฏพระนคร 13(1): 123-138.
- สุพจน์ ตุงคเศรษฐ์, 2556, ความสำคัญของการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในอุตสาหกรรมอาหาร, ว.เทคโนโลยี โปรโมชัน 229: 85-88.
- หทัยชนก ชาญชัย และกรณิกา คงชนม์, 2558, พืชชากราโนล่าหน้าผลไม้เพื่อสุขภาพ, รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยสยาม, กรุงเทพฯ, 61 น.
- อมรรัตน์ เจริญ และสุธีรา วัฒนกุล, 2561, ผลของการใช้กัมจากเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของ

- แบดเตอร์และคุณภาพของเค้กแป้งข้าวขาว
ดอกมะลิ 105, ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
26(5): 993-1004.
- AOAC, 2000, Official Method of Analysis, 17th
Ed., The Association of Official Analytical
Chemists, Gaithersburg, Maryland.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset,
C., 1995, Use of a free radical method to
evaluate antioxidant activity, *J. Food Sci.
Technol.* 28: 25-30.
- Jimenez-Monreal, A.M., Garcia-Diz, L., Martinez-
Tome, M., Mariscal, M. and Murcia, M.A.,
2009, Influence of cooking methods on
antioxidant activity of vegetables, *J. Food
Sci. Technol.* 74: 97-103.
- Suwimon, K., Naphatrapi, L. and Thiti, L., 2007,
The effect of Thai glutinous rice cultivars,
grain length and cultivating locations on the
quality of rice cracker (Arare), *LWT- Food
Sci. Technol.* 41: 1934-1943.