

ผลของอนุภาคเชิงซ้อนโปรตีนรำข้าว-แอนโทไซยานินต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และเนื้อสัมผัสของชีสแปรรูป

Effects of rice bran protein-anthocyanin complex particle on antioxidant and textural property of processed cheese

ภาราดร งามดี^{1*}

Paradorn Ngamdee^{1*}

รับบทความ 11 พฤศจิกายน 2566/ ปรับแก้ไข 15 ธันวาคม 2566/ ตอรับบทความ 23 เมษายน 2567

Received: November 11, 2023/ Revised: December 15, 2023/ Accepted: April 23, 2024

บทคัดย่อ

อนุภาคเชิงซ้อนโปรตีนรำข้าว-แอนโทไซยานิน (PAP) ถูกเตรียมขึ้นเพื่อใช้แทนที่เกลือโซเดียมอิมัลซิไฟเออร์ในการเตรียมชีสแปรรูป โดยมีโปรตีนรำข้าวที่สกัดจากรำข้าวหนึ่งและแอนโทไซยานินที่สกัดจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ การเตรียม PAP ใช้สารละลายแอนโทไซยานิน 5 (PAP5), 10 (PAP10) และ 15 (PAP15) มิลลิกรัม ต่อโปรตีนรำข้าวสกัด 6 กรัม ซึ่งเกิดเป็นอนุภาคเชิงซ้อนกับโปรตีนรำข้าวได้ร้อยละ 79.8, 15.4 และ 58.2 ตามลำดับ โดย PAP15 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุดเท่ากับ 331 $\mu\text{g GAE/g}$ และถูกเลือกเพื่อใช้เตรียมชีสแปรรูป (Processed cheese, PC) โดยใช้แทนที่เกลืออิมัลซิไฟเออร์ในสูตรควบคุมในปริมาณ 4 (PC-4PAP), 8 (PC-8PAP) และ 12 (PC-12PAP) กรัม ซึ่งปริมาณ PAP15 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลง แต่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าสูตรควบคุมประมาณ 1.1-1.3 เท่า แต่ค่าความแข็งของชีสแปรรูปผสม PAP15 ทุกตัวอย่างมีค่า (184.31-295.40 กรัม) ต่ำกว่าค่าของชีสแปรรูปกลุ่มควบคุม (595.42 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญ การใช้โปรตีนสกัดจากรำข้าวหนึ่งที่เกิดเป็นอนุภาคเชิงซ้อนกับแอนโทไซยานินส่งผลดีในด้านฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของชีสแปรรูปและอาจยังไม่สามารถใช้แทนที่เกลืออิมัลซิไฟเออร์ได้ทั้งหมดเนื่องจากส่งผลต่อค่าความแข็งของชีสแปรรูปอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : ชีสแปรรูป, แอนโทไซยานิน, โปรตีนรำข้าว, องค์ประกอบเชิงซ้อน, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

Rice bran protein-anthocyanin complex particle (PAP) was prepared by replacing a sodium salt emulsifier used for producing processed cheese. The rice bran protein was isolated from the bran of parboiled rice and anthocyanin was extracted from Riceberry broken rice. Anthocyanin at 5 (PAP5), 10 (PAP10), and 15 (PAP15) mL per 6 g of the rice bran protein were used to produce PAP and they formed PAP by 79.8%, 15.4%, and 58.2%, respectively. The PAP15 showed the highest DPPH antioxidant activity of 331 $\mu\text{g GAE/g}$. It was selected to use as the material for the preparation of processed cheese (Processed cheese, PC) by adding into the control formula at 4 (PC-4PAP), 8 (PC-8PAP), and 12 (PC-12PAP) g. As the content of PAP15 increased, the lightness of the cheese decreased. The DPPH activity of the PAP cheeses were 1.1-1.3 times higher than that of the control. The hardness of cheeses with PAP15 (184.31-295.40 g)

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี

¹ Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi Province, 15000

* Corresponding author: E-mail: paradorn.n@lawasri.tru.ac.th

were significantly lower than that of the control (595.42 g). Complex particles prepared from parboiled rice bran protein and anthocyanin benefited antioxidant property of the PC. However, the particles could not completely replace emulsifier salts because they significantly affected the harness of PC.

Keywords : Processed cheese, Anthocyanin, Rice bran protein, Complex particle, Antioxidation

บทนำ

ชีสแปรรูป (Processed cheese, PC) หมายถึง ชีสที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยการนำชีสธรรมชาติ เนย อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) และน้ำมารวมกันแล้วเคี่ยวด้วยความร้อนและปรับปรุงคุณภาพใหม่จนเป็นชีสที่มีรสชาติสม่ำเสมอ เนื่องจากชีสธรรมชาติอาจมีคุณภาพไม่คงที่จากระยะการบ่ม ปริมาณไขมันต่ำ ความชื้นสูง หรืออาจมีกลิ่นไม่ตรงตามต้องการ (Černíková et al., 2010) ชีสแปรรูปอาจอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แผ่นสไลด์ บาง เป็นก้อน หรือแบบชิ้นบรรจุขวด ถึงแม้ชีสแปรรูปจะถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสร้างมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ แต่การบริโภคชีสแปรรูปในปริมาณมากอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพ ได้มากกว่าชีสธรรมชาติเนื่องจากมีปริมาณโซเดียมสูงถึง 325-798 มิลลิกรัม/50 กรัม ในขณะที่ชีสธรรมชาติมีปริมาณเกลือเฉลี่ย 95-697 มิลลิกรัม/50 กรัม ซึ่งปริมาณโซเดียมในชีสแปรรูปมาจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเกลืออิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และเป็นที่ทราบกันดีว่าโซเดียมมีผลกระทบต่อสุขภาพและเป็นปัจจัยก่อโรคหลายชนิด (Černíková et al., 2010)

อิมัลซิไฟเออร์มีความสำคัญอย่างมากในการผลิตชีสแปรรูป โดยทำหน้าที่ช่วยให้อิมัลชันของชีสคงตัว ไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำและไขมัน (Mozuraityte, Berget, Mahdalova, Grønsberg, Øye and Greiff, 2019) อิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในชีสแปรรูป ได้แก่ เกลือโซเดียมของฟอสเฟตและพอลิฟอสเฟต (Černíková et al., 2010; Mozuraityte et al., 2019) ซึ่งโซเดียมจากเกลืออิมัลซิไฟเออร์ในชีสแปรรูปมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 44-48 ของปริมาณโซเดียมทั้งหมดในชีสแปรรูป ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อลดปริมาณโซเดียมในชีสแปรรูปจากเกลืออิมัลซิไฟเออร์ด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น Černíková et al. (2010) ทดลองแทนที่อิมัลซิไฟเออร์จากโซเดียมฟอสเฟตและโซเดียมซิเตรตโดยใช้สตาร์ชตัดแปร เพคติน โคลด์สปีนนิ่ง k-คาร์ราจีแนน และ ι-คาร์ราจีแนน ในขณะที่ Mozuraityte et al. (2019) ทดลองใช้เกลือโพแทสเซียมฟอสเฟตและโพแทสเซียมซิเตรตเพื่อผลิตชีสแปรรูปลดโซเดียม แต่แนวทางการใช้โปรตีนอิมัลซิไฟเออร์อาจได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าเนื่องจากโปรตีนเป็นโมเลกุลชีวภาพที่พบได้ในชีสและยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับชีสแปรรูปได้อีกด้วย

จากการศึกษาของ Zhang, Zhang, Wang and Guo (2012) พบว่าโปรตีนสกัดจากรำข้าวที่ผ่านความร้อนและสกัดไขมันแล้วมีความสามารถเป็นอิมัลซิไฟเออร์และอาจใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในชีสแปรรูปแทนที่เกลือโซเดียมอิมัลซิไฟเออร์ได้ ซึ่งการใช้โปรตีนสกัดจากรำข้าวสอดคล้องกับบริบทของประเทศไทยเนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตข้าวรายใหญ่ของโลกและส่งออกข้าวหนึ่ง (Parboiled rice) มากที่สุด (Onmankhong, Jongyingcharoen and Sirisomboon, 2021) ทำให้มีวัตถุดิบรำข้าวหนึ่งมีปริมาณมาก และเป็นรำที่ผ่านความร้อนเนื่องจากข้าวหนึ่งผลิตโดยการแช่ข้าวเปลือกในน้ำร้อน จากนั้นหนึ่งเพื่อทำให้แป้งเกิดเจล (Gelatinization) และทำแห้งก่อนที่จะนำไปสีกะเทาะเปลือก ดังนั้นรำข้าวหนึ่งจึงอาจมีสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์และใช้ทดแทนเกลือโซเดียมอิมัลซิไฟเออร์ได้

แนวทางการเสริมสารพฤกษเคมีที่มีฤทธิ์ทางยาในชีสแปรรูปเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการเพิ่มคุณประโยชน์ต่อสุขภาพของชีสแปรรูป Prikryl et al. (2018) ทดลองเสริมรูติน (Rutin) และเคียวเซติน (Quercetin) ในชีสสเปรดแปรรูปและพบว่าชีวเพิ่มฤทธิ์ด้านการเกิดออกซิเดชันของชีสได้ ในปัจจุบันสารพฤกษเคมีชนิดหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจเป็นอย่างมาก คือ แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) เนื่องจากมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ต้านมะเร็ง และยังมีความเป็นพิษต่อเซลล์ต่ำ (Jiamyangyuen, Nuengchamnong and Ngamdee, 2017) นอกจากนี้แอนโทไซยานินยังพบมากในข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกได้ในประเทศไทย ดังนั้นการใช้แอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ซึ่งเป็นของเหลือจากการแปรรูปข้าวจึงเป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตของเกษตรกรไทยได้ อย่างไรก็ตามแอนโทไซยานินไม่ทนต่อความร้อน และอาจเสื่อมสภาพได้จากกระบวนการแปรรูปชีสแปรรูป สอดคล้องกับรายงานของ Prikryl et al. (2018) ที่พบว่าการผสมรูตินและเคียวเซตินในชีสสเปรดช่วยเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในชีส แต่ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี ABTS กลับลดลงเนื่องฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารพฤกษเคมีลดลงจากความร้อนในกระบวนการแปรรูปชีส ดังนั้นจึงควรมีแนวทางในการปกป้องสารพฤกษเคมีไม่ให้สูญเสียคุณสมบัติ

การต้านอนุมูล-อิสระจากความร้อนในกระบวนการผลิตชีสแปรรูป

พิกเกอร์อิงอิมัลชัน (Pickering emulsion) เป็นวิธีการที่ใช้น้ำมันที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเตรียมโดยใช้โปรตีนเป็นสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) ผลการศึกษาของ Ju et al. (2020) แสดงให้เห็นว่าโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองสามารถเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนกับแอนโทไซยานินได้ และเป็นแนวทางในการนำส่งสารอาหารที่ดีต่อสุขภาพไปยังผู้บริโภคได้

อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาที่แสดงการใช้โปรตีนสกัดจากรำข้าวหนึ่งเพื่อเตรียมเป็นอนุภาคเชิงซ้อนกับแอนโทไซยานินจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ และใช้เป็นส่วนผสมเชิงหน้าที่ในการผลิตชีสแปรรูป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของการแทนที่เกลืออิมัลชันด้วยอนุภาคเชิงซ้อนที่เตรียมจากโปรตีนสกัดจากรำข้าวหนึ่งและแอนโทไซยานินสกัดจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ ต่อคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพเคมีและคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของชีสแปรรูป

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

รำข้าวหนึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทไรซ์แลนด์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัดอ่างทอง ปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้รับความอนุเคราะห์จากวิสาหกิจชุมชนอำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี นมโคพาสเจอร์ไรซ์ (ยี่ห้อเมจิ, บริษัท ซีพี-เมจิ จำกัด, ประเทศไทย) และเนยแข็ง (ยี่ห้อเอโร่, บริษัทอำพลฟู้ดส์ โปรเซสซิง, ประเทศไทย) ซื้อจากห้างสรรพสินค้าในอำเภอมืองจังหวัดลพบุรี และเกลืออิมัลซิไฟเออร์ไดโซเดียมฟอสเฟตไดไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (ยี่ห้อ Loba, ประเทศอินเดีย)

การเตรียมโปรตีนจากรำข้าวหนึ่ง

การสกัดโปรตีนทำตามวิธีของ Zhang et al. (2012) ซึ่งเริ่มโดยการชั่งรำข้าวสกัดน้ำมันปริมาณ 100 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นละลายโปรตีนจากรำข้าวโดยการปรับพีเอชของสารผสมด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1 โมลาร์ จนสารผสมมีพีเอชเท่ากับ 9.5 และเขย่าอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปั่นเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 3000xg ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เพื่อสารละลายโปรตีนออกจากตะกอนรำข้าว รินสารละลายโปรตีนด้านบนออก แล้ว

นำมาตกตะกอนโปรตีนโดยการปรับพีเอชสารละลายโปรตีนด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1 โมลาร์ จนกระทั่งสารละลายมีพีเอชเท่ากับ 3.8 จากนั้นปั่นเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 3000xg ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ล้างตะกอนโปรตีนด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง จนกระทั่งตะกอนโปรตีนมีพีเอชเท่ากับ 7.0 จากนั้นทำแห้งโปรตีนโดยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การเตรียมแอนโทไซยานินจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่

แอนโทไซยานินจากข้าวไรซ์เบอร์รี่เตรียมโดยทำตามวิธีของ Settapramote, Laokuldilok, Boonyawan & Utama-ang (2018) โดยเริ่มจากสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวปลายไรซ์เบอร์รี่ปริมาณ 200 กรัม ด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 ปริมาตร 400 มิลลิลิตร คนผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที จากนั้นกรองกากออกและนำของเหลวสีม่วงไประเหยเอทานอลออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายเข้มข้นปริมาณโดยประมาณเท่ากับ 20 มิลลิลิตร ซึ่งนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 5 องศาบริกซ์ และเก็บรักษาในที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

การเตรียมอนุภาคเชิงซ้อนโปรตีนรำข้าว-แอนโทไซยานิน

การเตรียมอนุภาคเชิงซ้อนโปรตีนรำข้าว-แอนโทไซยานิน (Protein-anthocyanin complex particle, PAP) ทำตามวิธีของ Ju, Zhu, Huang, Shen, Zhang, Jiang and Sui (2020) โดยการผสมโปรตีนรำข้าวสกัด 6 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร พร้อมกับปั่นกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก จนกระทั่งโปรตีนรำข้าวสกัดละลายหมด และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง เพื่อให้โปรตีนทั้งหมดละลายในน้ำกลั่น ตวงสารละลายโปรตีนรำข้าวสกัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วปรับพีเอชให้เท่ากับ 9.0 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ เตรียมสารละลายแอนโทไซยานินความเข้มข้น 5 องศา-บริกซ์ โดยใช้สารละลายผสมของน้ำ DI : เอทานอล (สัดส่วนร้อยละ 85:15 โดยปริมาตร) เป็นตัวทำละลาย จากนั้นเติมลงไปเป็นปริมาณต่างกัน ได้แก่ 0 (PAP0), 5 (PAP5), 10 (PAP10) และ 15 (PAP15) มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยการกวนด้วยแท่งกวนแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นปรับพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 7.0 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ จากนั้นเตรียม

อนุภาคเชิงซ้อนโปรตีน-แอนโทไซยานินโดยการเพิ่มอุณหภูมิสารละลายโปรตีนร้อนในอ่างน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และทำให้เย็นลงโดยการแช่ในอ่างน้ำแข็ง จนกระทั่งสารละลายอนุภาคเชิงซ้อนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง จากนั้นทำแห้งด้วยวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เก็บผง PAP ในถุงพลาสติกปิดสนิท และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์การก่อก้อนอนุภาคเชิงซ้อน

การวิเคราะห์การก่อก้อนอนุภาคเชิงซ้อน (Binding capacity, BC) ทำตามวิธีของ Ju et al. (2020) โดยการแยกแอนโทไซยานินที่ไม่เกิดโครงสร้างเชิงซ้อนออกจาก PAP ซึ่ง PAP จะอยู่ในถุงไดอะไลซิส (Dialysis bag) ที่ คัดแยกโมเลกุล (Molecular weight cut-off) ขนาด 3 kDa ไม่ให้ผ่านออกไปด้านนอกถุงได้ ในขณะที่โมเลกุลแอนโทไซยานินอิสระจะแพร่ออกจากถุงไดอะไลซิสโดยมีน้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI) เป็นตัวทำละลาย ทำการแยกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanin content, TAC) ใน PAP ก่อนการแยกด้วยวิธีไดอะไลซิสและในน้ำ DI นอกถุงไดอะไลซิส เพื่อคำนวณร้อยละการก่อก้อนอนุภาคเชิงซ้อนดังสมการต่อไปนี้

$$BC (\%) = \left[\frac{TAC_{PAP} - TAC_{Free}}{TAC_{PAP}} \right] \times 100$$

เมื่อ TAC_{PAP} = ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดใน PAP ก่อนการแยกด้วยวิธีไดอะไลซิส (mg)

TAC_{Free} = ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในน้ำ DI นอกถุงไดอะไลซิส (mg)

การเตรียมชีสแปรรูปผสม PAP

การเตรียมชีสแปรรูป (Processed cheese, PC) ดัดแปลงจากวิธีของ Li et al. (2020) โดยเริ่มจากเตรียมชีสแปรรูปสูตรควบคุม (PC-0PAP) ที่ประกอบด้วย น้ำ ชีส นมผง เคซีน และเกลืออิมัลซิไฟเออร์เตตราโซเดียมไพโรฟอสเฟต (Tetrasodium pyrophosphate, TSPP) ในขณะที่การเตรียมชีสแปรรูปโดยใช้ PAP แทนเกลืออิมัลซิไฟเออร์ ในปริมาณ 4 กรัม (PC-4PAP), 8 กรัม (PC-8PAP) และ 12 กรัม (PC-12PAP) โดยที่ปริมาณส่วนผสมอื่น ๆ ยังคงที่ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้เพื่อศึกษาผลของปริมาณ PAP ต่อคุณภาพของชีสแปรรูปวิธีการเตรียมชีสแปรรูปเริ่มจากผสมส่วนผสมให้เข้ากัน

ด้วยเครื่องปั่นผสมเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นปั่นจนอย่างต่อเนื่องที่ความเร็วรอบเท่ากับ 600 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปั่นจนของผสมอย่างต่อเนื่องที่ความเร็วรอบเท่ากับ 250 รอบต่อนาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิของผสมเป็น 90 องศาเซลเซียส และคงที่ไว้เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิของชีสแปรรูปที่ได้ลงเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส และบรรจุในถุงพลาสติก nylon/LLDPE ภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 1 ส่วนผสมและปริมาณ (กรัม) สำหรับเตรียมชีสแปรรูปผสม PAP

ส่วนผสม	PC-0PAP	PC-4PAP	PC-8PAP	PC-12PAP
ชีส	40	40	40	40
นมผง	16	16	16	16
เคซีน	13	13	13	13
น้ำ	25	25	25	25
TSPP	0.4	0	0	0
PAP	0	4	8	12

หมายเหตุ : PC-0PAP = ชีสแปรรูปสูตรควบคุม, PC-4PAP, PC-8PAP และ PC-12PAP = ชีสแปรรูปใช้ PAP แทน TSPP ในปริมาณ 4, 8 และ 12 กรัม ตามลำดับ, TSPP = เกลืออิมัลซิไฟเออร์เตตราโซเดียมไพโรฟอสเฟต

การวิเคราะห์คุณสมบัติของโปรตีนรำข้าว

การวิเคราะห์คุณสมบัติของโปรตีนที่สกัดจากรำข้าวทำตามวิธีของ Zhang et al. (2012) แสดงด้วยค่าดัชนีการละลายได้ของไนโตรเจน (NSI) ค่าความเสถียรของอิมัลชัน (Emulsion stability, ES) ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีวัดความทึบแสง (Turbidimetric method) ค่าร้อยละการเกิดโฟม (Foaming capacity, %FC) และค่าการดูดซับน้ำและการดูดซับน้ำมัน

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสีระบบ CIE Lab (ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น ColorFlex EZ, สหรัฐอเมริกา) วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (ยี่ห้อ Aqualab รุ่น 4TE, สหรัฐอเมริกา) ค่าความชื้นวิเคราะห์โดยการสูญเสียน้ำหนักจากการอบด้วยความร้อน (AOAC, 2000) ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ตรวจวัดด้วยเครื่องรีแฟรक्टมิเตอร์ (Refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น PAL-3, ประเทศญี่ปุ่น)

การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanin content, TAC) วิเคราะห์ตามวิธีของ Giusti and Wrolstad (2001) โดยเจือจางสารสกัดแอนโทไซยานินในเอทานอล 1 มิลลิลิตร ในสารละลายบัฟเฟอร์ 3 มิลลิลิตร ที่มีพีเอชแตกต่างกัน ได้แก่ สารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride) พีเอช 1.0 และสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตต (Sodium acetate) พีเอช 4.5 ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยา 15 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer; ยี่ห้อ HITACHI, รุ่น UH5300, ประเทศไทย) แล้วคำนวณความเข้มข้นแอนโทไซยานิน

$$TAC (mg / L) = \frac{(A \times MW \times DF \times 1000)}{(\epsilon \times L)}$$

เมื่อ $A = (A_{510} - A_{700})_{pH1.0} - (A_{510} - A_{700})_{pH4.5}$, MW คือ น้ำหนักโมเลกุลของ cyanidin-3-glucoside (449.2 g/mol), DF (dilution factor) คือ สัดส่วนการเจือจาง, ϵ คือ Molar absorptivity (26,900 L/mol.cm) และ L คือ ความกว้างของคิวเวตต์ (1.0 cm)

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) ทำตามวิธีของ Ngamdee and Jiamyangyuen (2018) โดยเตรียมสารละลาย DPPH ในเมทานอล 0.2 มิลลิโมลาร์ และเตรียมตัวอย่างเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในเมทานอล ผสมสารละลายตัวอย่างกับสารละลาย DPPH ผสมให้เข้ากันแล้วปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืด 30 นาที ก่อนจะวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และแสดงคำนวณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในหน่วยไมโครกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อกรัม (μg GAE/g)

การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ตามวิธีของ Shahbazi, Jäger and Ettelaie (2021) โดยการวิเคราะห์หาค่าโครงสร้างคุณสมบัติเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis, TPA) โดยใช้หัววัดสแตนเลสทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร (P/100) ซึ่งแสดงค่าคุณภาพเนื้อสัมผัส คือ ความแข็ง (hardness) การเกาะติด (cohesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness) การยึดติด (adhesiveness) ความเหนียวคล้ายยาง (gumminess) และความเคี้ยวได้ (chewiness)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี ANOVA และวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

คุณลักษณะเฉพาะของโปรตีนรำข้าวสาคัด

คุณลักษณะเฉพาะของโปรตีนรำข้าวสาคัดจากรำข้าวหนึ่งแสดงด้วยค่าร้อยละการละลายของไนโตรเจน (NSI) ความเสถียรของอิมัลชัน (ES) และร้อยละการเกิดโฟม (FC) ซึ่งศึกษาที่พีเอชแตกต่างกัน เนื่องจากโปรตีนเป็นโมเลกุลที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน พีเอชที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณประจุบวกของสารละลายโปรตีน ซึ่งส่งผลต่อสมบัติการละลายของโปรตีนเช่นกัน ค่า NSI ในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าโปรตีนรำข้าวสาคัดละลายได้ดีในช่วงพีเอช 3-11 โดยมีการละลายของไนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 14.3-75.8 โดยค่า NSI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น อิมัลชันของโปรตีนรำข้าวหนึ่งสัปดาห์มีความเสถียรที่สูงที่พีเอช 5 โดยมีค่า ES เท่ากับ 17.6 นาที่ และมีค่า FC สูงที่สุด ($p < 0.05$) ในสารละลายที่มีพีเอชเท่ากับ 9 โดยมีค่า FC เท่ากับร้อยละ 102.5 ค่าคุณลักษณะของรำข้าวสาคัดจากรำข้าวหนึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Zhang et al. (2012) ที่ใช้วิธีการสกัดรำข้าวด้วยวิธีเดียวกัน โดย Zhang et al. (2012) รายงานว่าค่า NSI ของรำข้าวสาคัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามพีเอชของสารละลายจากประมาณร้อยละ 18 ที่พีเอช 3 ถึงประมาณร้อยละ 70 ที่พีเอช 11 ค่า ES จากรายงานของ Zhang et al. (2012) มีค่าสูงที่สุดที่พีเอช 5 โดยมีค่าประมาณ 24 นาที่ และมีค่า FC สูงที่สุดที่พีเอช 9 โดยมีค่าประมาณร้อยละ 100

ตารางที่ 2 คุณลักษณะเฉพาะของโปรตีนรำข้าวสาคัด

pH	NSI (ร้อยละ)	ES (นาที่)	FC (ร้อยละ)
3	14.4±1.9	13.3±0.9 ^c	60.0±4.1 ^d
4	19.3±1.2	-	-
5	28.9±1.9	17.6±2.6 ^a	77.5±2.7 ^c
6	34.4±2.9	-	-
7	45.0±2.4	15.3±0.4 ^b	80.0±2.2 ^b
8	58.9±1.9	-	-
9	63.8±3.4	13.1±1.2 ^c	102.5±3.5 ^a
10	69.6±2.8	-	-
11	75.8±3.7	-	-

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงด้วยค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3); NSI = ดัชนีการละลายได้ของไนโตรเจน; ES = ค่าความเสถียรของอิมัลชัน; FC = ร้อยละการเกิดโฟม
^{a-d} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ผลการทดสอบสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนรำข้าวนี้สกัดแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าโปรตีนรำข้าวสกัดมีค่าการดูดซับน้ำเท่ากับ 2.92 กรัม/กรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ สาโรจน์ รอดคีน และสิริรุ่ง วงศ์สกุล (2556) ที่พบว่าโปรตีนสกัดจากรำข้าวอินทรีย์มีค่าการดูดซับน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 1.72-2.69 กรัม/กรัม แต่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากรายงานของ Zhang et al. (2012) ที่พบว่าโปรตีนสกัดจากรำข้าวที่ผ่านความร้อนและสกัดน้ำมันแล้วมีค่าการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 3.7-4.4 กรัม/กรัม

ค่าการดูดซับน้ำมันของโปรตีนสกัดจากรำข้าวนี้ มีค่าเท่ากับ 3.32 กรัม/กรัม โดยที่โปรตีนรำข้าวนี้สกัดมีค่าการดูดซับน้ำของโปรตีนรำข้าวสกัดรำข้าวนี้ในการทดลองนี้มีค่าอยู่ในช่วงของค่าการดูดซับน้ำมันของโปรตีนสกัดเข้มข้นจากรำข้าวจากรายงานของ สาโรจน์ รอดคีน และสิริรุ่ง วงศ์สกุล (2556) ที่มีค่าประมาณ 1.85-3.75 กรัม/กรัม อย่างไรก็ตามโปรตีนรำข้าวสกัดรำข้าวนี้ในการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าในรายงานของ Zhang et al. (2012) ของโปรตีนรำข้าวสกัดจากรำข้าวที่ผ่านความร้อนและการสกัดไขมันมีค่าการดูดซับน้ำมันอยู่ในช่วง 4.24 กรัม/กรัม ถึง 5.13 กรัม/กรัม

ตารางที่ 3 คุณภาพของโปรตีนรำข้าวสกัด

ปัจจัยคุณภาพ	ค่าคุณภาพ
ค่าการดูดซับน้ำ (กรัม/กรัม)	2.92±0.02
ค่าการดูดซับน้ำมัน (กรัม/กรัม)	3.32±0.21
ค่าสี L*	46.55±4.40
a*	3.99±0.33
b*	14.63±2.16
TSS (°Brix)	0.37±0.06
a _w	0.196±0.03
DPPH (µg GAE/g)	0.424±0.07

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงด้วยค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

โปรตีนรำข้าวนี้สกัดมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 46.55 มีค่าความเป็นสีแดง (a*) เท่ากับ 3.99 และ

มีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 14.63 ดังแสดงในตารางที่ 3 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid, TSS) ของโปรตีนรำข้าวสกัดมีค่าเท่ากับ 0.37 องศาบริกซ์ (°Brix) มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.196 และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 0.424 µg GAE/g

คุณลักษณะเฉพาะของ PAP

ร้อยละการเกิดอนุภาคเชิงซ้อนของโปรตีนรำข้าวกับแอนโทไซยานินของ PAP5, PAP10 และ PAP15 มีค่าเท่ากับร้อยละ 79.8, 15.4 และ 58.2 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยตรวจไม่พบแอนโทไซยานินใน PAP0 จากผลการทดลองพบว่าได้ค่าร้อยละการเกิดอนุภาคเชิงซ้อนของ PAP5 มีค่ามากที่สุด ในขณะที่ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลำดับใน PAP0, PAP5, PAP10 และ PAP15 โดยมีค่าเท่ากับ 105, 143, 165 และ 331 µg GAE/g ตามลำดับ เนื่องจาก PAP15 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดจึงถูกเลือกเป็น PAP สำหรับการเตรียมซิสแปรรูปในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4 คุณภาพทางเคมีของ PAP เตรียมจากสารละลายแอนโทไซยานินปริมาณต่างกัน

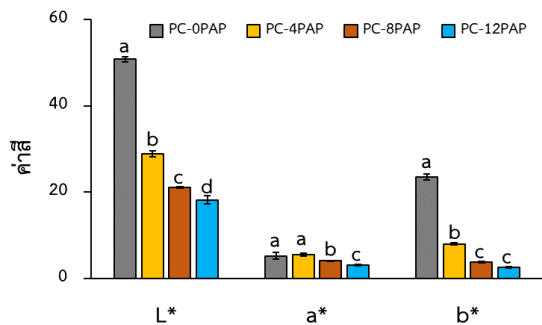
สิ่ง ทดลอง	ร้อยละการเกิดเป็น อนุภาคเชิงซ้อน	DPPH (µg GAE/g)
PAP0	na	105±5.1 ^d
PAP5	79.8±10.0 ^a	143±4.3 ^c
PAP10	15.4±2.3 ^c	165±4.6 ^b
PAP15	58.2±10.3 ^b	331±5.0 ^a

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงด้วยค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3);^{a-d} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05); PAP เตรียมโดยใช้สารละลายแอนโทไซยานินปริมาณ 0 มิลลิลิตร (PAP0) (กลุ่มควบคุม), 5 มิลลิลิตร (PAP5), 10 มิลลิลิตร (PAP10) และ 15 มิลลิลิตร (PAP15)

คุณภาพของซิสแปรรูปผสม PAP

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของซิสแปรรูปผสม PAP ในปริมาณต่างกันแสดงดังรูปที่ 1 โดยพบว่า PC-0PAP มีค่า L* สูงที่สุดเท่ากับ 50.83 และค่า L* ของ PC-4PAP, PC-8PAP และ PC-12PAP มีค่าเท่ากับ 28.91, 21.13 และ 18.24 ตามลำดับ ซึ่งทุกสิ่งทดลองมีค่า L* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) และลดลงตามปริมาณ PAP ที่เพิ่มขึ้น

ค่าสี a^* ของ PC-PAPs ทุกตัวอย่างมีค่าค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 3.13 – 5.56 โดยที่ค่า a^* ของ PC-OPAP (5.27) และ PC-4PAP (5.56) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในขณะที่ค่า a^* ของ PC-8PAP (4.09) และ PC-12PAP (3.13) มีค่าลงอย่างเป็นลำดับ ($p\leq 0.05$)



รูปที่ 1 ค่าสีของชีสแปรรูปผสม PAP ปริมาณ 0 กรัม (PC-OPAP) (กลุ่มควบคุม), 4 กรัม (PC-4PAP), 8 กรัม (PC-8PAP) และ 12 กรัม (PC-12PAP)

หมายเหตุ: ^{a-d} แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ของข้อมูลในกลุ่มเดียวกัน

ค่าสี b^* ของ PC-PAPs ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มมีค่าลดลงตามปริมาณสารสกัดแอนโทไซยานินที่เพิ่มขึ้น โดยในชีสกลุ่มควบคุมมีค่า b^* เท่ากับ 23.52 และมีค่าลดลง ($p\leq 0.05$) ใน PC-4PAP ที่มีค่าเท่ากับ 8.00 และลดลง ($p\leq 0.05$) อีกใน PC-8PAP และ PC-12PAP ที่มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p\leq 0.05$) เท่ากับ 3.85 และ 2.65 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ค่าสีแสดงให้เห็นว่าชีสแปรรูปมีสีเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PAP เพิ่มขึ้น

ค่าความชื้นของชีสทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 42.33 – 45.00 อย่างไรก็ตามค่า a_w ของ PC-OPAP และ PC-4PAP มีค่าสูงที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.9419 และ 0.9186 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า a_w (ตารางที่ 5) มีค่าลดลงในสิ่งทดลองที่ PC-8PAP และ PC-12PAP โดยมีค่าเท่ากับ 0.8862 และ 0.8911 ตามลำดับซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 5 ค่าความชื้น ค่า a_w และค่าพีเอชของชีสแปรรูปผสม PAP ปริมาณแตกต่างกัน

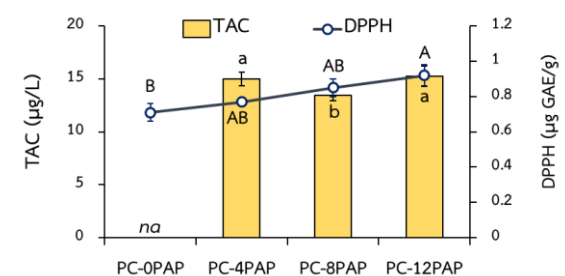
สิ่งทดลอง	ความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	a_w	pH
PC-OPAP	45.00±1.50	0.9419 ^a	5.71±0.03 ^d
PC-4PAP	41.33±2.08	0.9186 ^a	5.83±0.01 ^c
PC-8PAP	42.67±2.87	0.8862 ^b	6.22±0.04 ^a
PC-12PAP	43.67±1.50	0.8911 ^b	6.15±0.04 ^b

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงด้วยค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$); ^{ns} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$); ^{a-b} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ค่าพีเอชของ PC-PAPs ทุกตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยแต่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5 ค่าพีเอชของ PC-8PAP มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 6.22 โดยที่ PC-12PAP มีค่าพีเอชต่ำกว่าเล็กน้อย โดยมีค่าเท่ากับ 6.15 ในขณะที่ PC-OPAP (5.71) และ PC-OPAP (5.83) มีค่าพีเอชลดลงเป็นลำดับ ($p\leq 0.05$)

ปริมาณแอนโทไซยานินและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของชีสแปรรูปผสม PAP

ชีสแปรรูปสูตรควบคุม PC-OPAP ตรวจไม่พบแอนโทไซยานิน ในขณะที่ PC-4PAP และ PC-12PAP มีแนวโน้มมี TAC สูงที่สุดเท่ากับ 14.97 และ 15.25 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 2 ชีส PC-8PAP มี TAC ที่สูงที่สุดเท่ากับ 13.45 $\mu\text{g/L}$ ปริมาณแอนโทไซยานินของ PC-4PAP, PC-8PAP และ PC-12PAP ที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยส่งผลให้ทั้ง 3 ตัวอย่างมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.77 – 0.92 $\mu\text{g GAE/g}$ อย่างไรก็ตาม PC-12PAP มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่า PC-OPAP ที่มีค่าเท่ากับ 0.71 $\mu\text{g GAE/g}$ อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)



รูปที่ 2 ค่า TAC และ DPPH ของซิสแปรรูปผสม PAP ปริมาณ 0 กรัม (PC-OPAP) (กลุ่มควบคุม), 4 กรัม (PC-4PAP), 8 กรัม (PC-8PAP) และ 12 กรัม (PC-12PAP)

หมายเหตุ: ^{a-b} และ ^{A-B} แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของค่า TAC และ DPPH ตามลำดับ

คุณภาพเนื้อสัมผัสของซิสแปรรูปผสม PAP

ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัสของซิสตัดแปรรูปกลุ่มควบคุมและซิสตัดแปรรูปผสม PAP ในตารางที่ 6 แสดงค่าความแข็ง การยึดติด ความยืดหยุ่น การเกาะติด ความเหนียวคล้ายยาง และความเคี้ยวได้ ค่าความแข็งของซิสแปรรูปกลุ่มควบคุม PC-OPAP มีค่าเท่ากับ 595.42 กรัม ซึ่งสูงกว่าซิสผสม PAP ทุกตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดย PC-4PAP, PC-8PAP และ PC-12PAP มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 184.31-295.40 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ค่าการยึดติด ค่าความยืดหยุ่น และค่าการเกาะติดของซิสแปรรูปทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างจากซิสกลุ่มควบคุม ($p > 0.05$) โดยซิสทุกตัวอย่างมีค่าการยึดติดอยู่ในช่วง -2.82 ถึง -4.57 กรัม. วินาที มีค่าความยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 0.74 ถึง 0.82 มิลลิเมตร และมีค่าการเกาะติดของอยู่ในช่วง 0.68 ถึง 0.70

ตารางที่ 6 คุณภาพเนื้อสัมผัสของซิสแปรรูปผสม PAP ในปริมาณต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ความแข็ง (กรัม)	การยึดติด ^{ns} (กรัม.วินาที)	ความยืดหยุ่น ^{ns} (มม.)	การเกาะติด ^{ns}	ความเหนียว คล้ายยาง	ความเคี้ยวได้ (กรัม.มิลลิเมตร)
PC-OPAP	595.42±91.10 ^a	-4.57±0.44	0.81±0.08	0.70±0.01	419.39±67.21 ^a	314.27±76.58 ^a
PC-4PAP	295.40±72.08 ^b	-2.82±1.61	0.74±0.06	0.70±0.03	206.94±46.02 ^b	154.05±40.20 ^b
PC-8PAP	261.36±27.78 ^b	-5.02±1.38	0.82±0.04	0.68±0.01	222.65±8.73 ^b	182.12±15.02 ^b
PC-12PAP	184.31±21.67 ^b	-3.96±0.94	0.81±0.01	0.69±0.04	127.15±13.99 ^c	102.65±11.75 ^b

ข้อมูลแสดงด้วยค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน; ^{ns} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$); ^{a-c} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าความเหนียวคล้ายยางของ PC-4PAP, PC-8PAP และ PC-12PAP มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ PC-OPAP ซึ่งมีค่าความเหนียวคล้ายยางสูงที่สุดเท่ากับ 419.39 อย่างไรก็ตามค่าความเหนียวคล้ายยางของ PC-4PAP และ PC-8PAP มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 206.94 และ 222.65 ตามลำดับ แต่พบว่ามีความต่ำกว่า PC-12PAP ที่มีค่าความเหนียวคล้ายยางเท่ากับ 127.5 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค่าความเคี้ยวได้ของ PC-4PAP, PC-8PAP และ PC-12PAP มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) อยู่ในช่วง

102.65-154.05 กรัม.มม. แต่มีค่าต่ำกว่าค่าของ PC-OPAP อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นซิสที่มีค่าความเคี้ยวได้สูงที่สุดเท่ากับ 314.27 กรัม.มม

อภิปรายผล

คุณลักษณะเฉพาะของโปรตีนรำข้าวสาคัด

ผลการวิเคราะห์ร้อยละของการเกิดโฟมดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าพีเอชของสารละลายโปรตีนมีผลต่อการเกิดโฟม โดยที่พีเอช 9.0 โปรตีนเกิดโฟมได้ดีที่สุด โดยมีค่าร้อยละการเกิดโฟมเท่ากับร้อยละ 22.5 ในขณะที่พีเอช 5.0 ความสามารถในการเกิดโฟมของโปรตีนรำข้าวหนึ่งสัปดาห์มีค่าลดลงเท่ากับร้อยละ 17.5 และที่พีเอช 3.0 และพีเอช 7.0 ส่งผลทำให้โปรตีนสร้างโฟมได้น้อยที่สุด เนื่องจากความสามารถในการเกิดโฟมของโปรตีนขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของโปรตีนซึ่งเมื่อโปรตีนละลายได้ดีและมีความสามารถในการเคลื่อนตัวไปสัมผัสกับอากาศที่ผิวน้ำของระบบจะทำให้ความสามารถในการเกิดโฟมเพิ่มสูงขึ้นนอกจากนั้นการที่โปรตีนถูกทำให้เสียสภาพธรรมชาติก็เป็นกลไกหนึ่งที่ทำให้สามารถแสดงสมบัติดังกล่าวได้ดีกว่าโปรตีนที่อยู่ในสภาพธรรมชาติ (Chittapalo and Noomhorm, 2009)

ค่า ES และ FC เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของโปรตีน เนื่องจากโปรตีนจะดูดซับอากาศและน้ำสำหรับการเกิดโฟม หรือดูดซับน้ำมันและน้ำสำหรับการเกิด

อิมัลชันเพื่อลดแรงถึงผิว และช่วยให้ฟิล์มที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของอนุภาคมีความเสถียรจากประจุบนโมเลกุลของโปรตีน และโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนเอง (Schmidt, Damgaard, Greve-Poulsen, Larsen and Hammershøj, 2018) ผลการทดลองในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าช่วงพีเอช 5.0 มีค่าใกล้เคียงค่าพีไอ (pI) หรือจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) ซึ่งเป็นพีเอชที่โปรตีนตกตะกอนเนื่องจากประจุรวมของโมเลกุลโปรตีนมีค่าเท่ากับศูนย์ (Schmidt et al., 2018)

สมบัติการดูดซับน้ำของโปรตีนเป็นคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญ ค่าการดูดซับน้ำของโปรตีนในช่วง

1.49-4.72 กรัม/กรัม ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ประเภทซูปและน้ำเกรวี่ (Zhang et al., 2012) โดยความสามารถในการอุ้มน้ำจะมีผลที่ตรงกันข้ามกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันเนื่องจากใช้หมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกันในการจับกับโมเลกุลของน้ำและน้ำมัน อย่างไรก็ตามรำข้าวที่ผ่านกระบวนการต่างกันอย่างมีสมบัติการดูดซับน้ำที่ต่างออกไป ตัวอย่างเช่น โปรตีนรำข้าวสกัดจากรำข้าวที่ผ่านความร้อนและการสกัดไขมันมีค่าการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 3.7 กรัม/กรัม ถึง 4.4 กรัม/กรัม (Zhang et al., 2012)

สมบัติการดูดซับน้ำมันของโปรตีนมีความสำคัญกับอาหารที่มีไขมันสูง เช่น ไส้กรอก หรือเค้กเนย เป็นต้น (Zhang et al., 2012) ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของโปรตีนสามารถใช้อธิบายสมบัติความไม่ชอบน้ำของโปรตีนได้อีกทางหนึ่ง เนื่องจากมีความสัมพันธ์กันโดยตรงกันข้าม ซึ่งโปรตีนสกัดจากรำข้าวในการทดลองนี้มีค่าการดูดซับน้ำและค่าการดูดซับน้ำมันอยู่ในระดับปานกลางหรือประมาณ 3 กรัม/กรัม และอาจเหมาะสมต่อการเป็นส่วนผสมในชีสแปรรูปที่มีน้ำและไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก

คุณลักษณะเฉพาะของ PAP

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่า PAP15 ที่เตรียมโดยใช้สารละลายแอนโทไซยานินสูงที่สุดเท่ากับ 15 มิลลิกรัม เพื่อเตรียม PAP แต่กลับมีร้อยละการเกิดอนุภาคเชิงซ้อนได้ต่ำกว่า PAP5 ที่เตรียมโดยใช้สารละลายแอนโทไซยานิน 5 มิลลิกรัม ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจาก PAP5 เตรียมจากแอนโทไซยานินที่มีปริมาณต่ำกว่า โมเลกุลของแอนโทไซยานินทั้งหมดจึงเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนกับโปรตีนรำข้าวได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีความร้อยละการเกิดอนุภาคเชิงซ้อนสูงที่สุด ในขณะที่ PAP15 มีปริมาณโมเลกุลแอนโทไซยานินจำนวนมากในสารละลาย ส่งผลให้โมเลกุลแอนโทไซยานินส่วนหนึ่งเสียสภาพก่อนการเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนกับโปรตีน เนื่องจากแอนโทไซยานินไม่ทนต่อสารละลายที่มีพีเอชสูง (Giusti & Wrolstad, 2001) อย่างไรก็ตามเนื่องจาก PAP15 มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีที่มีพีเอชสูงที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของโปรตีนที่ไม่เกิดโครงสร้างเชิงซ้อนกับแอนโทไซยานิน เนื่องจากโปรตีนรำข้าวสกัดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ด้วยเช่นกัน (สาโรจน์ รอดคีน และสิริรุ่ง วงศ์สกุล, 2556) ด้วยเหตุนี้ PAP15 จึงถูกเลือกเป็นสภาวะในการเตรียมอนุภาคเชิงซ้อนโปรตีน-แอนโทไซยานินที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้เตรียมผลิตภัณฑ์ชีสแปรรูป

คุณภาพเนื้อสัมผัสของชีสแปรรูปจาก PAP

ค่าความแข็งของ PC-4PAP, PC-8PAP และ PC-12PAP มีค่าต่ำกว่าชีสแปรรูปกลุ่มควบคุม PC-0PAP ซึ่งอาจเกิดจาก PAP ที่เติมลงในส่วนประกอบของชีสอาจดูดน้ำและส่งผลให้โปรตีนจากส่วนผสมในการผลิตชีสแปรรูปไม่สามารถจัดเรียงตัวได้เป็นปกติ (Talbot-Walsh, Kannar, & Selomulya, 2018) ดังนั้นร่างแหของโปรตีนไม่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้ค่าความแข็งของชีสผสม PAP จึงมีค่าลดลง

ค่าการยืดติดและค่าความยืดหยุ่นของชีสแปรรูปผสม PAP ทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกันสอดคล้องกับรายงานของ Shahbazi et al. (2021) ที่พบว่าความยืดหยุ่นของชีสที่มีส่วนผสมแตกต่างกันจะมีค่าความยืดหยุ่นแตกต่างกันน้อยมาก Shahbazi et al. (2021) ยังรายงานว่าค่าการเกาะติดของชีสแปรรูปมีค่าประมาณ 0.34 และพบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อมีส่วนผสมเพิ่มเติมในชีสในปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 12 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ที่พบว่าค่าการเกาะติดของชีสแปรรูปทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกัน

ค่าความเหนียวคล้ายยางและค่าความเคี้ยวได้ของชีสที่ผสม PAP มีค่าต่ำกว่าชีสกลุ่มควบคุมด้วยเหตุผลเดียวกับการลดลงของค่าความแข็ง เนื่องจากเป็นลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก (Shahbazi et al., 2021) ซึ่งอาจเป็นผลมาจาก PAP ที่มีลักษณะเป็นอนุภาคที่ขัดขวางการเกิดโครงสร้างตาข่ายของโปรตีนทำให้โครงสร้างเจลของชีสมีความแข็งแรงลดลงและไม่สามารถต้านทานแรงกดและทำให้โครงสร้างเจลของชีสเสียหายได้ง่าย

สรุปผลการวิจัย

โปรตีนสกัดจากรำข้าวหนึ่งมีสมบัติการดูดซับน้ำและการดูดซับไขมันระดับปานกลาง ซึ่งสามารถใช้เตรียมเป็นอนุภาคเชิงซ้อนกับแอนโทไซยานินที่สกัดจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ ซึ่งร้อยละการเกิดอนุภาคเชิงซ้อนระหว่างโปรตีนสกัดจากรำข้าวหนึ่งและแอนโทไซยานินเปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นระบบ เนื่องจากร้อยละการเกิดอนุภาคเชิงซ้อนมีค่าสูงที่สุดเมื่อใช้สารละลายแอนโทไซยานินในปริมาณ 5 มิลลิกรัม และลดลงต่ำที่สุดเมื่อใช้สารละลายแอนโทไซยานินปริมาณ 10 มิลลิกรัม และกลับเพิ่มขึ้นอีกเมื่อใช้สารละลายแอนโทไซยานินปริมาณ 15 มิลลิกรัม เนื่องจากส่วนของแอนโทไซยานินที่มากเกินไปเสื่อมเสียจากสารละลายที่มีพีเอชสูง อย่างไรก็ตามฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ PAP15 มีค่าสูงที่สุด จึงใช้เพื่อเตรียมชีสแปรรูปโดยใช้แทนที่เกลออีมีลซิไฟเออร์ใน

ปริมาณ 4, 8 และ 12 กรัม ซึ่งปริมาณ PAP15 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในซีสแปรรูป แต่ช่วยให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้น ในด้านคุณภาพเนื้อสัมผัสพบว่าค่าความเหนียวคล้ายยาง และความเคี้ยวได้ของซีสแปรรูปผสม PAP ทุกตัวอย่างมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นต่ำกว่าซีสสูตรควบคุม และมีแนวโน้มยืดหยุ่นลดลงมากขึ้นเมื่อปริมาณ PAP สูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากอนุภาค PAP ขัดขวางการสร้างเครือข่ายโปรตีนที่ทำให้ซีสแปรรูปมีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่น

ข้อเสนอแนะ

- 1) อาจมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการใช้ PAP ร่วมกับเกลืออิมัลซิไฟเออร์หรือสารช่วยให้ความคงตัวเพื่อปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของซีสแปรรูปให้ใกล้เคียงกับซีสแปรรูปสูตรควบคุม
- 2) อาจมีการศึกษาเพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ซีสแปรรูปผสม PAP

เอกสารอ้างอิง

สารโรจน์ รอดคีน และสิริรุ่ง วงศ์สกุล. (2556). *การผลิตโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าวอินทรีย์ด้วยกรรมวิธีแบบเกษตรอินทรีย์เปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม*. (รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง).

AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (18th Eds). MD, USA: AOAC International.

Černíková, M., Buňka, F., Pospiech, M., Tremlová, B., Hladká, K., Pavlínek, V., & Březina, P. (2010). Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production. *International Dairy Journal*, 20(5), pp. 336-343.

Chittapalo, T., & Noomhorm, A. (2009). Ultrasonic assisted alkali extraction of protein from defatted rice bran and properties of the protein concentrates. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(9), pp. 1843-1849.

Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food*

Analytical Chemistry, 00(1), pp. F1.2.1-F1.2.13.

Jiamyangyuen, S., Nuengchamnong, N., & Ngamdee, P. (2017). Bioactivity and chemical components of Thai rice in five stages of grain development. *Journal of Cereal Science*, 74, pp. 136-144.

Ju, M., Zhu, G., Huang, G., Shen, X., Zhang, Y., Jiang, L., & Sui, X. (2020). A novel pickering emulsion produced using soy protein-anthocyanin complex nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 99, pp. 105329.

Li, H., Qin, A., Yu, H., Han, Y., Zheng, S., Li, H., & Yu, J. (2020). Effects of pre-emulsification with heat-treated whey protein on texture and microstructure of processed cheese. *LWT*, 124, pp. 109185.

Mozuraityte, R., Berget, I., Mahdalova, M., Grønsberg, A., Øye, E. R., & Greiff, K. (2019). Sodium reduction in processed cheese spreads and the effect on physicochemical properties. *International Dairy Journal*, 90, pp. 45-55.

Ngamdee, P., & Jiamyangyuen, S. (2018). Effective antioxidant activities of anthocyanins as affected by pH of antioxidant assays. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 16(11), pp. 875-885.

Onmankhong, J., Jongyingcharoen, J. S., & Sirisomboon, P. (2021). The influence of processing parameters of parboiled rice on its physicochemical and texture properties. *Journal of Texture Studies*, 52(2), pp. 219-227.

Přikryl, J., Hájek, T., Švecová, B., Salek, R. N., Černíková, M., Červenka, L., & Buňka, F. (2018). Antioxidant properties and textural characteristics of processed cheese spreads enriched with rutin or quercetin: The effect of processing conditions. *LWT*, 87, pp. 266-271.

- Settapramote, N., Laokuldilok, T., Boonyawan, D., & Utama-ang, N. (2018). Physiochemical, antioxidant activities and anthocyanin of Riceberry rice from different locations in Thailand. *Food and Applied Bioscience Journal*, 6(Special), pp. 84–94.
- Shahbazi, M., Jäger, H., & Ettelaie, R. (2021). Application of pickering emulsions in 3D printing of personalized nutrition. Part II: functional properties of reduced-fat 3D printed cheese analogues. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 624, pp. 126760.
- Zhang, H. J., Zhang, H., Wang, L., & Guo, X. N. (2012). Preparation and functional properties of rice bran proteins from heat-stabilized defatted rice bran. *Food Research International*, 47(2), pp. 359–363.