การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวโดยใช้เห็ดนางฟ้าทดแทนเนื้อปลาเพื่อเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ

นิตยา ภูงาม[1] สุดารัตน์ สุการี[2] ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด[3] วีรเวทย์ อุทโธ[4]
เจนจิรา พกาวัลย์[5] ณัฏวลิณคล เศรษฐปราโมทย์[6*]

Received : January 12, 2023
Revised : October 20, 2023
Accepted : October 24, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทดแทนเห็ดนางฟ้าในผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากเนื้อปลาในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ตามลำดับ จากนั้นทำการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมด้วยวิธีการวัดคุณภาพได้แก่ ทดสอบทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ค่าสี (ค่าความสว่าง (L*), ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)) ค่าความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า Acid value ของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวทั้ง 4 สูตร พบว่า สูตรที่ได้คะแนนในการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด คือ ผงโรยข้าวสูตรทดแทนเห็ดนางฟ้า ร้อยละ 30 โดยได้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.53±0.15, 8.21±0.20 และ7.83±0.11 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์คุณภาพค่าสี พบว่า ค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 28.68±1.01, 2.63±1.09 และ3.25±1.05 มีค่าสูงกว่าสูตรทดแทนอื่น ๆ จากผลการวิเคราะห์คุณภาพพิจารณาจากการยอมรับของผู้บริโภค และค่าสีของผลิตภัณฑ์ได้คัดเลือกสูตรทดแทนเห็ดนางฟ้า ร้อยละ 30 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละ ABTS) พบว่า ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย เท่ากับ ร้อยละ 8.47±0.23, 2.88±0.18, 3.43±0.21 และ 5.43±0.21 ตามลำดับ และการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 2079±0.15 มิลลิกรัม และร้อยละ 60.11±0.11 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ผงโรยข้าว สารต้านอนุมูลอิสระ เห็ดนางฟ้า

---

[1] อาจารย์ประจำสาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ อีเมล: nittaya.ph@rmuti.ac.th

[2] นักศึกษา สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ อีเมล: sudarat.sk@rmuti.ac.th

[3] อาจารย์ประจำสาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ อีเมล: supalug.ka@rmuti.ac.th

[4] อาจารย์ประจำสาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อีเมล: weerawate@gmail.com

[5] อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และการจัดการเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อีเมล: janejira_p@rmutt.ac.th

[6] อาจารย์ประจำสาขาวิชาธุรกิจอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อีเมล: koonjip@gmail.com

** ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: koonjip@gmail.com*

STUDY OF PHYSICAI-CHEMICAI CHARACTERISTICS OF RICE SEASONING PRODUCTS MADE FROM FAIRY MUSHROOMS FOR ENHANCED ANTIOXIDANT CONTENT

Nittaya Phungam[1] Sudarat Sukari[2] Supalug Kattakdad[3] Weerawate Utto[4]
Janejira Phakawan[5] Natwalinkhol Settapramote[6*]

Abstract

The research aimed to investigate the substitution of fairy mushroom powder in rice seasoning products made from fish fillets, using ratios of 0% , 10% , 20% , and 30% . The selection of the appropriate formula was based on physical- chemical quality measurements, including sensory evaluation in terms of color, odor, taste, texture, and overall liking. Other parameters assessed were color values (lightness (L*), redness (a*), and yellowness (b*), moisture content, free water content, peroxide value, and acid value. The results revealed that the formula with the highest sensory acceptance score contained 30% fairy mushroom powder. It received the highest scores in color (7.53±0.15), odor (8.21±0.20), and overall liking (7.83±0.11). The color attributes in terms of L*, a*, and b* were 28.68±1.01, 2.63±1.09, and 3.25±1.05, respectively, which were superior to the other formulas. The chemical composition analysis, including protein, fat, ash, and fiber, yielded values of 8.47±0.23, 2.88±0.18, 3.43±0.21, and 5.43±0.21, respectively. Furthermore, the study also analyzed the total phenolic content and antioxidant property (% ABTS), which were measured at 2079±0.15 mg and 60.11±0.11%, respectively.

Keywords: Rice seasoning product, Antioxidant, Fairy mushroom

---

[1] *Lecturer of Agro-Industry, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Surin Campus, e-mail: nittaya.ph@rmuti.ac.th*

[2] *Student, Agro-Industry, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Surin Campus, e-mail: sudarat.sk@rmuti.ac.th*

[3] *Lecturer of Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Surin Campus, e-mail: supalug.ka@rmuti.ac.th*

[4] *Lecturer of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University, e-mail: weerawate@gmail.com*

[5] *Lecturer of Food Science and Technology Management, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, e-mail: janejira_p@rmutt.ac.th*

[6] *Lecturer of Food Business and Nutrition, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, e-mail: koonjip@gmail.com*

** Corresponding author, e-mail: koonjip@gmail.com*

บทนำ

ผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว หรือที่ชาวญี่ปุ่นเรียกกันว่า ฟูริคาเกะ (Furikake) เป็นอาหารที่ชาวญี่ปุ่นนิยมนำมารับประทานกับข้าวสวยร้อน ๆ เพื่อเพิ่มสีสัน และรสชาติให้กับมื้ออาหาร โดยฟูริคาเกะมีส่วนประกอบด้วยส่วนผสมของปลาแห้ง เมล็ดงา สาหร่ายสับ น้ำตาล เกลือ และโมโนโซเดียมกลูตาเมต ส่วนผสมที่ใช้เพิ่มรสชาติอื่น ๆ เช่น คัทสึโอะบูชิ (ปลาแห้งที่ใช้ในการทำซุป) ปลาแซลมอนแห้ง ชิโซะ ไข่ มิโซะ ผงผักและอื่น ๆ (นพรัตน์ มะเห และคณะ, 2561) และปรุงรสด้วยเครื่องปรุงรสเพื่อให้มีรสชาติที่กลมกล่อมมากยิ่งขึ้น ฟูริคาเกะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงที่ได้รับประโยชน์จากเนื้อปลา สาหร่าย และส่วนประกอบที่เติมลงไปในผลิตภัณฑ์ ซึ่งลักษณะของฟูริคาเกะสีของผงโรยข้าวต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของส่วนผสมต่าง ๆ มีกลิ่นหอม รสชาติดี ปราศจากรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ (สุรีวรรณ ราชสม และคณะ, 2563) ปัจจุบันผู้ผลิตชาวญี่ปุ่นหลายรายนำเทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็งมาใช้ในการผลิตฟูริคาเกะ ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะช่วยรักษาคุณภาพของฟูริคาเกะ และยังคงรสชาติที่อร่อย สำหรับเทคนิคการทำฟูริคาเกะอย่างง่าย สามารถทำได้โดยการเตรียมส่วนผสมที่คัดสรรมาอย่างดีและเครื่องปรุงรสมาบดผสมรวมกันในเวลา เดียวกัน ซึ่งเรียกว่าฟูริคาเกะสด (Fresh furikake) วิธีการผลิตแบบนี้เหมาะกับการผลิตจากส่วนผสม ที่มาจากทะเล เช่น ปลาชาร์ดีนแห้ง สาหร่ายวาคาเมะ สาหร่ายคอมบุ และปลาสับปรุงรส นอกจากนั้นการผลิตฟูริคาเกะมีการเติมส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาด้านโภชนาการของคน เช่น เติม ปลาตัวเล็กบด เพื่อเสริมแคลเซียม หรือสารอาหารที่จำเป็นอื่น ๆ (Daisho (Thailand), 2023) ปัจจุบันคนไทยหันมาดูแลสุขภาพ และบริโภคอาหารจากพืชมากขึ้นโดยเฉพาะเห็ด ซึ่งเห็ดนางฟ้าเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ๆ ได้แก่ โปรตีน ธาตุเหล็ก แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินต่าง ๆ เช่น วิตามิน B1 (Thiamin) วิตามิน B2 (Riboflavin) และวิตามิน B3 (Niacin) เห็ดยังมีสรรพคุณทางยา เช่น ป้องกันมะเร็งและเสริมสร้างการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (Ferreira et al., 2010; Yuenyongbuddhakan & Limrungruangrat, 2015) รวมทั้งยังเป็นแหล่งของสาร Secondary metabolites หลายชนิดที่สมบัติในการเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH Scavenging Activity) เช่น สารประกอบฟีนอลิก สาร Ergogthioneine และแซคคาไรด์ เป็นต้น (กมลทิพย์ กรรไพเราะ และคณะ, 2565) ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ที่ช่วยชะลอการเกิดโรคต่าง ๆ เนื่องจากอนุมูลอิสระเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายมนุษย์ และเกิดจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นพิษ เช่น ควันเสียจากเขม่า เครื่องยนต์ ควันบุหรี่ สารเคมีต่าง ๆ รังสี UV และจากการรับประทานอาหารปิ้งย่างที่ไหม้เกรียม ส่งผลให้เกิดการสะสมของอนุมูลอิสระในสิ่งมีชีวิตเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดภาวะที่เรียกว่า Oxidative stress ที่ส่งผลกระทบต่อเซลล์ เช่น เซลล์ถูกทำลาย เกิดการเสื่อมของเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการแก่ (Aging) และทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของดีเอ็นเอ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเยื่อหุ้มเซลล์ รุนแรงไปถึงการเกิดเป็นโรค เช่น โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น มนุษย์สามารถป้องกันการทำลายจากอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ (กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล, 2559) โดยในร่างกายจะมีการสร้างเอนไซม์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ เช่น Superoxide dismutase (SOD) และ Glutathione peroxidase (GPX) แต่การกำจัดอนุมูลอิสระด้วยเอนไซม์มักมีขีดจำกัด เช่น บางคนมีพันธุกรรมที่สามารถสร้างเอนไซม์ได้น้อย และเพิ่มความสามารถใน

การกำจัดอนุมูลอิสระได้โดยรับประทานอาหาร ผัก ผลไม้ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้า-แคโรทีน และแอนโทไซยานินแต่ยังไม่เพียงพอ (จักรพงษ์ ไพบูลย์, 2542)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลของสารที่สามารถจับตัวรับและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลอื่น ๆ ได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวเนื่องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ (โอภา วัชระคุปต์, 2550) ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่และทำลายเซลล์ของร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้ายุติปฏิกิริยาลูกโซ่เหล่านี้ด้วยการเข้าจับอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยถูกออกซิไดซ์ ดังนั้น สารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัวรีดิวซ์ สารต้านอนุมูลอิสระเป็นกลุ่มของสารอาหารที่มีมากมายหลายชนิด (พรทิพย์ วิรัชวงศ์, 2547) โดยในเห็ดนางฟ้าจะพบสารต้านอนุมูลอิสระ คือ 2-thiol-L-hitstidine-betaine (Ergothioneine) ที่เป็นมีส่วนช่วยในการต้านอนุมูลอิสระได้ ทำหน้าที่ในการช่วยป้องกันการหืนของไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารได้ด้วย (อรทัย จินตสถาพร และคณะ, 2561) ในกระบวนการทำผงโรยข้าวมีการนำเห็ดนางฟ้ามาผ่านกระบวนการทอดก่อนการนำไปอบแห้งไร้น้ำมัน ซึ่งการทอดอาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ที่เกิดจากน้ำมันที่หลงเหลือจากการทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ สูญเสียคุณค่าทางอาหาร และส่งผลเสียต่อสุขภาพผู้บริโภค (สมหวัง เล็กจริง และคณะ, 2563) ซึ่งจากรายงานสารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และน้ำมันได้ สอดคล้องกับรายงานของ อรทัย จินตสถาพร และคณะ (2561) นำสารสกัดเห็ดนางฟ้าที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ในการเก็บรักษาเนื้อไก่แสดงให้เห็นว่าสารสกัดเห็ดนางฟ้ามีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระป้องกันการเกิดเหม็นหืนของเนื้อไก่ เช่นเดียวกับ Bao et al. (2008) กล่าวว่า สารต้านอนุมูลอิสระในเห็ด คือ 2-thiol-L-hitstidine-betaine (Ergothioneine) ซึ่งช่วยป้องกันการหืนของไขมันและป้องกันการเปลี่ยนสีและคงสภาพของเนื้อวัวและเนื้อปลาทูที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำได้ ทั้งนี้ในการนำเห็ดนางฟ้ามาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวเพื่อช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเห็ดนางฟ้าอีกด้วย จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจนำเห็ดนางฟ้ามาศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวเห็ดนางฟ้าเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาผงโรยข้าวที่ใช้เห็ดนางฟ้าทดแทนเนื้อปลา
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกาย-ภาพเคมี ของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวที่ใช้เห็ดนางฟ้าทดแทนเนื้อปลา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วิธีการผลิตผงโรยข้าว

วิธีในการผลิตผงโรยข้าว ดัดแปลงจากสูตรของ รจนา นุชนุ่ม (2551) โดยนำส่วนผสม เนื้อปลาสลิดอบแห้ง งาขาว งาดำ ซีอิ๊วขาว น้ำตาลทราย เกลือ และสาหร่ายปรุงรส นำไปผสมกัน คลุกเคล้าให้เข้ากัน เกลี่ยใส่ถาดอบ ให้หนาประมาณ 1 เซนติเมตร อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ผสมสาหร่าย บรรจุในซองบรรจุภัณฑ์

2. ขั้นตอนการเตรียมเห็ดนางฟ้า

กรรมวิธีในเตรียมเห็ดนางฟ้าสำหรับทำผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว ดัดแปลงตามวิธีการของ จินดามณี แสงกาญจนวนิช (2549) โดยการฉีกเห็ดเป็นเส้นเล็ก ๆ นำไปล้าง พักให้สะเด็ดน้ำ นำไปทอดในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ด้วยหม้อทอดไฟฟ้า (ยี่ห้อ Otto) ก่อนเข้าอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที จนมีความชื้นสุดท้าย 14 เปอร์เซ็นต์ นำออกมาพักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดอาหารแห้ง (ยี่ห้อ Alexd) เป็นเวลา 15 นาที นำไปทำวิเคราะห์ความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระ (4.1.2 และ4.1.3 ตามลำดับ) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงโรย

3. ขั้นตอนการเตรียมปลาสลิด

นำปลาสลิดที่ผ่านกระบวนการแล่ล้างทำความสะอาดก่อนนำไปลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นำมาแกะและปั่นด้วยเครื่องปั่น (ยี่ห้อ Otto) ใช้กระดาษทิชชู่สำหรับซับอาหารซับน้ำออก และนำไปทอดในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ด้วยหม้อทอดไฟฟ้า (ยี่ห้อ Otto) ก่อนเข้าอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที จนมีความชื้นสุดท้าย 14 เปอร์เซ็นต์ (ดัดแปลงตามวิธีการของ จินดามณี แสงกาญจนวนิช, 2549) นำไปทำวิเคราะห์ความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระ (4.1.2 และ4.1.3 ตามลำดับ) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงโรย

4. ศึกษาอัตราส่วนของเห็ดนางฟ้าที่ทดแทนเนื้อปลา

ในการผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวที่มีส่วนผสมของเนื้อปลาสลิด ร้อยละ 58.35 (ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์) งาขาว และงาดำ ร้อยละ 9.73 ซีอิ๊วขาว ร้อยละ 7.78 น้ำตาลทรายแดง ร้อยละ 3.77 เกลือ ร้อยละ 1.89 และสาหร่ายอบแห้งปรุงรส ร้อยละ 0.97 (รจนา นุชนุ่ม, 2551) และอัตราส่วนทดแทนเห็ดนางฟ้าดังแสดงใน ตารางที่ 1 โดยมีวิธีการเตรียมผงโรยข้าว ตามวิธีการในข้อ 1 เมื่อได้ผลิตภัณฑ์นำไปวิเคราะห์คุณภาพ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของการทดแทนเห็ดนางฟ้าในผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว

สูตรที่	อัตราส่วนเห็ดนางฟ้า (ร้อยละ ของน้ำหนักปลา)
1	0
2	10
3	20
4	30

4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านกายภาพ

1) วิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างผงโรยข้าวมาทำการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน 30 คน ประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวม มีเกณฑ์การให้คะแนน คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 =ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบปานกลาง, 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย, 5 = เฉย, 6 = ชอบเล็กน้อย, 7 = ชอบปานกลาง, 8 = ชอบมาก และ 9 = ชอบมากที่สุด

2) วิเคราะห์ค่าความชื้น

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวทั้ง 4 สูตรมาทดสอบหาค่าความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น (รุ่น MB120; ยี่ห้อ OHAUS; ประเทศ สหรัฐอเมริกา) เตรียมตัวอย่างบดให้ละเอียดชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ภาชนะใส่ตัวอย่างแล้วนำไปใส่เครื่องอินฟาเรดเพื่อวัดค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวทำการวัด 6 ซ้ำ บันทึกผลเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3) วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวทั้ง 4 สูตรมาทดสอบหาค่าปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (รุ่น 4TE; ยี่ห้อ AquaLab; ประเทศ สหรัฐอเมริกา) เตรียมตัวอย่างบดให้ละเอียดใส่ภาชนะใส่ตัวอย่างแล้วนำไปใส่ไปใส่เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระบันทึกค่าที่ได้โดยทำการวัด 6 ซ้ำ

4) วิเคราะห์ค่าสี L* a* และ b*

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวทั้ง 4 สูตรมาทดสอบค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี Hunter Lap รุ่น Ultra-VIS ด้วยระบบ CIE ที่มีค่า L* a* และ b* เตรียมตัวอย่างบดให้ละเอียดใส่ภาชนะใส่ตัวอย่างแล้วนำไปใส่ไปใส่เครื่องวัดค่าสี (รุ่น UltraScan VIS; ยี่ห้อ HunterLab; ประเทศ สหรัฐอเมริกา) โดยทำการวัด 6 ซ้ำ บันทึกค่าที่ได้

5) วิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value; PV.) ชั่งตัวอย่าง 5±0.05 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flaskขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายผสมอะซิติก : คลอโรฟอร์ม (3 : 2) 30 มิลลิลิตรเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาที ในที่มืด และเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนและเติมสารละลายน้ำแป้งความเข้มข้น 1% 2 มิลลิลิตร และไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหายบันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตทำ blank ตามวิธีเดียวกบที่กล่าวมาข้างต้นแต่ไม่ใส่ตัวอย่าง คำนวณค่าเพอร์ออกไซด์ (AOAC, 2002)

$$\text{P.V. (milliequivalent peroxide/1000 g)} = \frac{(S-B)xNx1000}{\text{Mass sample (g)}} \quad (1)$$

เมื่อ S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร); B = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร); N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มอล)

6) วิเคราะห์ค่า Acid value (A.V.) ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรด (Acid Value) ด้วยวิธี AOCS (2009) โดยชั่งไขมันตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask เติม Solvent Mixture ปริมาตร 125 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง หยด Phenolphthalein ลงไปในสารละลายนำไปไทเทรตกับ KOH 0.1 นอร์มัล จนถึงจุดยุติ (จุดยุติเป็นสีชมพูนาน 30 วินาที) นำสารละลาย Blank มาไตเตรทกับ KOH 0.1 นอร์มัล จนถึงจุดยุติ คำนวณหาค่าปริมาณกรด (AOAC, 2002) จากนั้นคำนวณผลจากสูตร

$$\text{mg KOH/g of sample} = ((A-B) \times N \times 56.1)/W \quad (2)$$

เมื่อ A = ปริมาตรของ KOH 0.1 N ที่ใช้ในการไตเตรทกับตัวอย่าง (mL); B = ปริมาตรของ KOH 0.1 N ที่ใช้ในการไตเตรทกับสารละลาย Blank (mL); N = ความเข้มข้นของ KOH (Normality); W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม); 56.1 = มวลโมเลกุลของ KOH

4.2 คัดเลือกสูตรที่เหมาะสมจากข้อมูลคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากหัวข้อ 4.1 เพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังต่อไปนี้

1) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน โดยวิธี Kjeldahl method ปริมาณไขมัน โดยวิธี Soxhlet ปริมาณเยื่อใย ปริมาณเถ้า วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

2) วิเคราะห์ปริมาณฤทธิ์การยับยั้งการต้านอนุมูลอิสระของผงโรยข้าวผงโรยข้าวจากเห็ดนางฟ้านำตัวอย่างผงโรยข้าวที่ผ่านการสกัดเป็นสารละลายมาละลายด้วยเอทานอลให้มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ด้วยวิธี DPPH assay ด้วยการเติมสารละลาย 100 ไมโครลิตร เจือจางสารสกัดแบบอนุกรม 2 เท่า ด้วยเอทานอลในเติมอนุมูล DPPH เข้มข้น 1.2 มิลลิโมลาร์ ที่ละลายในเอทานอล 100 ไมโครลิตร โดยที่ตัวควบคุมสีจะเติมเอทานอลลงไปแทน DPPH และตัวควบคุม DPPH จะเติมเอทานอลลงไปแทนสารสกัด นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัด (ODE) ตัวควบคุมสี (ODC) และ DPPH (ODDPPH) โดยใช้วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกเป็นตัวควบคุมเชิงบวก นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าการทำลายอนุมูลอิสระ (Radical scavenging, RD) ดังสมการที่ 1 แล้วนำไปคำนวณค่าความเข้มข้นในการยับยั้ง 50 เปอร์เซ็นต์ (IC50) ด้วยสมการดังต่อไปนี้ (Ritz et al., 2016)

$$RD\ (\%) = \{[ODDPPH - (ODE - ODC)] \div ODDPPH\} \times 100 \quad (3)$$

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลของผงโรยข้าวผงโรยข้าวจากเห็ดนางฟ้า นำตัวอย่างผงโรยข้าวที่ผ่านการสกัดเป็นสารละลายมาละลายด้วย 10 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลให้มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม (total phenolic content, TPC) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu โดยใช้สารละลายตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร นำสารสกัดมาเจือจางแบบอนุกรม 2 เท่า ด้วยเอทานอลเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เติม Folin Ciocalteu reagent ที่เจือจาง 5 เท่า 100 ไมโครลิตร นำไปเขย่า 1 นาที และบ่มต่อเป็นเวลา 4 นาที แล้วเติมโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ 75 ไมโครลิตร นำไปเขย่าและบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นวัด ค่าการดูดกลืนแสงด้วยด้วยเครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร และนำค่าความชัน (SE) ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเปรียบ เทียบกับความชันของกราฟจากสารมาตรฐานกรดแกลลิค (SGA) เพื่อคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม (Gallic acid equivalent, GAE) ดังสมการที่ 2 (Ritz et al., 2016)

$$TPC\ (mg\ GAE/gextract) = (SE/SGA) \times 1{,}000 \quad (4)$$

4.3 การวิเคราะห์ทางด้านสถิติ

ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่าง 2 วิธีการ ด้วยวิธี Independent T- test (Keppel, 1982)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture content) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity; a_w) ของเห็ดนางฟ้า และปลาสลิด ที่ผ่านกระบวนการทอดและอบแห้ง

จากผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น และค่าปริมาณน้ำอิสระของเห็ดนางฟ้า และปลาสลิดที่ผ่านกระบวนการทอดและอบแห้ง โดยทอดในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ด้วยหม้อทอดไฟฟ้า อบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที พบว่า ความชื้นของทั้ง 2 ตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 14.20±0.11 และ14.11±0.05 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับค่าปริมาณน้ำอิสระของทั้ง 2 ตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากกระบวนการทอดเป็นกระบวนการทำแห้งด้วยการระเหยน้ำออกจากตัวผลิตภัณฑ์ทำให้น้ำในอาหารลดลง (Chinnasarn, 2009; Sirilert & Silalai, 2016; กมลทิพย์ กรรไพเราะ และคณะ, 2565) จึงส่งผลให้ความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ลงลงไปจนถึงระดับที่ตามเกณฑ์มาตรฐานของ มผช. อาหารแห้งได้ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture content) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity; aw) ของเห็ดนางฟ้า และปลาสลิดที่ผ่านกระบวนการทอดและอบแห้ง

องค์ประกอบทางเคมี	ตัวอย่าง	
	ค่าความชื้น^{ns}	ค่าปริมาณน้ำอิสระ^{ns}
เห็ดนางฟ้า	14.20±0.11	0.45±0.02
ปลาสลิด	14.11±0.05	0.43±0.01

หมายเหตุ ^{ns} แสดงไม่มีความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

2. ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากเห็ดนางฟ้า

ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากเห็ดนางฟ้าทดแทนเนื้อปลาอัตราส่วน ร้อยละ 0 10 20 และ 30 ด้วยวิธี 9-Point Hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน 30 คน พบว่า ผงโรยข้าวอัตราส่วนร้อยละ 30 มีคะแนนการยอมรับด้าน สี กลิ่น และความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.53±0.15 8.21±0.20 และ

7.83±0.11 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าคะแนนการยอมรับด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด เนื่องจากในผงโรยข้าวมีปริมาณของเห็ดนางฟ้าสูงกว่าสูตรทดแทนอื่น ๆ จึงทำให้สีของผงโรยข้าวมีสีตามลักษณะของเห็ดนางฟ้าที่ผ่านกระบวนการทอดและอบแห้งจนทำให้มีลักษณะเหลืองปนน้ำตาล นอกจากนี้ในเห็ดนางฟ้ายังมีส่วนประกอบที่เป็นน้ำตาลรีดิวซิ่งปริมาณมาก ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดแบบ Non-enzyme browning โดยกรดอะมิโนหรือกลุ่มกรดอะมิโนของโปรตีนและเปปไทด์ทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ซิ่ง (กลูโคสหรือฟรุกโตส) ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าจะเกิดได้มากเมื่อใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสขึ้นไป (Sirilert & Silalai, 2016) นอกจากนี้กระบวนการทอดและการอบแห้งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นหอมที่เกิดจากกลิ่นของเห็ดและมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบของเห็ดทอดจึงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด เพราะกระบวนการทอดเป็นกระบวนการทำแห้งด้วยการระเหยน้ำออกจากตัวผลิตภัณฑ์ทำให้น้ำในอาหารลดลง (Chinnasarn, 2009; Sirilert & Silalai, 2016) และผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากขึ้นจึงส่งผลให้ผู้บริโภค (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากเห็ดนางฟ้า

อัตราส่วน (ร้อยละ)	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	7.03±0.16^{b}	6.60±0.24^{d}	7.73±0.12^{a}	7.16±0.18^{b}	7.13±0.09^{b}
10	7.30±0.17^{b}	7.33±0.10^{b}	7.20±0.20^{b}	7.56±0.17^{a}	7.63±0.12^{b}
20	7.13±0.20^{b}	7.03±0.13^{c}	6.73±0.22^{c}	6.66±0.23^{c}	7.06±0.23^{c}
30	7.53±0.15^{a}	8.21±0.20^{a}	7.30±0.19^{b}	7.60±0.17^{a}	7.83±0.11^{a}

หมายเหตุ $^{a, b, c, d}$ แสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. ผลการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* a* และ b* ของผงโรยข้าวจากเห็ดนางฟ้า

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* a* และ b* ผงโรยข้าวจากเห็ดในอัตราส่วนทดแทนร้อยละ 0 10 20 และ 30 พบว่า ผลิตภัณฑ์ผงโรยผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากเห็ดนางฟ้าสูตรควบคุม และอัตราส่วนทดแทนร้อยละ 10 มีค่าสี L* (ความสว่าง) สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 34.72±0.4 และ 31.61±1.46 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวสูตรควบคุม มีค่าสี a* (ความเป็นสีแดง) และ b* (ความเป็นสีเหลือง) สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.39±0.07 และ 6.31±0.18 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรทดแทน ร้อยละ 10 20 และ 30 เนื่องจากเนื้อปลาที่เติมในสูตรควบคุมมีแนวโน้มเป็นสีน้ำตาลแดงจึงทำให้มีค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองสูง และผงโรยข้าวสูตรทดแทน ร้อยละ 30 มีค่าความสว่างสูงกว่าสูตรทดแทนอื่น ๆ เนื่องจากมีสัดส่วนของเห็ดนางฟ้าทอดกรอบที่มีแนวโน้มเป็นสีน้ำตาลเข้มในระดับต่ำสุดจึงส่งผลให้มีค่าความสว่างของสูตรทดแทน ร้อยละ 30 มีค่าสูง

กว่าสูตรทดแทน ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าสีของสูตร ร้อยละ 0 และ 10 มีค่าความสว่างที่ต่างเนื่องจากการทดแทนเห็ดนางฟ้าเข้าไปแทนที่เนื้อปลาโดยที่เห็ดมีสีเป็นสีน้ำตาลจากการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์จนทำให้ลักษณะของผงโรยข้าวมีสีเข้มและคล้ำกว่าสูตร ร้อยละ 0 (ภาพที่ 1)

ตารางที่ 4 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* a* และ b* ของผงโรยข้าวทดแทนเห็ดนางฟ้า ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30

อัตราส่วน (ร้อยละ)	คุณลักษณะด้านสี		
	L^*	a^*	b^*
0	38.44 ± 1.10^a	5.11 ± 1.07^a	7.69 ± 1.11^a
10	25.33 ± 1.08^c	1.68 ± 1.12^c	1.98 ± 1.01^c
20	25.57 ± 1.11^c	1.71 ± 1.05^c	1.75 ± 1.02^c
30	28.68 ± 1.01^b	2.63 ± 1.09^b	3.25 ± 1.05^b

หมายเหตุ $^{a, b, c}$ แสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$); L* (ค่าความสว่าง); a* (ค่าความเป็นสีแดง); b* (ค่าความเป็นสีเหลือง)

ร้อยละ 0 **ร้อยละ 10** **ร้อยละ 20** **ร้อยละ 30**

ภาพที่ 1 ลักษณะของผงโรยข้าวทดแทนเห็ดนางฟ้า อัตราส่วน ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30

2. ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น และปริมาณน้ำอิสระของผงโรยข้าวทดแทนเห็ดนางฟ้า

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และน้ำอิสระผงโรยข้าวจากเห็ดนางฟ้า ในอัตราส่วนทดแทน ร้อยละ 10, 20 และ 30 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่า ผลิตภัณฑ์ผงโรยสูตรทดแทนทั้ง 3 สูตร ไม่มีความมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 11.83±0.17 11.40±0.46 และ 11.15±0.31 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ผงโรย พบว่า สูตรทดแทนร้อยละ 30 มีค่า a_w เท่ากับ 0.44±0.11 มีค่าสูงกว่าสูตรทดแทนร้อยละ 10 และ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่า สูตรควบคุมมีค่า a_w สูงกว่าสูตรทดแทน (เท่ากับ 0.50±0.15) ($p>0.05$) เนื่องจากเนื้อปลามีองค์ประกอบของโปรตีนไมโอไฟบริล ซึ่งได้แก่ ไมโอซิน (Myosin) และแอคติน (Actin) ที่มีความสามารถในการละลายน้ำ และอุ้มน้ำได้

แม้ว่าจะผ่านการทำแห้งมาแล้วแต่ยังสามารถอุ้มน้ำได้อยู่บ้างจึงส่งผลให้มีปริมาณความชื้น และน้ำอิสระสูงกว่าผงโรยข้าวที่มีส่วนผสมของเห็ดนางฟ้าเล็กน้อย นอกจากนี้เนื้อปลาแห้ง (ความชื้นเนื้อปลาสลิดเท่ากับ 83.72±0.12) ยากกว่าเห็ดนางฟ้า (72.43±0.24) เพราะเนื้อปลามีการเกิดเจลและมีการอุ้มน้ำไว้ภายในโครงสร้าง จึงทำให้มีความชื้นสูงกว่าเห็ด (อรทัย เปี่ยมปรีดา และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร, 2546) และจากการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (PV.) และค่าแอซิด (AV.) ของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวทั้ง 4 สูตร พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่า P.V มีค่าอยู่ในช่วง 2.07 – 2.18 mequiv./kg และ ค่า AV. มีค่าอยู่ในช่วง 1.15 - 1.36 mg KOH.g^{-1} เนื่องจากวัตถุดิบทุกอย่างที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จะผ่านกระบวนการคั่ว และอบแห้ง ซึ่งไม่ได้การทอดถึงแม้ว่างาขาวที่มีการเติมเข้าไปจะมีองค์ประกอบของน้ำมันแต่ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวมีค่า PV. และค่า AV. ต่ำ เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกเก็บรักษาไว้ในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถชะลอการซึมผ่านของไอน้ำและความชื้นได้ดีจะไม่ส่งผลให้ไขมันที่อยู่ภายในส่วนผสมของผงโรยข้าวเกิดการสัมผัสกับอากาศที่จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนที่เป็นกลิ่นไม่พึงประสงค์สำหรับผู้บริโภคได้ (Pearson, 1999) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมี-กายภาพของผงโรยข้าวทดแทนเห็ดนางฟ้า ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30

อัตราส่วน (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity; a_w)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value; PV.) (mequiv./kg)^{ns}	ค่า Acid value; (AV.) (mg KOH.g^{-1}) ^{ns}
0	12.68±0.11^{a}	0.50±0.15^{a}	2.15±0.18	1.15±0.09
10	11.83±0.17^{b}	0.40±0.01^{d}	2.07±0.08	1.26±0.14
20	11.40±0.46^{b}	0.42±0.05^{c}	2.11±0.14	1.31±0.18
30	11.15±0.31^{b}	0.44±0.11^{b}	2.18±0.11	1.36±0.11

หมายเหตุ $^{a, b, c, d}$ แสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

^{ns} แสดงไม่มีความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

3.3 ผลการทดสอบองค์ประกอบทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวทดแทนเห็ดนางฟ้าร้อยละ 30 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุม (Control)

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากเห็ดนางฟ้าร้อยละ 30 เปรียบเทียบกับผงโรยข้าวชุดควบคุม โดยคัดเลือกสูตรทดแทนร้อยละ 30 จากการยอมรับของผู้บริโภค และค่าสีของผลิตภัณฑ์เพื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่า ผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวสูตรทดแทนเห็ดนางฟ้า ร้อยละ 30 มีปริมาณโปรตีน เถ้า และเยื่อใย เท่ากับร้อยละ 8.47±0.23 3.43±0.21 และ 5.43±0.21 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวชุดควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวสูตรทดแทน ร้อยละ 30 มีปริมาณไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 2.88±0.18 และ 67.52±0.19 โดยมีปริมาณต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวสูตรควบคุม และมีความแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเห็ดนางฟ้าเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณโปรตีน และใยอาหารสูง และปริมาณไขมันต่ำ (ตารางที่ 5) (สถิตพงษ์ มั่นหลำ และคณะ, 2559) เมื่อนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว จึงส่งผลให้สารอาหารจำพวกโปรตีน ใยอาหาร และเถ้า มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตรควบคุม สอดคล้องกับรายงานของ นิตยา ภูงาม และคณะ (2564) ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้อั่วกบเสริมเห็ดนางฟ้าร้อยละ 75 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไส้อั่วมีแนวโน้มปริมาณโปรตีน และเยื่อใย สูงกว่าสูตรควบคุม และมีปริมาณไขมันต่ำกว่าสูตรควบคุม ควบคุม และจากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (AO) พบว่า ในผงโรยข้าวจากเห็ดนางฟ้าร้อยละ 30 มีค่า TPC และ AO เท่ากับ 2079±0.15 มิลลิกรัม/กรัม และ ร้อยละ 60.11±0.11 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าผงโรยข้าวสูตรควบคุม ที่มีค่า TPC และ AO เท่ากับ 1015±0.11 มิลลิกรัม/กรัม และ ร้อยละ 56.42±0.11 ตามลำดับ เนื่องจากในเห็ดนางฟ้าที่ยังไม่ผ่านการแปรรูปมี ค่า TPC และ AO เท่ากับ 1333±0.89 มิลลิกรัม/กรัม และ ร้อยละ 54.98±0.32 (กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล, 2559) ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวที่มีการเติมส่วนผสมอื่น ๆ ร่วมด้วย ได้แก่ งาขาว และสาหร่าย เป็นต้น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มของปริมาณ TPC และ AO สูงขึ้นตามไปด้วย (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของผงโรยข้าวทดแทนเห็ดนางฟ้า ร้อยละ 30 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control)

องค์ประกอบทางเคมี	ชุดควบคุม (Control)	ผงโรยข้าวทดแทนเห็ดนางฟ้า ร้อยละ 30
ความชื้น (%)	12.35±0.19[a]	11.27±0.11[a]
ไขมัน (%)	3.18±0.24[a]	2.88±0.18[b]
โปรตีน (%)	6.58±0.17[b]	8.47±0.23[a]
เถ้า (%)	2.65±0.31[b]	3.43±0.21[a]
เยื่อใย (%)	3.41±0.20[b]	5.43±0.21[a]
คาร์โบไฮเดรต (%)	71.83±0.25[a]	67.52±0.19[b]
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) (mg/g)	1015±0.11[b]	2079±0.15[a]
สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (AO) (%)	56.42±0.11[b]	60.11±0.11[a]

หมายเหตุ [a, b] แสดงความแตกต่างในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($p \leq 0.05$); ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds, TPC), สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity; AO) (%ABTS)

สรุป

จากการศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวจากเห็ดนางฟ้า แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวที่ผ่านการทดแทนด้วยเห็ดนางฟ้า ร้อยละ 30 มีค่าความชื้น และค่าน้ำอิสระ (a_w) ที่ต่ำกว่าสูตรควบคุมเล็กน้อย ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชื้น และค่า a_w มาตรฐานของผงโรยข้าวทั่วไป และผงโรยข้าวมีค่า P.V และ A.V ในระดับต่ำ รวมทั้งผงโรยข้าวที่ทดแทนเห็ดนางฟ้า ร้อยละ 30 มีปริมาณโปรตีน เถ้า เยื่อใย ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (AO) สูงกว่าสูตรควบคุม สารต้านอนุมูลอิสระมีส่วนช่วยให้ผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวมีกลิ่นเหม็นหื่นช้าลง ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าการทดแทนเห็ดนางฟ้าจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้นทำให้มีประโยชน์ต่อผู้บริโภค

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางการวิจัยต่อไปโดยการนำเห็ดชนิดอื่น ๆ มาพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าทางการตลาดให้กับเห็ด และลดปัญหาการล้นตลาดของเห็ดได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สำหรับห้องปฏิบัติการในการทำการทดลองครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางด้านเทคโนโลยีการอาหาร และเคมีอาหาร ทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานทดลองจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2559). **การศึกษาปริมาณสารพฤกษเคมีที่สำคัญต่อสุขภาพจากเส้นใยของเห็ดที่เพาะเชิง การค้าและการนำเส้นใยผงไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร**. (รายงานการวิจัย). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

กมลทิพย์ กรรไพเราะ, นิภาภัทร์ กุณฑล, ภัทรวดี เอียดเต็ม, ภารดี พละไชย, ซุไรดา มะ, และรอฮานี มะเซ็ง. (2565). ผลของปัจจัยในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของเห็ดนางฟ้าทอดปรุงรส. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 27(1), 345-360.

จินดามณี แสงกาญจนวนิช. (2549). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดนางฟ้ากรอบ** (รายงานการวิจัย). อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

จักรพงษ์ ไพบูลย์. (2542). **สารต้านอนุมูลอิสระ Antioxidant**. สืบค้นจาก http://www.thaiclinic.com/antioxidant.html

นพรัตน์ มะเห, ดลฤดี พิชัยรัตน์, และนัฏฐา คเชนทร์ภักดี. (2561). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว (ฟูริคาเกะ) จากหนังปลากะพงขาวทอดกรอบ** (รายงานการวิจัย). นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

นิตยา ภูงาม, ณัฏวลิณคล เศรษฐปราโมทย์, ไกรวิชญ์ ใหมคำมูล, และวณิดา ยินดีรัมย์. (2564). ผลการทดแทนเห็ดนางฟ้าต่อคุณภาพทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ไส้อั่วกบ. **วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี**, 2(1), 63-71.

พรทิพย์ วิรัชวงศ์. (2547). **อนุมูลอิสระ (Free Radicals)/สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)**. สืบค้นจาก http://www.gpo.or.th/rdi/htuml/antioxidants.html

รจนา นุชนุ่ม. (2551). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าว (ฟูริคาเกะ) จากปลาสลิด**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สถิตย์พงษ์ มั่นหลำ, สุวัฒน์ จันทรีย์, และกรรณิการ์ กุลยะณี. (2559). การผลิตไส้อั่วเห็ดนางฟ้าภูฏานเสริมใยเปลือกส้มโอ. **วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี**, 10(2), 103-113.

สุรีวรรณ ราชสม, ณัฐวิภา สีลำ, และสุทธิดา ทากอนแก้ว. (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงปรุงรสและผงโรยข้าวจากถั่วเหลืองหมักพื้นบ้าน. **วารสารวิชาการและวิจัยมทร.พระนคร**, 14(2), 33-46.

สมหวัง เล็กจริง, ชูขวัญ เตชกานนท์, นิฤมล กลัดบุบผา และปารมี หนูนิ่ม. (2563). ผลของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อคณภาพของไข่แดงเค็มผง. **แก่นเกษตร**, 48(1), 607-614.

อรทัย เปี่ยมปรีดา และจิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร. (2546). การผลิตลูกชินปลาจากเนื้อปลาสองชนิด. **อาหาร**, 33(1), 36-44.

อรทัย จินตสถาพร, เสาวนิต วุฒิไกรรัตน์, ศศิธร นาคทอง, และอรรถวุฒิ พลายบุญ. (2561). **อิทธิพลของสารต้านอนุมูลอิสระจากเห็ดนางฟ้าต่อการถนอมคุณภาพเนื้อไก่**. การประชุมวิชาการแห่งชาติ, 6-7 ธันวาคม 2561 ณ อาคารศูนย์เรียนรวม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

โอภา วัชระคุปต์. (2550). **สารต้านอนุมูลอิสระ (RADICAL SCAVENGING AGENTS)**. กรุงเทพฯ: พี.เอส.พริ้นท์.

AOAC. (2000). **The Official Methods of Analysis of AOAC International**. 15th ed. USA. AOAC International, Maryland.

AOAC. (2002). **The Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th ed. USA. AOAC International, Maryland.

AOCS. (2009). **Official methods and recommended practices of the american oil chemists' society**. 6th ed. USA.

Chinnasarn, S. (2009). Oil Uptake in Deep-Fat Frying Process. **Burapha Science Journal**, 14(2), 138-146.

Daisho (Thailand). 2023. **Furikake**. Retrieved from https://daishothai.com/th/knowledge/page/2/

Ferreira, I.C.F.R., Vaz, J.A., Vasconcelos, M.A., & Martins, A. (2010). Compounds from wild mushrooms with antitumor potential. **Anti-Cancer Agent**, 10, 424-436.

Keppel, G. (1982). **Design and Analysis.** USA Press: W. H. Freeman.

Pearson, D. (1999). **The Chemical Analysis of Food**. 7th ed. New York: Churchill Livingstone.

Ritz, C., Baty, F., Streibig, J.C., & Gerhard, D. (2016). Dose-response analysis using. **Public Library of Science**, 10(12), 14-21.

Sirilert, T., & Silalai, N. (2016) . Effect of pre-frying treatments on moisture content, effective moisture diffusivity and oil uptake content of deep-fat fried shitake mushrooms (Lentinus edodes). **Journal of Food Technology, Siam University**, 11(1), 57-66.

Yuenyongbuddhakan, W., & Limrungruangrat, K. (2015). **Study of phytonutrients content from mycelia of commercially mushrooms and application of mushroom micelia powder used in food product**. (Research report). Chonburi: Burapha University.