

การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโปรไบโอติกจากข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวดำผสมธัญพืช

รัตนภัทร มะโนชัย¹ นภาพันธ์ โชคอำนวยพร² กาญจนา รัตนธีรวิเชียร³ ณัฐมา เหล่ากุลดิลก^{4*}

Received : November 27, 2023

Revised : August 9, 2024

Accepted : August 13, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาคุณภาพของโยเกิร์ตที่ผลิตจากข้าว 2 ชนิด คือ ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวดำ โดยผ่านแปรรูปส่วนข้าวที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 3 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 ประกอบด้วยข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 100 สูตรที่ 2 ประกอบด้วยข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อข้าวเหนียวดำ ร้อยละ 50 ต่อ 50 และสูตรที่ 3 ประกอบด้วยข้าวเหนียวดำร้อยละ 100 ทั้งนี้ ได้ผสมธัญพืช ได้แก่ งาดำ ถั่วดำ ถั่วเหลือง และถั่วแดง ในปริมาณที่เท่ากัน ทุกสูตร ทำการวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าสี L^* (ค่าความสว่าง) a^* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) ความเหนียวติด (Adhesiveness) การเกาะติดกันของอนุภาคภายในอาหาร (Cohesiveness) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เทียบกับกรดแลคติก ปริมาณแบคทีเรียแลคติก ปริมาณยีสต์รา ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และความชอบทางประสาทสัมผัส จากผลการทดลองพบว่า โยเกิร์ตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่า L^* และค่าความเป็นสีแดง ($+a^*$) สูงที่สุด ส่วนโยเกิร์ตจากข้าวเหนียวดำมีค่า Adhesiveness, Cohesiveness, ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด แต่มีปริมาณแบคทีเรียแลคติกรวมถึงปริมาณกรดแลคติกน้อยที่สุด โดยโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกอยู่ระหว่าง $3.0-3.5 \times 10^6$ โคโลนีต่อกรัม ซึ่งอยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้ ยังมีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

คำสำคัญ: ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวเหนียวดำ โปรไบโอติก โยเกิร์ต

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาวนวัฒนกรรมและธุรกิจอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง

อีเมล: rattanapath@g.lpru.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาการประกอบอาหารและการจัดการงานครัว คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

อีเมล: napapan.c@chandra.ac.th

³ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาการจัดการธุรกิจดิจิทัล คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง

อีเมล: delphijava@g.lpru.ac.th

⁴ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาวนวัฒนกรรมและธุรกิจอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง

อีเมล: nutcha@lpru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: nutcha@lpru.ac.th

PRODUCT DEVELOPMENT OF PROBIOTIC YOGURT FROM RICEBERRY RICE AND BLACK GLUTINOUS RICE MIXED WITH CEREALS

Rattanapath Manochai¹ Napapan Chokumnoyporn² Kanjana Ruttanateerawichien³
Natcha Laokuldilok^{4*}

Abstract

This research studied the quality of yogurt produced from two types of rice, Riceberry rice, and black glutinous rice. The experiment involved varying the proportion of rice used in three formulas: formula 1 consisted of 100% Riceberry rice, formula 2 comprised a 50:50 ratio of Riceberry rice to black glutinous rice, and formula 3 consisted of 100% black glutinous rice. Additionally, cereals including black sesame, black bean, soybean, and red bean were added in equal proportions to each formula. The products were analyzed for qualities including color values (L^* , a^* , and b^*), texture characteristics (adhesiveness and cohesiveness), pH value, lactic bacteria content, yeast and mold count, total phenolic content, antioxidant capacity, and sensory evaluation. The results indicated that yogurt made from Riceberry rice exhibited the highest values for brightness (L^*) and redness ($+a^*$). Conversely, yogurt derived from black glutinous rice demonstrated the highest values for adhesiveness, cohesiveness, total phenolic content, and antioxidant capacity but had the lowest amounts of lactic bacteria and lactic acid content. All yogurt formulas contained lactic bacteria amounts ranging between 2.5 and 3.5 x 10⁶ colonies per gram, a level beneficial for the human body. Moreover, the liking scores for all characteristics did not show significant differences ($p>0.05$), with the overall liking score ranging from slightly liking to moderately liking.

Keywords: Riceberry rice, Glutinous rice, Probiotic, Yogurt

¹ Lecturer of Food Innovation and Business Program, Faculty of Agricultural Technology, Lamphang Rajabhat University,
e-mail: rattanapath@lpru.ac.th

² Lecturer of Culinary Art and Kitchen Management Program, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University,
e-mail: napapan.c@chandra.ac.th

³ Lecturer of Digital Business Management Program, Faculty of Management Science, Lamphang Rajabhat University,
e-mail: delphijava@lpru.ac.th

⁴ Lecturer of Food Innovation and Business Program, Faculty of Agricultural Technology, Lamphang Rajabhat University,
e-mail: nutch@lpru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: nutch@lpru.ac.th

บทนำ

โยเกิร์ต (Yoghurt) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 353 พ.ศ.2556 ได้ให้ความหมายไว้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวที่ได้จากการหมักด้วยจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรีย สเตรปโตค็อกคัส เทอร์โมฟิลัส (*Streptococcus thermophilus*) และแล็กโทบาซิลลัส เดลบริคคิโอ ซับสปีชีส์ บัลแกริกัส (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) หรือแล็กโทบาซิลลัส ซับสปีชีส์ อื่น โดยจุลินทรีย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลที่อยู่ในนม คือแลคโตสให้เป็นกรดแลคติก (Lactic acid) ทำให้โปรตีนตกตะกอน มีลักษณะเป็นลิ่มค่อนข้างนุ่ม เนื้อสัมผัสแข็งกึ่งเหลว มีกลิ่นเฉพาะตัว มีรสชาติเปรี้ยวและมีจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือโพรไบโอติก (Probiotic) อยู่ปริมาณมาก นอกจากนี้ องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และ องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ให้คำจำกัดความของโพรไบโอติกไว้ว่า “เป็นจุลินทรีย์มีชีวิต ซึ่งถ้ามีจำนวนมากพอจะก่อให้เกิดประโยชน์แก่สุขภาพได้” (FAO & WHO, 2006) ทั้งนี้ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง การใช้จุลินทรีย์โพรไบโอติกในอาหาร ได้ระบุถึงสกุลและชนิดของจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติก รวม 23 ชนิด โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นโพรไบโอติกอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria) อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ต่อสุขภาพมีทั้งในรูปแบบจุลินทรีย์เซลล์ตาย (Dead cell) และ/หรือ ส่วนประกอบของจุลินทรีย์ (Component of cell) เช่น โปรตีนของเซลล์ สารพันธุกรรมอย่างดีเอ็นเอ (DNA) อาร์เอ็นเอ (RNA) ผนังเซลล์ (Cell wall) เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane หรือ Cytoplasmic membrane) ซึ่งอาจเป็นน้ำตาลหลายโมเลกุล เรียกว่า เอกโซโพลีแซคคาไรด์ (Exopolysaccharide) หรือส่วนที่เป็นลิพิดหรือไขมันที่ต่อกับน้ำตาลหลายโมเลกุล เรียกว่า ลิโปโพลีแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharide) หรือส่วนประกอบอื่น ๆ ของเซลล์ จึงทำให้นิยามของโพรไบโอติกนั้นหมายรวมถึง จุลินทรีย์ในรูปแบบเซลล์ที่มีชีวิต รูปแบบเซลล์ตาย และส่วนประกอบของจุลินทรีย์ที่สามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพได้ ทั้งนี้ จุลินทรีย์โพรไบโอติกมีบทบาทสำคัญต่อระบบทางเดินอาหาร โดยกรดแลคติกที่โพรไบโอติกผลิตออกมาจะทำให้สภาวะในลำไส้มีความเป็นกรดมากพอที่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค ช่วยให้ระบบขับถ่ายมีประสิทธิภาพ ลดอัตราเสี่ยงการเกิดมะเร็งลำไส้และมะเร็งตับ (ไชยวัฒน์ ไชยสูตร, 2556)

ปัจจุบัน มีการพัฒนาอาหารทางเลือกเพื่อสุขภาพออกจำหน่ายสู่ท้องตลาดมากขึ้น เพื่อตอบสนองต่อพฤติกรรมผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป โดยผลิตภัณฑ์นมพืชทางเลือกได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เช่น ถั่วเหลือง ข้าวโอ๊ต งา อัลมอนต์ ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์อื่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีเพื่อทดแทนนมวัวได้ ทั้งนี้ จากการสืบค้นงานวิจัยพบว่า มีการนำธัญพืชหลากหลายชนิดมาพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต เช่น ข้าวสาลีเหล็ก (ภัทรกร บุบผัน และคณะ, 2564) ข้าวกล้องงอกหอมมะลิ (ศุภศิษฐ์ อรุณรุ่งสวัสดิ์ และนิอร ชุมศรี, 2558) ข้าวโพด (วิชญ์ลักษณ์ ค่ายอง, 2550) และลูกเดือย (สุริยา ศรีสุข, 2559)

งานวิจัยนี้ ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวดำผสมธัญพืช ซึ่งข้าวทั้ง 2 ชนิดมีเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำเข้ม มีรายงานว่า น้ำมันรำข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถเพิ่มระดับของกลไกการต้านออกซิเดชันของตับ (Hepatic antioxidant) และลดภาวะเครียดที่เกิดจากออกซิเดชัน (Oxidative stress) ของหนูที่ถูกทำชักนำให้เป็นเบาหวาน (Posuwan et al., 2013) ส่วนเมล็ดข้าวเหนียวดำมีสารสำคัญ ได้แก่ แกมมา-โอไรซานอล (Gamma oryzanol) ค่อนข้างสูง (พันทิพา พงษ์เพียจันทร์ และคณะ, 2547) ซึ่งเป็น

องค์ประกอบที่พบในส่วนของรำข้าว มีคุณสมบัติด้านการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidation) ลดระดับ LDL (Low density lipoprotein) คลอเรสเตอรอล ความดันโลหิต และป้องกันการเกิดมะเร็ง นอกจากนี้ สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ที่พบในข้าวสีม่วงกลุ่มอินดิกา (Indica) มีคุณสมบัติด้านการเกิดออกซิเดชัน ป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน ความผิดปกติของเมตาบอลิซึม และการติดเชื้อ (Khoo et al., 2017)

จากประโยชน์ของข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวกำลังขึ้น งานวิจัยนี้จึงสนใจนำข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มาพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต เสริมด้วยธัญพืชอื่น ๆ เช่น งาดำ ถั่วดำ ถั่วเหลือง และถั่วแดง โดยพืชตระกูลถั่วเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน สตาร์ช ไขมัน/น้ำมัน แร่ธาตุ วิตามิน และมีองค์ประกอบที่มีคุณสมบัติเชิงป้องกัน เช่น สารฟีนอลิก และโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) (Ahmed & Hasan, 2014) ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคแล้ว ยังเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากวัตถุดิบภายในประเทศ สามารถเพิ่มมูลค่าและยังเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้นอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโพรไบโอติกที่ผลิตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวกำลังขึ้นผสมธัญพืช และศึกษาคุณภาพทั้งด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัส

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในงานทดลองนี้ ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวเหนียวกำลังขึ้น งาดำ ถั่วดำ ถั่วเหลือง ถั่วแดง จุลินทรีย์ Lyoflora SYAB 1 (Sacco Srl, Cadorago, ประเทศอิตาลี) ซึ่งประกอบด้วย *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* เสริมด้วยโพรไบโอติก *Lactobacillus acidophilus* และ *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis*

2. การเตรียมน้ำนมข้าวผสมธัญพืช

ผ่านแปรรูปส่วนข้าวแต่ละชนิดที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต ประกอบด้วย 3 สูตร ได้แก่ 1) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ร้อยละ 100 2) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อข้าวเหนียวกำลังขึ้น ร้อยละ 50 ต่อ 50 และ 3) ข้าวเหนียวกำลังขึ้น ร้อยละ 100 ส่วนธัญพืชอื่น ๆ ควบคุมปริมาณให้คงที่ กำหนดให้เติมจุลินทรีย์โพรไบโอติกเท่ากันทุกสูตรในปริมาณร้อยละ 0.07 ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด ดังตารางที่ 1

นำข้าวและธัญพืชต่าง ๆ มาล้างทำความสะอาด จากนั้น แช่ถั่วดำ ถั่วแดง ถั่วเหลือง ในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และแช่ข้าวด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 30 นาที (ใช้น้ำร้อนปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำสะอาดที่กำหนดไว้) เมื่อครบเวลา นำข้าวไปแยกน้ำออก โดยยังไม่ทิ้งน้ำแช่ข้าว นำข้าวไปนึ่งพร้อมกับธัญพืชเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการปั่นข้าวสุกและธัญพืชสุก โดยเติมน้ำแช่ข้าวและน้ำสะอาดที่เหลือลงไป ปั่นให้ละเอียดโดยใช้โถปั่นน้ำผลไม้ แล้วกรองผ่านผ้าขาวบาง

ตารางที่ 1 สูตรในการผลิตโยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่ (สูตรที่ 1) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมข้าวเหนียวก่ำ (สูตรที่ 2) และ ข้าวเหนียวก่ำ (สูตรที่ 3) ผสมธัญพืช

วัตถุดิบ	ปริมาณ (ร้อยละ)		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	17	8.5	0
ข้าวเหนียวก่ำ	0	8.5	17
งาดำ	2	2	2
ถั่วดำ	2	2	2
ถั่วเหลือง	2	2	2
ถั่วแดง	2	2	2
น้ำตาลทรายขาว	7	7	7
น้ำสะอาด	68	68	68
รวม	100	100	100

3. การผลิตโยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืช

นำนํ้ามข้าวผสมธัญพืชมาเติมนํ้าตาลทราย แล้วนำไปพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงที่ 43 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมจุลินทรีย์สำหรับผลิตโยเกิร์ตลงไป ใช้ทัพพี สะอาดคนให้เข้ากัน นำไปใส่ขวดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ปิดฝาให้สนิท นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 8 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

4. การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืช

4.1 การวัดค่าสี (Color value)

วิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืช ด้วยเครื่อง Chroma Meter (Konica Minolta รุ่น CR-400, ประเทศญี่ปุ่น) แสดงโดยค่า L^* คือมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว a^* คือสีเขียวถึงสีแดง โดย $(-a^*)$ คือค่าสีเขียว ส่วนค่า $+a^*$ คือค่าสีแดง และ ค่า $+b^*$ คือสีเหลือง ส่วน $(-b^*)$ แสดงถึงค่าสีน้ำเงิน

4.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะด้านการเกาะติดของอาหารภายในปาก (Adhesiveness) และการ เกาะกันของอนุภาคภายในของผลิตภัณฑ์ (Cohesiveness)

ชั่งตัวอย่างโยเกิร์ตใส่จาน Petri dish น้ก 30 กรัม วัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Profile Analyzer ยี่ห้อ Stabile Micro Systems รุ่น TA.XT.Plus ใช้หัววัดขนาด 36 มิลลิเมตร กำหนดความเร็วในการ เคลื่อนที่ของหัววัด 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งกำหนดให้กดตัวอย่าง 2 ครั้งแทนการเคี้ยวของผู้บริโภค (ดัดแปลง จาก Lim et al., 2019) รายงานผลในคุณลักษณะด้านการเกาะติดของอาหารภายในปาก (Adhesiveness) และการ เกาะกันของอนุภาคภายในของผลิตภัณฑ์ (Cohesiveness) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางการค้า

4.3 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค่าพีเอช; pH)

ทำการสุ่มตัวอย่างโยเกิร์ตแต่ละสูตรมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (HANNA รุ่น HI-2210-02, ประเทศโรมาเนีย)

4.4 การวัดปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้ (Titratable acidity)

ชั่งตัวอย่างโยเกิร์ต 5 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาไลน์อินดิเคเตอร์ 3 - 5 หยด แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วคำนวณร้อยละค่าความเป็นกรดเทียบกับกรดแลคติก (ดัดแปลง AOAC, 2000) ดังสมการ

$$\text{ความเป็นกรด (กรดแลคติก) (\%)} = \frac{a * b * c * d * 1000}{e * f}$$

โดย a = ปริมาตรของ 0.1 N NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

b = ปริมาตรของตัวอย่างที่ปรับ (มิลลิลิตร)

c = น้ำหนักกรดแลคติกที่ทำปฏิกิริยาสมมูลพอดีกับสารละลาย 0.1 NaOH จำนวน 1 มิลลิลิตร (0.009008 กรัม)

d = ความเข้มข้นของ NaOH (N) ที่ผ่านการ standardized

e = น้ำตัวอย่างอาหารที่ใช้ (กรัม หรือ มิลลิลิตร)

f = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Total phenolic content and antioxidant activity)

4.5.1 การเตรียมสารสกัดตัวอย่างอาหาร

ชั่งตัวอย่างหนัก 10.00 กรัม เติมน้ำกลั่นความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (N-BIOTEK NB-205V, Korea) ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมารองผ่านกระดาษกรอง นำสารละลายส่วนที่กรองได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (BUCHI รุ่น Rotavapor R-3, ประเทศสวิสเซอร์แลนด์) บันทึกน้ำหนักสารสกัดที่ได้ แล้วเจือจางด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 25 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร แล้วเก็บสารละลายในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อรอการวิเคราะห์

4.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu's reagent method (ดัดแปลงจากทิพย์วดี โพธิ์สีทิพพรรณ และชุติมา คงจรรยา, 2563) โดยปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 1.00 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 1.00 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 5.00 มิลลิลิตร และสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent จำนวน 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ที่มีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid) แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม ดังสมการ

$$C = c \times (V/m)$$

โดย C = ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัด (mg/g)

c = ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (mg/ml)

V = ปริมาตรของสารสกัด (ml)

m = น้ำหนักของสารสกัด (g)

4.5.3 การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl ด้วยวิธี DPPH assay (ดัดแปลงจากทิพย์วดี โพธิ์สีทิพรณ และชุตินา คงจรรยา, 2563) โดยปิเปตสารสกัดตัวอย่างอาหาร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH เข้มข้น 60 ไมโครลาร์ 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ในที่มืด 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ตัวอย่างควบคุมใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 100 ไมโครลิตร แทนตัวอย่างสกัด นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณร้อยละความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Scavenging ability) ดังสมการด้านล่าง

$$\text{Scavenging ability (\%)} = [(A_{\text{Control}} - A_{\text{Sample}})/A_{\text{Control}}] \times 100$$

โดย A_{Control} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม

A_{Sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างอาหาร

4.6 การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria count)

ปิเปตโยเกิร์ต 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาณ 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีปั่น (Stomacher) เป็นเวลา 2 นาที เตรียมความเจือจางให้เหมาะสมในการตรวจหาเชื้อแบคทีเรียแลคติก จากนั้น ปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงในจานเพาะเชื้อ เทอาหารเลี้ยงเชื้อ deMan Rogosa and Sharpe (MRS Agar) ด้วยเทคนิค Pour Plate นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ไพรัตน์ ศรีแสง และคณะ, 2550) คำนวณจำนวนแบคทีเรียแลคติกแล้วรายงานผลในหน่วยโคโลนีต่อกรัม

4.7 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา (Yeast and mold count)

ปิเปตโยเกิร์ต 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาณ 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีปั่น (Stomacher) เป็นเวลา 2 นาที ทำการเจือจางที่ระดับ 10^{-2} และ 10^{-3} จากนั้นปิเปตตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงในจานเพาะเชื้อ เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA Agar) ด้วยเทคนิค Pour Plate นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน คำนวณจำนวนแบคทีเรียแลคติกแล้วรายงานผลในหน่วยโคโลนีต่อกรัม (จตุพัฒน์ สมบัติปิโต และคณะ, 2562)

4.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินค่าทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9-point hedonic scale (1= ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomize Design, CRD) ส่วนข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Random Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การทดลองนี้ใช้ข้าว 2 ชนิดในการผลิตโยเกิร์ต ได้แก่ ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวเก่า โดยผันแปรระดับข้าวเป็น 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 100 สูตรที่ 2 ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมข้าวเหนียวเก่าในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 และสูตรที่ 3 ใช้ข้าวเหนียวเก่าร้อยละ 100 กำหนดให้ใช้ธัญพืชในปริมาณเท่ากันทุกสูตร โดยหลังจากพาสเจอร์ไร้น้ำนมข้าวผสมธัญพืชจะลดอุณหภูมิของตัวอย่างลงเหลือ 42 - 45 องศาเซลเซียสก่อนเติมจุลินทรีย์ จากนั้นจึงนำไปหมักที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

ค่าสีในทอม L^* , a^* และ b^* (ตารางที่ 2) พบว่า สูตรที่ 1 มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีแดง ($+a^*$) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณข้าวเหนียวเก่าสูงขึ้น โดยสูตรที่ 3 มีค่าความสว่างต่ำที่สุด แต่มีค่าความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจตุพัฒน์ สมบัติ และคณะ (2562) รายงานว่า โยเกิร์ตที่ทดแทนนมวัวด้วยข้าวฮางข้าวเหนียวดำในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความสว่างลดลง โยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่มีทิศทางของสีแดงส่วนโยเกิร์ตข้าวเหนียวดำมีสีม่วงเข้ม (ภาพที่ 1) โดยเป็นผลจากแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงสีน้ำเงิน หรือสีม่วง โดยเฉพาะในส่วนของเนื้อเยื่อหุ้มเมล็ดและเยื่อชั้นแอลิวโรน (Aleurone layer) ที่มีสีม่วงจะมีแอนโทไซยานินในปริมาณมาก (Yamuangmorn & Prom-u-Thai, 2021) มีงานวิจัยระบุว่า ปริมาณแอนโทไซยานินผกผันกับค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดงถึงเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลืองถึงน้ำเงิน (b^*) กล่าวคือ เมล็ดข้าวที่มีสีดำ (หรือสีม่วง) มักจะประกอบด้วยสารแอนโทไซยานินในปริมาณสูง (Chen et al., 2017) อย่างไรก็ตาม ยังมีรายงานว่า เมล็ดข้าวที่มีสีน้ำตาลมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าเมล็ดข้าวที่มีสีดำ (Thuy et al., 2018) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวิธีการสกัดที่เลือกใช้

ตารางที่ 2 ค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสด้านการเกาะติดของอาหารภายในปาก (Adhesiveness) และการเกาะกันของอนุภาคภายในของผลิตภัณฑ์ (Cohesiveness) ของโยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืช

สูตรที่	ค่าสี			การเกาะติดของอาหารภายในปาก (g·sec)	การเกาะกันของอนุภาคภายในของผลิตภัณฑ์
	L^*	a^*	b^*		
1	27.73±0.01 ^a	6.25±0.08 ^a	2.06±0.01 ^b	-2.738±0.819 ^c	0.114±0.074 ^c
2	27.11±0.11 ^b	5.19±1.28 ^b	2.21±0.14 ^b	-5.234±1.044 ^b	0.668±0.137 ^b
3	26.95±0.19 ^b	5.14±0.10 ^b	2.23±0.05 ^a	-6.960±1.083 ^a	0.850±0.102 ^a

หมายเหตุ ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งเดียวกัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



(ก)

(ข)

(ค)

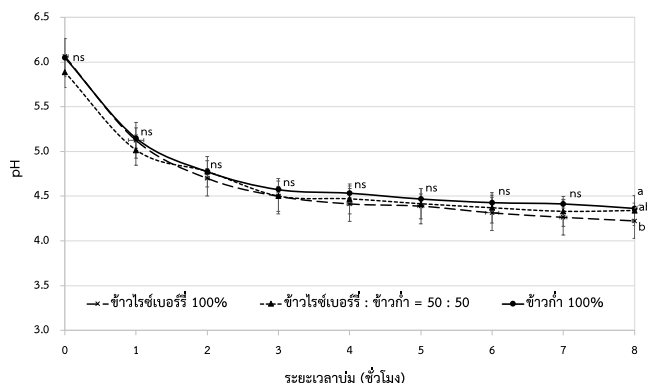
ภาพที่ 1 โยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืชจากข้าว 2 สายพันธุ์ (ก) ข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 100

(ข) ข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวก่ำร้อยละ 50 : 50 (ค) ข้าวเหนียวก่ำร้อยละ 100

ลักษณะเนื้อสัมผัส Adhesiveness ได้จากพื้นที่ใต้กราฟมีค่าติดลบหลังจากถอนแรงกดครั้งแรก เป็นแรงที่หน่วงหัววัดก่อนถอนขึ้นไปยังตำแหน่งเดิม แสดงการยึดติดกันของอาหารกับวัตถุอื่น เช่น อาหารติดเหงือก ฟัน เพดานปาก ริมฝีปากระหว่างการรับประทานอาหาร หรืออาหารติดกับอุปกรณ์แปรรูปอาหาร จากตารางที่ 2 พบว่า สูตรที่ 3 มีค่า Adhesiveness สูงที่สุด ส่วนสูตรที่ 1 มีค่าต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีทิศทางเช่นเดียวกับค่า Cohesiveness ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านการเกาะกันของอนุภาคภายในของโยเกิร์ตหรือเป็นค่าที่บ่งบอกความแข็งแรงของพันธะภายในอาหาร แล้วทำให้อาหารทนต่อแรงที่มาระงับก่อนที่จะแยกออกจากกัน แสดงให้เห็นว่า สูตรที่ 3 มีความเหนียวติดและมีความสามารถในการรวมตัวกันมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากโยเกิร์ตทางการค้า ซึ่งมีค่า Adhesiveness เท่ากับ $-6.56 \text{ g} \cdot \text{sec}$ และค่า Cohesiveness เท่ากับ 0.82 จะเห็นได้ว่า โยเกิร์ตข้าวสูตรที่ 3 มีค่าใกล้เคียงมากที่สุด คือมีค่า Adhesiveness และค่า Cohesiveness เท่ากับ $-6.96 \text{ g} \cdot \text{sec}$ และ 0.85 ตามลำดับ ทั้งนี้ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 15.4 (อุไรวรรณ วัฒนกุล และคณะ, 2561) ส่วนข้าวเหนียวจะมีปริมาณอะไมโลสอยู่น้อยมาก (ประมาณร้อยละ 0 – 5) แต่จะมีอะไมโลเพกทินเป็นองค์ประกอบอยู่ในเม็ดสตาร์ชทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) โดยอะไมโลเพกทินมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีสายแขนงแยกออกมา และมีโมเลกุลใหญ่กว่าอะไมโลสมาก สามารถละลายในน้ำและมีความคงตัวในสารละลาย โดยทั่วไป เมื่อเม็ดสตาร์ชได้รับความร้อนในภาวะที่มีปริมาณน้ำมาก เม็ดสตาร์ชจะพองตัวออกมาและมีอะไมโลสส่วนที่ละลายน้ำได้หลุดออกมาด้วย จะทำให้ได้สารละลายที่มีลักษณะข้นซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ละลายได้ของอะไมโลสและ/หรือบางส่วนของอะไมโลเพกทิน และเมื่อปล่อยให้สารละลายของเม็ดสตาร์ชที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วเย็นลง โมเลกุลของสตาร์ชบางส่วน โดยเฉพาะโมเลกุลของอะไมโลสจะมารวมตัวกันตกตะกอน หรือ การคืนตัว หรือ รีโทรเกรเดชัน โดยอะไมโลสจะคืนตัวได้รวดเร็วกว่าอะไมโลเพกทินมาก โดยการคืนตัวของอะไมโลสอาจเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อผลิตภัณฑ์เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ส่วนการคืนตัวของอะไมโลเพกทินจะใช้ระยะเวลาในการคืนตัวนานกว่าอะไมโลส (นิธิยา รัตนานนท์, 2557) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อกันของสายแขนงที่อยู่ด้านนอกของโมเลกุล ดังนั้น จึงส่งผลให้เมื่อเก็บรักษาโยเกิร์ตจากข้าวเหนียวก่ำผสมธัญพืชที่อุณหภูมิห้องจะยังคงมีลักษณะข้นหนืดกว่าโยเกิร์ตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมธัญพืช (ภาพที่ 1) ทั้งนี้มีรายงานเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตที่ผลิตจากพืชตระกูลถั่ว โดยพบว่า ถั่วที่มีโปรตีนสูงจะทำ

ให้ค่าความหนืด (Viscosity) และค่า Adhesive ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตคีเฟอร์สูงตามไปด้วย (Lim et al., 2019) เนื่องจากเกิดการรวมตัวกันจำนวนมากของพันธะระหว่างโปรตีน (protein-protein bonds) ของ 2 อนุภาค ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงและมีความหนืดที่สูงขึ้น

จากการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างทุก 1 ชั่วโมงจนครบ 8 ชั่วโมง แล้วนำค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืชทั้งสามสูตรมาเขียนกราฟการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการบ่ม 0 – 8 ชั่วโมง ดังภาพที่ 2 โดยพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตทั้งสามสูตรก่อนการบ่มมีค่าอยู่ระหว่าง 5.86 – 6.07 และเมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง พบว่า ทุกสูตรมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4.5 โดยในช่วง 1 ถึง 3 ชั่วโมงแรก จะมีการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตข้าวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยเมื่อเปรียบเทียบแต่ละช่วงเวลา พบว่า ในช่วง 0 ถึง 7 ชั่วโมงแรก ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ซึ่งแสดงในตารางที่ 3 พบว่า สูตรที่ 3 มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่สุด รองลงมาคือสูตรที่ 2 และสูตรที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 4.37 4.34 และ 4.23 ตามลำดับ ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคิดเทียบกับกรดแลคติกมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.29 – 0.39 ซึ่งสูตรที่ 3 ที่ใช้ข้าวกล้องมีปริมาณต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของโยเกิร์ตข้าว 3 สูตร ระหว่างการบ่มที่ระยะเวลา 0 – 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส

จากงานวิจัยการศึกษาการอยู่รอดของแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตจากปลายข้าวหักโดยเปรียบเทียบการใช้จุลินทรีย์ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactocaseibacillus casei* และ *Lactobacillus acidophilus* พบว่า โยเกิร์ตเริ่มต้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 5.7 – 5.9 ซึ่งภายหลังจากหมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะมีค่าลดลงอยู่ระหว่าง 4.2 – 4.6 ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.061 – 0.082 (Fawzi et al., 2022) ทั้งนี้การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นผลมาจากปริมาณกรดแลคติกและกรดอินทรีย์ที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติก รวมถึงกิจกรรมของเมแทบอลิซึม (Metabolic activity) ของจุลินทรีย์ในกลุ่มโพรไบโอติก (Li et al., 2019; Wang et al., 2021)

ปริมาณแบคทีเรียแลคติกของโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 3) แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ข้าวเก่าในปริมาณที่มากขึ้น โดยปริมาณแบคทีเรียแลคติกของทั้ง 3 สูตรมีค่าอยู่ระหว่าง $3.0 \times 10^6 - 3.5 \times 10^6$ โคโลนีต่อกรัม ตรวจไม่พบเชื้อยีสต์และรา ทั้งนี้ ปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่ตรวจพบ มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ข้อกำหนดของโยเกิร์ตที่ผลิตจากนมวัว ซึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 353 พ.ศ.2556 ระบุให้มีจุลินทรีย์ที่ใช้ในกรรมวิธีการหมักคงเหลือในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อหลังการหมักไม่น้อยกว่า 10^7 โคโลนี/กรัม เนื่องมาจากการใช้น้ำนมธัญพืชทดแทนน้ำนมวัวนั้นปราศจากน้ำตาลแลคโตสซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแลคติก และเมื่อพิจารณาพร้อมกับปริมาณกรดแลคติก พบว่า มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ข้อกำหนดของโยเกิร์ตนมวัวที่ระบุไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.6 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) การลดลงของแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตที่ใช้ธัญพืชทดแทนน้ำนมสดคล้องกับการทดลองเติมสารสกัดจากถั่วเหลืองลงในโยเกิร์ตนมแพะ โดยพบว่าปริมาณแบคทีเรียแลคติกมีค่าน้อยกว่าโยเกิร์ตนมแพะดั้งเดิม (da Silva et al., 2013) อย่างไรก็ตาม ปริมาณแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืชจากการทดลองนี้ยังมีปริมาณสูง โดยการบริโภคจุลินทรีย์ที่มีชีวิตในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับ 10^6 โคโลนี/กรัม เป็นระดับที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย (Valero-Cases et al., 2020)

ตารางที่ 3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณแบคทีเรียแลคติก ปริมาณยีสต์และรา ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของโยเกิร์ตข้าวผสมธัญพืช

สูตร	ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละ)	ปริมาณแบคทีเรียแลคติก ^{ns} (cfu/g)	ปริมาณยีสต์และรา (cfu/g)	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ร้อยละ)
1	4.23±0.04 ^a	0.39±0.01 ^a	3.5×10^6	< 10	0.62±0.02 ^c	45.89±1.11 ^c
2	4.34±0.01 ^{ab}	0.37±0.01 ^a	3.0×10^6	< 10	0.73±0.02 ^b	63.89±4.71 ^b
3	4.37±0.02 ^b	0.29±0.03 ^b	3.0×10^6	< 10	1.09±0.12 ^a	75.03±3.18 ^a

หมายเหตุ ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดัง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวดังเดียวกัน มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการผันแปรอัตราส่วนของชนิดข้าวที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต พบว่า มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตจากข้าวเหนียวเก่า (สูตรที่ 3) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 1.09 มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม รองลงมาคือสูตรที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.73 มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม ส่วนโยเกิร์ตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ (สูตรที่ 1) มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดต่ำสุดเท่ากับ 0.62 มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม ซึ่งผลของปริมาณสารประกอบ

พืชนอกทั้งหมดเป็นไปในทิศทางเดียวกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยโยเกิร์ตสูตรที่ 3 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือสูตรที่ 2 และสูตรที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 75.03 63.89 และ 45.89 ตามลำดับ ทั้งนี้ ยังได้วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบพืชนอกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของวัตถุดิบข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตในการทดลองนี้ พบว่า ข้าวเหนียวมีปริมาณสารประกอบพืชนอกทั้งหมดสูงกว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยมีค่าเท่ากับ 10.48 และ 4.15 มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม ตามลำดับ อีกทั้งยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 82.70 ส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าเท่ากับร้อยละ 70.79 ดังนั้น เมื่อนำไปผลิตโยเกิร์ตจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวเหนียวมีปริมาณสารประกอบพืชนอกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทั้งนี้ การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไทยมีค่าแตกต่างกันออกไป จากงานวิจัยของ ณพัชร บัวฉวน (2564) ได้เปรียบเทียบปริมาณสารพืชนอกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากข้าว 14 สายพันธุ์ พบว่า ข้าวเหนียวมีปริมาณองค์ประกอบทั้ง 3 สูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ แต่ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่คำนวณเป็นค่าความเข้มข้นที่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (EC₅₀) ด้วยวิธี DPPPH assay และ ABTS assay ของข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าต่ำกว่าข้าวเหนียวก่ำ แสดงให้เห็นว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าข้าวเหนียวก่ำ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP assay และการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา Lipid peroxidation ที่พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีฤทธิ์สูงกว่าข้าวเหนียวก่ำเช่นกัน ในงานวิจัยนี้ ยังทำการวิเคราะห์ค่าคุณภาพในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากน้ำนมวัวทางการค้า พบว่า มีปริมาณสารประกอบพืชนอกทั้งหมดเท่ากับ 0.28 มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 กรัม และมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับร้อยละ 9.26 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรที่ได้จากการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า การนำข้าวที่มีสีมาพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ปราศจากนมวัวมีข้อได้เปรียบด้านคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบพืชนอกที่มีปริมาณสูงกว่าผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตดั้งเดิม

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณแบคทีเรียแลคติกกับปริมาณสารพืชนอกทั้งหมดของโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตร พบว่า มีทิศทางตรงกันข้ามกัน คือ การใช้ข้าวก่ำในปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณสารพืชนอกทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณแบคทีเรียแลคติกมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับการทดลองของนิจจรา ทูลธรรม และชัยวุฒิ บัวเนี่ยว (2562) รายงานว่า ปริมาณแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตข้าวมีค่าลดลงเมื่อใช้ข้าวกล้องข้าวเหนียวด่างอกในปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ สารประกอบพืชนอกสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแลคติกได้ (García-Ruiz et al., 2012) นอกจากนี้ สารประกอบพืชนอกมีผลต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของแบคทีเรียแลคติก ได้แก่ *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Lactobacillus vaginalis* (Tabasco et al., 2011) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า จุลินทรีย์โพรไบโอติกบางสายพันธุ์ เช่น *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus plantarum* และ *Lactobacillus delbrueckii* สามารถมีชีวิตอยู่ได้ดีขึ้นในเครื่องดื่มผลไม้ที่อุดมไปด้วยสารแอนโทไซยานิน แต่จุลินทรีย์โพรไบโอติกบางสายพันธุ์ เช่น *L. salivarius*, *B. longum* และ *B. animalis*. จะมีชีวิตเหลือรอดลดลง (Palencia-Argel et al., 2022)

ตารางที่ 4 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ของโยเกิร์ตข้าว 3 สูตร

สูตรที่	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบโดยรวม ^{ns}
1	6.90±1.45	6.60±1.26	7.40±1.26	6.80±0.79	7.00±0.94
2	6.60±1.17	5.70±1.89	6.50±1.51	6.50±1.35	6.60±1.17
3	7.40±0.97	5.10±1.45	6.90±0.74	7.10±0.99	6.30±0.95

หมายเหตุ ns = not significant

จากตารางที่ 4 พบว่า คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติโดยรวม เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของตัวอย่างโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตร มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ระหว่าง 6.30 – 7.00 หรือมีความชอบระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งหากพิจารณาร่วมกับคุณประโยชน์ด้านการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระซึ่งในแต่ละสูตรมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จึงพิจารณาเลือกสูตรที่ 3 ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ข้าวเหนียวกำร้อยละ 100 เป็นสูตรที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตจากข้าวที่มีสัสมธัญพืช โดยยังมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกที่อยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย

สรุป

จากการผลิตโยเกิร์ตข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวเหนียวกำรธัญพืช โดยผันแปรผันแปรสัดส่วนของข้าวแต่ละชนิด พบว่า เมื่อปริมาณข้าวเหนียวกำรมากขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่คุณลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความเหนียวติดและการเกาะติดกันของอนุภาคอาหารมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสูตรอื่น แต่พบว่ามีปริมาณแบคทีเรียแลคติกน้อยกว่า ซึ่งส่งผลให้ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เทียบกับกรดแลคติกมีปริมาณลดลง และมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าสูตรอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโยเกิร์ตจากนมวัว พบว่า โยเกิร์ตข้าวมีปริมาณแบคทีเรียแลคติกและปริมาณกรดแลคติกน้อยกว่าเกณฑ์ที่ระบุไว้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ตข้าวอยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพ อีกทั้งยังมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าโยเกิร์ตจากนมวัวทางการค้า จึงเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับผู้บริโภคได้

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวเหนียวกำรธัญพืชต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- จตุพัฒน์ สมบัติโต, จิรพร ทูลภิรมย์, และณัฐหทัย ธรรมมาโร. (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตข้าวฮางข้าวเหนียวดำ. *วารสารเกษตรพระวรุณ*, 16, 229-245.
- ไชยวัฒน์ ไชยสุด. (2556). *โพรไบโอติก จุลินทรีย์ทางเลือกเพื่อสุขภาพ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.
- ณพัทธ บัวฉวน. (2564). องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร*, 2, 190-199.
- ทิพย์วดี โพธิ์สิทธิพรหม, และชุตินา คงเจริญ. (2563). การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านการออกซิเดชันของน้ำพริกน้ำเงี้ยวในพื้นที่เขตภาคเหนือตอนบนประเทศไทย. *วารสารวิจัยราชชมงคลกรุงเทพ*, 1, 138-144.
- นิจรา ทูลธรรม, และชัยวุฒิ บัวเนี้ยว. (2562). ผลของปริมาณข้าวกล้องข้าวเหนียวต่างออกต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตในเชิงอาหารฟังก์ชัน. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 21, 114-129.
- นิธิยา รัตนานพนธ์. (2557). *เคมีอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- พันทิพา พงษ์เพียรจันทร์, ธวัชชัย แก้วถาทำ, และดำเนิน กาละดี. (2547). ปริมาณแกมมา-โอโรซานอลในผลิตภัณฑ์จากพืชชนิดต่าง ๆ. *วารสารเกษตร*, 20, 111-119.
- ไพรัตน์ ศรีผลง, สุทธิพงศ์ อริยะพงศ์สรรค์, เกรียงศักดิ์ พูนสุข, และพลสันต์ มหาจันทร์. (2550). แลคติกแอซิดแบคทีเรียที่แยกได้จากมูลไก่พื้นเมือง. *วารสารสัตวแพทยศาสตร์ มข.*, 1, 33-42.
- ภัทรกร บุปผัน, รัตนดิกร โกสุรินทร์, ญาธิป ชายหงส์, นพวรรณ ทรัพย์มั่งสังข์, และสุกฤตา อภิราม. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากนํ้านมข้าวสาลีและการอยู่รอดของปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 26, 83-90.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2546). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมเปรี้ยว มอก.2146-2546*.
- วิชญ์ลักษณ์ ค่ายอง. (2550). *คุณสมบัติของโยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพดเสริมแคลเซียมแลคเตทหรือแคลเซียมกลูโคเนต*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ศุภศิษฐ์ อรุณรุ่งสวัสดิ์, และนิอร ชุมศรี. (2558). การผลิตผลิตภัณฑ์คล้ายโยเกิร์ตจากข้าวกล้องงอก. *Christian University of Thailand Journal*, 21, 308-321.
- สุธีรา ศรีสุข. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพร้อมดื่มจากนํ้านมลูกเดี๋ย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร*, 2, 53-64.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2556). *ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- อุไรวรรณ วัฒนกุล, ศุภลักษณ์ สุดขาว, และพีรพงษ์ พึ่งแย้ม. (2561). คุณภาพทางเคมี-กายภาพ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกหุงสุกเร็วจากข้าวกล้องงอกผสม 3 สายพันธุ์. รายงานการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- Ahmed, S., & Hasan, M.M. (2014). Legumes: an overview. **Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, 2(1), 34-38.
- AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis**. (17th ed). Arlington Virginia: Association of Official Analytical Chemist International.
- Chen, M.H., McClung, A.M., & Bergman, C.J. (2017). Phenolic content, anthocyanins and antiradical capacity of diverse purple bran rice genotypes as compared to other bran colors. **Journal of Cereal Science**, 77, 110-119.
- da Silva, D.C.G., Brugnera, D.F., & de Abreu, L.R. (2013). Quantification of lactic acid bacteria and bifidobacteria in goat milk based yoghurts with added water-soluble soy extract. **Global Journal of Food Science and Technology**, 1, 91-97.
- FAO, & WHO. (2006). Probiotics in food : Health and nutritional properties and guidelines for evaluation. Retrieved from <https://www.fao.org/3/a0512e/a0512e.pdf>
- Fawzi, N.Y., Abdelghani, D.Y., Abdel-azim, M.A., Shokier, C.G., Youssef, M.W., Gad El-Rab, M.K., Gad, M.I., & Abou-Taleb, K.A. (2022). The ability of probiotic lactic acid bacteria to ferment Egyptian broken rice milk and produce rice-based yoghurt. **Annals of Agricultural Science**, 67, 107-118.
- García-Ruiz, A., Cueva, C., González-Rompinelli, E.M., Yuste, M., Torres, M., Martín-Álvarez, P.J., Bartolomé, B., & Moreno-Arribas, M.V. (2012). Antimicrobial phenolic extracts able to inhibit lactic acid bacteria growth and wine malolactic fermentation. **Food Control**, 28, 212-219.
- Khoo, H.E., Azlan, A., Tang, S.T., & Lim, S.M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, 61, 1-21.
- Li, S., Tang, S., He, Q., Hu, J., & Zheng, J. (2019). Changes in proteolysis in fermented milk produced by *streptococcus thermophilus* in co-culture with *lactobacillus plantarum* or *bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* during refrigerated storage. **Molecules**, 24, 1-13.
- Lim, X. X., Koh, W. Y., Uthumporn, U., Maizura, M., & Wan Rosli, W. I. (2019). The development of legume-based yogurt by using water kefir as starter culture. **International Food Research Journal**, 26(4): 1219-1228.

- Palencia-Argel, M., Rodríguez-Villamil, H., Bernal-Castro, C., Díaz-Moreno, C., & Fuenmayor, C.A. (2022). Probiotics in anthocyanin-rich fruit beverages: research and development for novel synbiotic products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 1-17.
- Posuwan, J., Prangthip, P., Leardkamolkarn, V., Yamborisut, U., Surasiang, R., Charoensiri, R., & Kongkachuichai, R. (2013). Long-term supplementation of high pigmented rice bran oil (*Oryza sativa* L.) on amelioration of oxidative stress and histological changes in streptozotocin-induced diabetic rats fed a high fat diet; Riceberry bran oil. **Food Chemistry**, 138(1), 501–508.
- Tabasco, B., Sánchez-Patán, F., Monagas, M., Bartolomé, B., Moreno-Arribas, M.V., Peláez, C., & Requena, T. (2011). Effect of grape polyphenols on lactic acid bacteria and bifidobacteria growth: Resistance and metabolism. **Food Microbiology**, 28, 1345-1352.
- Thuy, P.T., Trung, N.Q., & Huong, D.T. (2018). Agronomic characteristics, anthocyanin content, and antioxidant activity of anthocynins extracted from the seeds of black rice accessions. **Vietnam Journal of Agricultural Sciences**, 3, 208-219.
- Valero-Cases, E., Cerdá-Bernad, D., Pastor, J.J., & Frutos, M.J. (2020). Non-Dairy fermented beverages as potential carriers to ensure probiotics, prebiotics, and bioactive compounds arrival to the gut and their health benefits. **Nutrients**, 12, 1-18.
- Wang, Y., Wu, J., Lv, M., Shao, Z., Hungwe, M., Wang, J., Bai, X., Xie, J., Wang, Y., & Geng, W. (2021). Metabolism characteristics of lactic acid bacteria and the expanding applications in food industry. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, 9, 1-19.
- Yamuangmorn, S., & Prom-u-Thai, C. (2021). The potential of high-anthocyanin purple rice as a functional ingredient in human health. **Antioxidants**, 10, 1-21.