

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดเพื่อสุขภาพที่มีส่วนผสมของข้าวเจ้าหลากสี

Development of Healthy Fermented Mushroom Products with Colored Rice

อมรรัตน์ โมรราราช¹ และ ศุภฤชญา เหมะธูลิน^{2*}

Amonrut Morarach¹ and Sukrichaya Hemathulin^{2*}

¹สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

²สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

²Department of Food Science and Technology, Faculty of Natural Resources,

Rajamangala University of Technology ISan, Sakon Nakhon Campus

*E-mail: sukrichaya@hotmail.com

Received: Aug 05, 2021

Revised: Nov 20, 2021

Accepted: Feb 02, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเห็ดเพื่อสุขภาพ โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเห็ดที่ใช้ในการผลิต 3 ชนิด ได้แก่ เห็ดนางรม เห็ดขอนขาว และเห็ดหูหนู วางแผนการทดลองแบบ Mixture design เพื่อเลือกสูตรเห็ดที่ให้คุณภาพดีที่สุดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้วยการใช้ข้าวเจ้าหลากสี 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ไรสเบอร์รี่ หอมนิล มันทูสีชมพู และสังข์หยด ทดแทนข้าวหอมมะลิ 105 พบว่าเห็ดที่ข้าวไรสเบอร์รี่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ 672.17 mg GAE/100g และ 1,389.58 mg ascorbic acid/100g ทั้งนี้พบว่าเห็ดข้าวหอมนิล และเห็ดข้าวไรสเบอร์รี่ให้ค่า EC₅₀ สูงสุด คือ 173.52 และ 154.18 g/ml ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเห็ดที่มีส่วนผสมของข้าวไรสเบอร์รี่ให้ปริมาณสาร ฟีนอลิก catechin, myricetin, syringic และ P-coumaric สูงที่สุด เท่ากับ 216.15, 136.95, 315.82 และ 370.86 µg/g ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวหอมนิลให้ปริมาณฟีนอลิก catechin, myricetin และ P-Coumaric เท่ากับ 194.18, 122.17 และ 373.31 µg/g ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) กับข้าวไรสเบอร์รี่

คำสำคัญ: เห็ด เห็ดเห็ด ข้าวเจ้าหลากสี สารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The objective of this research was to develop healthy fermented mushrooms. Optimum ratios of 3 types of mushrooms (oyster mushrooms, log white fungi, and jelly ear mushrooms) for the production of fermented mushrooms were studied. A mixture design of experiment was planned to select the best quality and acceptable fermented mushrooms from consumers. To increase nutritional value, 4 varieties of color rice including Rice berry, Hom nin rice, Sangyod rice, and Red cargo rice were used to replace Jasmine rice 105. It was found that fermented mushrooms with Rice berry contained the highest levels of total phenolic compounds and antioxidant activity at 672.17 mg GAE/100g and 1,389.58 mg ascorbic acid/100g, respectively. It was also found that fermented mushroom with Hom nin rice and Rice berry had the highest EC₅₀ of 173.52 and 154.18 g/ml, respectively. Moreover, fermented

mushrooms containing Rice berry had the highest levels of phenolic compounds catechin, myricetin, syringic and P-coumaric standard at 216.15, 136.95, 315.82, and 370.86 $\mu\text{g/g}$. On the other hand, fermented mushrooms with Hom nin rice contained catechin, myricetin, and P-Coumaric of 194.18, 122.17, and 373.31 $\mu\text{g/g}$, respectively. They were not statistically significant ($P>0.05$) from fermented mushrooms with Rice berry.

Keywords: Mushroom, Fermented mushroom, Colored rice, Phenolic compound, Antioxidant activity

1. บทนำ

วัตถุดิบจากผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่มีอายุการเก็บสั้น โดยสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ ดังนั้นหลักในการยืดอายุการเก็บและการแปรรูปอาหารต้องยับยั้งหรือชะลอการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว โดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ ปริมาณน้ำในอาหาร ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ต้องควบคุมในกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาเพื่อให้อาหารมีอายุการเก็บหรือใช้ประโยชน์ได้นานขึ้น การหมักเป็นกระบวนการแปรรูป โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ปรับสภาวะของอาหารให้เหมาะกับการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการแต่ไม่เหมาะสมกับการเจริญและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ชนิดที่เป็นอันตรายและชนิดที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย และยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสหรือลักษณะที่ต้องการ [1] ตัวอย่างการหมักผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และสัตว์น้ำ เช่น ไส้กรอกอีสาน แหนม ปลาร้า น้ำปลา และน้ำบูดู โดยเชื้อแบคทีเรียจะทำหน้าที่เปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็นกรดแลคติก (lactic acid) ซึ่งจะทำให้อาหารมีรสเปรี้ยวและความเป็นกรดเพิ่มขึ้นไม่เหมาะกับการเจริญและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ชนิดอื่น ทั้งที่เป็นอันตรายและทำให้อาหารเน่าเสีย ทั้งนี้ความเข้มข้นของกรดแลคติกที่เกิดขึ้น ประมาณ 0.8 – 1.2 % ในการหมักอาจมีการเติมดินประสิวหรือสารประกอบไนไตรท์และไนเตรท เพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียคลอสตริเดียม และมีการเติมเครื่องเทศเพื่อเพิ่มกลิ่นรส กระบวนการหมักทำให้เกิดกรดแลคติกมักทำให้อาหารอยู่ในสภาพที่ไม่มีอากาศหรือมีน้อย เช่น การหมักด้วยใบตองหรือ พลาสติคให้แน่นในการทำแหนม การปิดฝาภาชนะบรรจุ เช่น โห้ โอ่ง ถึงขั้นหมักในระหว่างการทำน้ำปลา เป็นต้น เพื่อให้แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกเจริญได้ดี ผลิตภัณฑ์จากผักและผลไม้ เช่น ผักและผลไม้ดอง ได้จากการหมักในน้ำเกลือความเข้มข้นประมาณ 2.5–6 % เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ที่ติดมากับผลิตผลทางการเกษตรสร้างกรดแลคติก

จนได้ความเข้มข้นของกรดแลคติกภายหลังกระบวนการหมักประมาณ 1 % เพื่อจัดเป็นอาหารมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี เนื่องจากมีโปรตีนสูง (19-35 %) แต่มีไขมันในปริมาณต่ำ มีคาร์โบไฮเดรต (51-88 %) และใยอาหาร (4-20 %) ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังพบวิตามิน บี 1 (thiamin) วิตามิน บี 2 (riboflavin) วิตามิน ซี (ascorbic acid) รวมทั้งวิตามิน ดี 2 (ergocalciferol) และเกลือแร่อีกด้วย นอกจากนี้เห็ดยังมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย เช่น ช่วยเพิ่มการเรียนรู้และความจำของสมอง บำรุงผิวพรรณ ด้านเนื้องอก ด้านมะเร็ง ด้านไวรัส ด้านออกซิเดชัน และลดระดับไขมันในเลือด เป็นต้น [2], [3], [4], [5], [6], [7] การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเห็ดใช้ข้าวเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ ตลอดจนเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่ผลิตภัณฑ์ขนมเห็ด ซึ่งข้าวเป็นแหล่งธัญพืช (*Oryza sativa* L.) ที่มีความสำคัญจัดเป็นอาหารหลักของประชากรโลกส่วนใหญ่ในประเทศที่กำลังพัฒนา โดยเฉพาะในเอเชีย เนื่องจากคนเอเชียรับประทานข้าวเป็นอาหารและเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตหลักเกือบร้อยละ 95 ของผลผลิตข้าวที่ปลูกในประเทศแถบเอเชีย [8] นอกจากนี้ ข้าวถือเป็นสินค้าเกษตรที่มีการผลิตมากเป็นอันดับสามของโลก รองจากอ้อยและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตามข้อมูลจาก FAOSTAT ในปี 2017 ข้าวเต็มเมล็ดจะประกอบด้วยโครงสร้าง 3 ส่วน ได้แก่ ข้าวขาว (ร้อยละ 70) เปลือกข้าว (ร้อยละ 20) และรำข้าว (ร้อยละ 10) [9] ในขณะที่ส่วนของรำข้าวประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร เถ้า ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ [10] และรำข้าวยังเป็นแหล่งร่วมของสารฟอสเฟตและสารต้านออกซิเดชันมากมาย เช่น สารออร์ซานอล (oryzanols) วิตามินอี (tocopherols) ไฟโตสเตอรอล (phytosterols) โทโคโทอินอล (tocotrienols) สควอลีน (squalene) โพลีโคซานอล (polycosanols) กรดไฟติก (phytic acid) กรดเฟอร์ราลิก (ferulic acid) อินโนซิทอล (inositol) เฮกซะฟอสเฟส (hexaphosphate) [11] สารฟอสเฟตเหล่านี้จะ

ถูกสะสมอยู่ในส่วนของชั้นเพอริคาร์พและเอด์หรือชั้นรำของเมล็ดข้าวทำให้รำข้าวได้รับการยอมรับว่าเป็นแหล่งของสารอาหารและมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี โดยมีงานวิจัยรองรับว่ารำข้าวเป็นแหล่งของ bioactive components ที่จำเป็นโดยสามารถป้องกันหรือต้านโรคร้ายแรงได้หลายโรค ได้แก่ โรคหัวใจ โรคกระเพาะลำไส้ และโรคที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัส ตลอดจนช่วยคงระดับของน้ำตาลในเลือดและระบบเมตาบอลิซึมของคอเลสเตอรอล [12] พบงานวิจัยสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) ในรำข้าวมีคุณสมบัติเป็นสารไบโอแอคทีฟในการต้านออกซิเดชัน (antioxidative) ด้านการกลายพันธุ์ของเซลล์ (antimutagenic) และต้านมะเร็ง (anticarcinogenic) ด้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial) และด้านการอักเสบ (anti-inflammatory) [13], [14] นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้ยังสามารถป้องกันโรคบางชนิดได้ เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจ และโรคกระเพาะ [15] ทั้งนี้พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกในรำข้าวออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกอิสระ (free phenolics) มีคุณสมบัติละลายน้ำ สามารถสกัดออกจากรำข้าวได้ง่าย และสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่อิสระโดยจับกับสารอื่นอยู่อย่างเหนียวแน่น (bound phenolics) โดยสร้างพันธะโควาเลนต์กับองค์ประกอบในผนังเซลล์ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน ลิกนิน โปรตีนโครงสร้าง เป็นต้น ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้โดยมากกว่าร้อยละ 70 ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเป็นชนิด bound phenolics ทั้งนี้สารประกอบฟีนอลิกชนิด bound phenolics ในพืชไม่สามารถสกัดออกได้โดยใช้สารสกัดอินทรีย์ทั่วไป [16] นอกจากสารประกอบฟีนอลิกแล้ว รำข้าวยังเป็นแหล่งของโปรตีนจากธรรมชาติ [17] โดยพบโปรตีนในรำข้าวสูงอยู่ในช่วง ร้อยละ 11-15 โดยน้ำหนัก [18] โปรตีนเหล่านี้ไม่ใช่องค์ประกอบหลักในรำข้าวมักพบว่ามีเชื่อมต่อกับองค์ประกอบอื่นในผนังเซลล์หรือเมล็ดในส่วนของคาร์โบไฮเดรต [19] โปรตีนรำข้าวเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง โดยมีคุณสมบัติโดดเด่นในการเป็นสารต้านภูมิแพ้ (hypoallergenic property) ซึ่งเหมาะกับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเด็ก [18] นอกจากนี้โปรตีนรำข้าวสามารถนำมาย่อยด้วยเอนไซม์โปรตีเอส จนได้เป็นโปรตีนไฮโดรไลส (protein hydrolysate) หรือที่เรียกว่า ไบโอแอคทีฟเปปไทด์ (bioactive peptides) พบงานวิจัยมากมายในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของ bioactive peptides จากรำข้าว [9], [20], [21], [22] อย่างไรก็ตามรำข้าวมีใยอาหารและ

ไฟเตทสูงอยู่ในช่วง ร้อยละ 7-11 และร้อยละ 0.9-2.2% ซึ่งสร้างพันธะกับโปรตีนรำข้าวอย่างเหนียวแน่น ทำให้การสกัดแยกโปรตีนออกจากรำข้าวทำได้ยากมากขึ้น [23] สารประกอบฟีนอลิกในรำข้าวส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (bound phenolics) ซึ่งสร้างพันธะโควาเลนต์กับองค์ประกอบในโครงสร้างผนังเซลล์ทั้งหลาย (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน และ ลิกนิน) อีกทั้งมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันสูงกว่าสารประกอบฟีนอลิกอิสระ ทั้งนี้พบว่าแทนที่ที่ใช้น้ำสีแฉะ ม่วง และม่วงแดง ที่เกิดจากการควักดูสีธรรมชาติ โดยเฉพาะแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งมีความสามารถในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial) ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติ โดยเฉพาะแลคติกแอซิดแบคทีเรีย (lactic acid bacteria) ในแทนที่ สามารถสร้างกรดแลคติกในแทนที่ได้มีความเปรี้ยวต่ำ และพบการซึมของน้ำแยกชั้นจากชั้นแทนที่อย่างชัดเจน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีความคงตัวส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและอายุการเก็บ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรแทนที่เพื่อสุขภาพ โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแทนที่ที่ใช้ในการผลิต 3 ชนิด ได้แก่ แทนที่นางรม แทนที่ขนขาว และแทนที่หนู วางแผนการทดลองแบบ Mixture design เพื่อเลือกสูตรแทนที่ที่ให้คุณภาพดีที่สุดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากนั้นเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยใช้ข้าวเจ้าหลักสี 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ไรสเบอร์รี่ หอมนิล มันปูสีชมพู และสังข์หยด ทดแทนข้าวหอมมะลิ 105 เข้าสู่กระบวนการผลิตแทนที่ ดังนั้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์แทนที่เพื่อสุขภาพ โดยศึกษากรรมวิธีในการผลิตแทนที่ที่มีส่วนผสมของข้าวเจ้าหลักสี 4 สายพันธุ์ ที่มีคุณภาพ ใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐานที่ใช้ข้าวหอมมะลิ 105

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแทนที่ที่ใช้ในการผลิตแทนที่เพื่อสุขภาพ

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแทนที่ที่ใช้ในการผลิตแทนที่เพื่อสุขภาพโดยใช้ข้าวหอมมะลิ 105 เป็น ส่วนผสม

โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแทนที่ที่ใช้ในการผลิตแทนที่เพื่อสุขภาพ 3 ชนิด ได้แก่ แทนที่นางรม แทนที่ขนขาว และแทนที่หนู โดยมีระดับความเข้มข้นของปริมาณแทนที่แต่ละชนิด อยู่ในช่วง

แทนที่นางรม	ร้อยละ 60 – 75
แทนที่ขนขาว	ร้อยละ 20 – 35
แทนที่หนู	ร้อยละ 5 – 20

วางแผนการทดลองแบบ Mixture design เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยส่วนผสมทั้งหมดของเห็ด 3 ชนิด จะเท่ากับ 100% ทำให้ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง ดังแสดงใน Table 1 โดยส่วนผสมและปริมาณในการผลิตเห็ดสูตรมาตรฐานดังแสดงใน Table 2

Table 1 Ingredients of fermented mushroom in Mixture design experiment

Treatment	Ratio (%)		
	Oyster mushroom	Log white fungi	Jelly ear mushroom
1	60	35	5
2	65	25	10
3	75	20	5
4	60	20	20

Table 2 Quantity of ingredients in fermented mushroom

Raw material	Amount (g)	Percent (%)
Steamed Oyster mushroom	1,000	68.97
Salt	25	1.72
sugar	25	1.72
rice	250	17.24
garlic	150	10.35

กรรมวิธีในการผลิตเห็ดคือ เลือกเห็ดที่กำลังจะบาน ล้างเห็ดให้สะอาด ตัดส่วนที่เป็นโคนออก ให้เหลือเฉพาะดอกเห็ด ล้างน้ำให้สะอาด ฉีกเห็ดเป็นฝอยชิ้นเล็ก ๆ นำไปนึ่งนาน 10 นาที นำมาผึ่งให้เย็น หั่นหยาบแล้วบีบน้ำออก พักไว้ เติมกระเทียมสับละเอียด ข้าวสวย เกลือ และน้ำตาล คลุกเคล้าให้เข้ากัน ในภาชนะปากกว้าง เช่น กะละมังหรือหม้อ ปิ๊บ นวด คั้น จนเหนียว ปั่นได้ จากนั้นปั่นเป็นก้อน ก้อนละ 25 กรัม บรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน ขนาด 4x6 นิ้ว ห่อเห็ดเห็ดเข้ามเป็นสามเหลี่ยม ใ้ยางรัดให้แน่น เก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 72 ชั่วโมง วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

2.1.1. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- วัดค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ h° (Hunter Lab, Color flex, Color global Co., LTD, USA)
- water activity (a_w) (Decagorr Devices AQUA LAB 4TE)
- ปริมาณความชื้น [24]
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand Refractometer, N.O.W. TOKYD, ATAGO, Japan)

2.1.2. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณกรดแลคติกทั้งหมด (% Titratable acidity) [24]

2.1.3. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเห็ดที่มีส่วนผสมของข้าวหลากหลายสี ผ่านการรับรองโดยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก (COA No. 023) โดยนำเห็ดเห็ดที่ผลิตได้จากการวางแผนการทดลองแบบ Mixture design ทั้ง 4 สิ่งทดลอง มาทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-pointed hedonic scale) ช่วงคะแนน 1 (ไม่ชอบมากที่สุด) - 9 (ชอบมากที่สุด) ในคุณลักษณะด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นหอมข้าว กลิ่นหอมเห็ด เนื้อสัมผัส ความเปรี้ยว รสชาติ และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (untrained panel) จำนวน 30 คน เพื่อเลือกอัตราส่วนของเห็ดในแต่ละชนิดที่ผู้ทดสอบยอมรับมากที่สุด

2.2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดเพื่อสุขภาพที่มีส่วนผสมของข้าวเจ้าหลากหลายสี

2.2.1. การวัดปริมาณกรดแลคติกและเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เห็ด

ผลิตเห็ดเห็ดโดยใช้ข้าว 2 สายพันธุ์ คือ ข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในส่วนผสมของเห็ดเห็ด โดยใช้ชนิดและอัตราส่วนเห็ดที่เลือกได้จากข้อ 2.1 บรรจุถุงพลาสติกรัดหนังยางให้แน่น เก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 72 ชั่วโมง สุ่มวัดปริมาณกรดแลคติกและเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียทุกวันจนครบ 3 วัน เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณกรดแลคติกและเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียที่วัดได้ในแต่ละวัน ด้วยวิธี T-test

2.2.2. การศึกษาสายพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการใช้เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่แหนมเห็ด

เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยใช้ข้าวเจ้าที่มีสีทดแทนข้าวหอมมะลิ 105 ในส่วนผสมของแหนมเห็ด โดยศึกษาสายพันธุ์ข้าวเจ้าที่เหมาะสมทั้งหมด 5 สายพันธุ์ ได้แก่ หอมมะลิ 105 ไรซ์เบอร์รี่ หอมนิล มันปูสีชมพู และสังข์หยด จากนั้นปรุงรสชาติตามสูตรมาตรฐาน บรรจุถุงพลาสติก รัดหนังยางให้แน่น เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน (72 ชั่วโมง) นำมาวัดคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อเลือกสูตรแหนมเห็ดที่ให้คุณภาพที่ดีที่สุด

1) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- วัดค่าสี L^* , a^* , b^* , C^* และ h° (Hunter Lab, Color flex, Color global Co., LTD, USA)

- Water activity (a_w) (Decagorr Devices AQUA LAB 4TE)

2) วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- วัดปริมาณความชื้น [24]

- วัดปริมาณกรดทั้งหมด (%Titratable acidity) [24]

- วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand Refractometer, N.O.W. TOKYD, ATAGO, Japan)

- วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter, Multi-Parameter Analyzer ST3100M-B)

นำข้อมูลที่ได้มาเทียบเคียงกับผลิตภัณฑ์แหนมเห็ดนางรมที่เคยมีการทดลองผลิตมาแล้ว [25] ซึ่งมีปริมาณกรดแลคติก ร้อยละ 0.81 และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.21 เมื่อหมักเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

3) วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

- วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound) โดยวิธี Folin-Ciocalteu method ใช้กรดแกลลิก (gallic acid) เป็นสารละลายมาตรฐาน โดยแสดงผล

เป็น มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกในตัวอย่าง 100 กรัม (mg GAE/100g) [25]

- วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity [26], [27] และนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มาคำนวณหาค่า EC_{50} ซึ่งเป็นความเข้มข้นของตัวอย่างที่ใช้ (g/ml) ที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระของ DPPH ได้ร้อยละ 50 ของปริมาณทั้งหมด

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองที่ได้ด้วย Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) จากโปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Package Social Science (SPSS)

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1. อัตราส่วนที่เหมาะสมของเห็ดที่ใช้ในการผลิตแหนมเห็ดเพื่อสุขภาพ

แหนมเห็ดที่ผลิตได้ทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณวอเตอร์แอคทีวิตี (a_w) ปริมาณกรดแลคติกทั้งหมด (%Titratable acidity) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand Refractometer, N.O.W. TOKYD, ATAGO, Japan) ดังแสดงใน Table 3 และ 4

Table 3 Color quality of fermented mushroom

Treatment [#]	Color quality				
	L*	a*	b* ^{ns}	C* ^{ns}	h°
1 (60:35:5)	54.27 ^a ±0.06	4.23 ^b ±0.11	5.04±0.05	6.59±0.11	37.49 ^c ±0.10
2 (65:25:10)	39.61 ^b ±0.05	4.06 ^b ±0.12	5.11±0.05	6.53±0.12	38.66 ^b ±0.20
3 (75:20:5)	36.87 ^b ±0.04	4.98 ^a ±0.03	3.73±0.06	6.22±0.06	55.57 ^a ±0.04
4 (60:20:20)	26.17 ^c ±0.28	5.33 ^a ±0.16	7.77±0.38	9.42±0.37	27.67 ^d ±0.91

[#] 1 (60:35:5) refers to treatment 1 consisting of 60% of Oyster mushrooms: 35% of Log white fungi: 5% of Jelly ear mushroom

a,b,c different superscript letters for each parameter in a column indicate significant difference at P≤0.05

^{ns} not significant difference at P>0.05

Table 4 Moisture content and water activity (a_w) of fermented mushroom

Treatment [#] (Oyster mushroom : Log white fungi : Jelly ear mushroom)	moisture ^{ns} (%)	water activity ^{ns} (a _w)
1 (60:35:5)	67.56±0.16	0.82±0.25
2 (65:25:10)	66.19±0.15	0.84±0.00
3 (75:20:5)	66.24±0.14	0.83±0.01
4 (60:20:20)	69.27±0.28	0.87±0.01

[#] 1 (60:35:5) refers to treatment 1 consisting of 60% of Oyster mushrooms : 35% of Log white fungi : 5% of Jelly ear mushroom

^{ns} not significant difference at P>0.05

จากผลการทดลองพบว่าเห็ดทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีความชื้นอยู่ในช่วง ร้อยละ 67.95 – 69.27 ในขณะที่ค่าวอเตอร์ แอคติวิตี อยู่ในช่วง 0.82-0.87 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าทั้ง ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตี ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณ กรดทั้งหมด (%Titratable acidity) ปริมาณของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด (Hand Refractometer, N.O.W. TOKYD, ATAGO, Japan) และความเป็นกรด-ด่าง (PH Meter, Multi-Parameter Analyzer ST3100M-B) ให้ผลดังแสดงใน Table 5

จาก Table 5 พบว่าเห็ดที่ผลิตได้จากแผนการ ทดลองแบบ Mixture design ทั้ง 4 สิ่งทดลอง ให้ปริมาณกรด ทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความเป็นกรด-ด่าง ที่ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

โดยพบว่า ส่วนผสมที่ประกอบด้วยอัตราส่วนของเห็ด นางรม เห็ดขอนขาว และเห็ดหูหนู ร้อยละ 75, 20 และ 5 ตามลำดับ มีปริมาณกรดแลคติกสูงสุด ร้อยละ 0.88 แสดงให้เห็น ว่าอัตราส่วนของเห็ดผสมดังกล่าว ทำให้เชื้อแลคติกแอซิด แบคทีเรียสามารถเจริญได้ดี และผลิตกรดได้ดีที่สุด โดยเชื้อ แบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวจะทำหน้าที่เปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตจากข้าว และน้ำตาลที่ใช้เติมในส่วนผสมให้กลายเป็นกรดแลคติก ซึ่งจะทำ ให้เห็ดมีรสเปรี้ยวและมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ไม่เหมาะกับการ เจริญและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ทั้งที่เป็น อันตรายและทำให้อาหารเน่าเสีย ซึ่งโดยทั่วไปความเข้มข้นของ กรดแลคติกจะเกิดขึ้นในช่วง ร้อยละ 0.8 – 1.2 การที่สิ่งทดลอง ที่ 3 มีปริมาณกรดสูงสุด ส่งผลให้มีค่า pH ต่ำสุด โดยมีค่า pH เท่ากับ 4.01 ซึ่งแตกต่างจากค่า pH ของสิ่งทดลองอื่นอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ผลการทดลองนี้เทียบเคียงได้กับผล

การทดลองของ Praditsrigul และคณะ [25] ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์เห็ดนางรมที่มีปริมาณกรดแลคติก ร้อยละ 0.81 และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.21 เมื่อหมักเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือกสิ่งทดลองที่ 3 ที่มีอัตราส่วนของเห็ดนางรม เห็ดขอนขาว และเห็ดหูหนู ร้อยละ 75, 20 และ 5 ตามลำดับ เป็นอัตราส่วนเห็ดที่เหมาะสมในการผลิตเห็ดหมักมากที่สุด ทั้งนี้ต้องพิจารณาผลรวมกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสในขั้นต่อไป

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเห็ดหมักทั้ง 4 สิ่งทดลอง ที่ผลิตได้จากแผนการทดลองแบบ Mixture design ในด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นหอมข้าว กลิ่นหอมเห็ด เนื้อสัมผัส ความเปรี้ยว รสชาติ และความชอบรวม พบว่าการเพิ่มปริมาณเห็ดหูหนู ทำให้คะแนนความชอบด้าน ต่าง ๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด สังเกตได้จากเห็ดหมักในสิ่งทดลองที่ 4 ที่ใช้ส่วนผสมของเห็ดหูหนูในปริมาณสูงสุด ร้อยละ 20 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบในทุกด้านในระดับต่ำอยู่ในช่วง 6.11-6.85 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับ ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ในขณะที่การใช้ปริมาณเห็ดหูหนู เป็นส่วนผสมในระดับสูง ร้อยละ 5 ในสิ่งทดลองที่ 3 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบในทุก ๆ ด้าน ยกเว้น ลักษณะปรากฏ ที่สูงที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีคะแนนทุกด้านในช่วง 7.97 – 8.62 คือชอบมากไปจนถึงชอบมากที่สุด

Table 5 Chemical qualities of fermented mushroom

Treatment [#]	Total acid content (% Lactic acid)	Total soluble solids (Brix)	pH
1 (60:35:5)	0.65 ^b ±0.25	0.88 ^b ±0.15	4.42 ^b ±0.09
2 (65:25:10)	0.62 ^{bc} ±0.19	0.90 ^b ±0.13	4.35 ^b ±0.11
3 (75:20:5)	0.88 ^a ±0.17	0.70 ^c ±0.14	4.01 ^c ±0.10
4 (60:20:20)	0.43 ^c ±0.21	1.10 ^a ±0.18	4.97 ^a ±0.08

[#] 1 (60:35:5) refers to treatment 1 consisting of 60% of Oyster mushrooms : 35% of Log white fungi : 5% of Jelly ear mushroom

^{a,b,c} different superscript letters for each parameter in a column indicate significant difference at $P \leq 0.05$

Table 6 Sensory evaluation of fermented mushroom

Sensory attributes	Treatment (Oyster mushroom: Log white fungi: Jelly ear mushroom)			
	1 (60:35:5)	2 (65:25:10)	3 (75:20:5)	4 (60:20:20)
Color	8.13 ^a ±0.62	7.58 ^b ±0.51	8.24 ^a ±0.61	6.62 ^c ±0.65
Appearance	7.95 ^a ±0.59	7.57 ^b ±0.72	7.68 ^b ±0.65	6.15 ^b ±0.72
Rice odor	6.87 ^b ±1.04	7.48 ^c ±1.13	8.22 ^a ±0.95	6.53 ^d ±0.77
Mushroom odor	6.44 ^c ±1.07	7.32 ^b ±1.11	7.97 ^a ±1.01	6.22 ^d ±1.05
Texture	6.24 ^c ±1.13	7.04 ^b ±1.15	8.19 ^a ±0.65	6.11 ^d ±0.79
Sour taste	7.33 ^b ±0.62	7.58 ^b ±0.51	8.04 ^a ±0.46	6.62 ^c ±0.99
Flavor	7.41 ^c ±0.93	7.86 ^b ±1.12	8.55 ^a ±0.79	6.85 ^d ±1.21
Total Preference	6.75 ^b ±0.91	7.57 ^c ±1.10	8.62 ^a ±1.15	6.71 ^d ±0.88

^{a,b,c} different superscript letters for each parameter in a column indicate significant difference at $P \leq 0.05$

^{ns} not significant difference at $P > 0.05$

ดังนั้นเมื่อพิจารณาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าสิ่งทดลองที่ 3 โดยมีส่วนผสมที่ประกอบด้วยอัตราส่วนของเห็ดนางรม เห็ดขอนขาว และเห็ดหูหนู ร้อยละ 75, 20 และ 5 ตามลำดับ เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดเพื่อสุขภาพต่อไป

3.2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดเพื่อสุขภาพที่มีส่วนผสมของข้าวเจ้าหาลากสี

3.2.1. ปริมาณกรดแลคติกและเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์เห็ด

จากผลการทดลองใน Table 7 และ 8 ผลของข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวไรส์เบอร์รี่ต่อปริมาณกรดแลคติกและแลคติกแอซิดแบคทีเรียให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ ในวันที่ 0 พบว่าปริมาณกรดแลคติกและเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียของเห็ดข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวไรส์เบอร์รี่ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีปริมาณกรดแลคติก ร้อยละ 0.05 และ 0.04 ตามลำดับ และมีปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรีย เท่ากับ 0.32×10^2 cfu/g และ 0.29×10^2 cfu/g ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า เมื่อหมักเห็ดต่อที่ระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ปริมาณกรดแลคติกและเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียของเห็ดข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวไรส์เบอร์รี่ ให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่าปริมาณกรดแลคติกและปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะที่ระยะเวลากการหมัก 24 ชั่วโมง พบการเจริญของเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรีย 1.82×10^4 cfu/g และ 1.62×10^4 cfu/g สอดคล้องกับรายงานของ Praditsrigul และคณะ [25] ที่พบว่าการหมักเห็ดที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณกรดแลคติกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.23 เป็น 0.80 ขณะที่ปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมด และเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียเพิ่มขึ้นจาก $>300 \times 10^3$ เป็น $>300 \times 10^5$ cfu/g และจาก $>300 \times 10^3$ เป็น $>300 \times 10^5$ cfu/g ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลากการหมัก 72 ชั่วโมง สายพันธุ์ข้าวไม่มีผลต่อปริมาณกรดแลคติกและปริมาณเชื้อ แลคติกแอซิดแบคทีเรีย เนื่องจากให้ค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้นสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้ข้าวสีที่มีแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุทดแทนข้าวขาวในการผลิตเห็ด และการพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดเพื่อสุขภาพที่มีส่วนผสมของข้าวเจ้าหาลากสีต่อไป

Table 7 Effect of Jasmine rice 105 and Rice berry on lactic acid content in fermented mushroom during storage

Fermentation time (hour)	Lactic acid content (%)	
	Fermented mushroom with Jasmine rice 105	Fermented mushroom with Rice berry
0 ^{ns}	0.05 + 0.01	0.04 + 0.01
24	0.52 ^a ± 0.15	0.38 ^b ± 0.15
48	0.72 ^a ± 0.15	0.67 ^b ± 0.15
72 ^{ns}	0.88 ± 0.17	0.86 ± 0.11

a,b,c different superscript letters for each parameter in a row indicate significant difference at $P \leq 0.05$

^{ns} not significant difference at $P>0.05$

Table 8 Effect of Jasmine Rice 105 and Rice berry on lactic acid bacteria content in fermented mushroom

Fermentation time (hour)	Lactic acid bacteria content (cfu/g)	
	Fermented Mushroom with Jasmine rice 105	Fermented Mushroom with Rice berry
0 ^{ns}	0.32×10^2	0.29×10^2
24	$1.82^a \times 10^4$	$1.62^a \times 10^4$
48	$1.15^a \times 10^5$	$0.98^b \times 10^5$
72 ^{ns}	1.31×10^6	1.31×10^6

a,b,c different superscript letters for each parameter in a column indicate significant difference at $P \leq 0.05$

^{ns} not significant difference at $P>0.05$

3.2.2. สายพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการใช้เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่แหนมเห็ด

การศึกษานี้ใช้ข้าวเจ้าที่มีสีทดแทนข้าวหอมมะลิ 105 ในส่วนผสมของแหนมเห็ด โดยศึกษาสายพันธุ์ข้าวเจ้าที่เหมาะสมทั้งหมด 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ไรส์เบอร์รี่ หอมนิล มันปูสีชมพู และสังข์หยด (Figure 1) จากนั้นปรุงรสชาติตามสูตรมาตรฐาน บรรจุถุงพลาสติก รัดหนังยางให้แน่น เก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 3 วัน (72 ชั่วโมง) ได้ผลิตภัณฑ์แหนมเห็ด ดังแสดงใน Figure 2

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อเลือกสูตรแหนมเห็ดที่ให้คุณภาพดีที่สุด ให้ผลดังแสดงใน Table 9 โดยพบว่าแหนมเห็ดที่ใช้ส่วนผสมของข้าวหลากหลายสีที่แตกต่างกัน ได้แก่ หอมมะลิ 105 หอมนิล ไรส์เบอร์รี่ มันปูสีชมพู และสังข์หยด ให้ปริมาณความชื้นที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่ พบว่ามีปริมาณน้ำอิสระที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (a_w) ที่แตกต่างกัน โดยพบว่าแหนมเห็ดที่ผลิตจากข้าวสังข์หยดให้ค่า a_w ต่ำสุดและแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

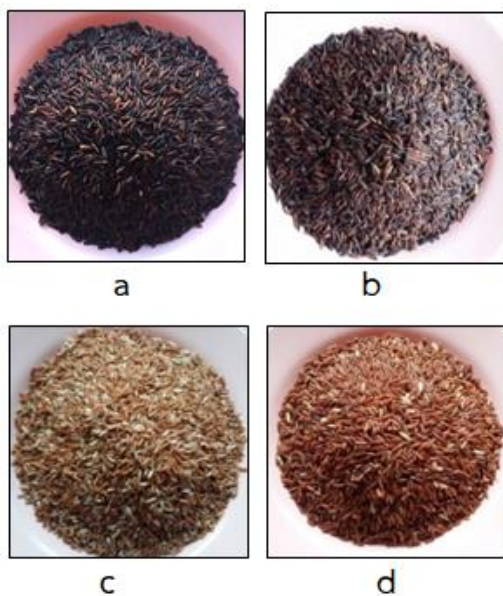


Figure 1 Rice strains used in the production of fermented mushroom : Rice berry (a), Hom nin rice (b), Sangyod rice (c) and Red cargo rice (d)

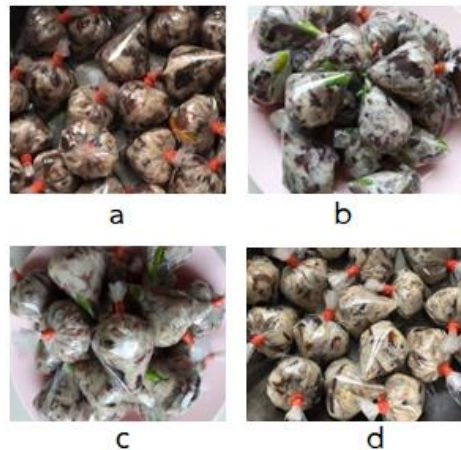


Figure 2 Fermented mushroom with Rice berry (a), Hom nin rice (b), Sangyod rice (c) and Red cargo rice (d)

Table 9 Moisture content and water activity of fermented mushroom with Jasmine rice 105, Rice berry, Hom nin rice and Red cargo rice

Fermented Mushroom (Rice varieties) [#]	Moisture content ^{ns} (%)	Water activity (a_w)
JR 105	59.44±0.58	0.88 ^b ±0.15
RB	61.18±0.01	0.90 ^b ±0.13
HN	58.76±0.01	1.10 ^c ±0.18
RC	56.68±0.01	0.90 ^b ±0.13
SR	59.45±0.01	0.70 ^a ±0.14

[#] Jasmine rice 105 (JR 105), Rice berry (RB), Hom nin rice (HN), Red Cargo rice (RC) and Sangyod rice (SR)

^{a,b,c} different superscript letters for each parameter in a column indicate significant difference at $P\leq 0.05$

^{ns} not significant difference at $P>0.05$

นอกจากนี้พบว่าแหนมเห็ดที่ใช้ส่วนผสมของข้าวหลากหลายสีที่แตกต่างกัน ได้แก่ หอมมะลิ 105 หอมนิล ไรส์เบอร์รี่ มันปูสีชมพู และสังข์หยด ให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความเป็นกรด-ด่าง ที่แตกต่างกันทางสถิติ ($P\leq 0.05$) โดยพบว่าแหนมเห็ดที่ใช้ข้าวสังข์หยดเป็นส่วนผสม ให้ปริมาณกรดทั้งหมดสูงสุด ร้อยละ 0.88 ในขณะที่แหนมเห็ดที่มีส่วนผสมของข้าวหอมมะลิให้

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงสุด 1.10 Brix ในขณะที่แหนมเห็ดที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้ความเป็นกรด-ด่าง สูงสุดและไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีความเป็นกรด-ด่าง 4.60 และ 4.58 ตามลำดับ (Table 10)

ปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compound) ในแหนมเห็ดทั้ง 4 สิ่งทดลองให้ผลดังแสดงใน Figure 3 โดยพบว่า แหนมเห็ดที่ผลิตโดยใช้ส่วนผสมของข้าวสายพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สูงที่สุดถึง 672.17 mg GAE/100g ในขณะที่แหนมเห็ดที่ใช้ส่วนผสมของข้าวหอมมะลิ 105 หอมนิล มันปูสีชมพู และสังข์หยด ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงตามลำดับ

Table 10 Chemical qualities of fermented mushroom with Rice berry, Hom nin rice, Sangyod rice and Red cargo rice

Fermented Mushroom (Rice varieties) [#]	Total acid content (Lactic acid Percentage)	Total soluble solids (Brix)	pH
JR 105	0.65 ^b ±0.25	0.88 ^b ±0.15	4.60 ^a ±0.09
RB	0.62 ^{bc} ±0.19	0.90 ^b ±0.13	4.58 ^a ±0.11
HN	0.43 ^c ±0.21	1.10 ^a ±0.18	4.24 ^{bc} ±0.08
RC	0.62 ^{bc} ±0.19	0.62 ^c ±0.19	4.15 ^c ±0.19
SR	0.88 ^a ±0.17	0.88 ^b ±0.17	4.20 ^{bc} ±0.17

[#] Jasmine rice 105 (JR 105), Rice berry (RB), Hom nin rice (HN), Red cargo rice (RC) and Sangyod rice (SR)

a,b,c different superscript letters for each parameter in a column indicate significant difference at $P \leq 0.05$

นอกจากนี้พบว่าแหนมเห็ดที่ผลิตจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (Figure 3, a) 1,389.58 mg ascorbic acid/100 g ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัย [28] ได้ศึกษาสูตรการผลิตแหนมเห็ดนางฟ้าภูฐาน โดยสูตรที่เติมข้าวไรซ์เบอร์รี่ร้อยละ 10 ในสูตรที่ 3 และสูตร 4 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (150.33 และ 159.00 mg GAE/g ตามลำดับ) และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ร้อยละ 20.64 และ 21.94 ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้นจากสูตรที่เติมข้าวขาว ในขณะที่แหนมเห็ดที่มีส่วนผสมของข้าวสังข์หยด ข้าว

หอมนิล ข้าวมันปูสีชมพู ข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวเหนียวขาว ให้ค่าความสามารถกำจัดอนุมูลอิสระของ DPPH (Figure 3, b) เท่ากับ 1,231.30, 1,183.77, 1,045.31, 888.86 และ 831.55 mg ascorbic acid/100 g ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อนำค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มาคำนวณหาค่า EC_{50} (Figure 3, c) ที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระของ DPPH ได้ร้อยละ 50 ของปริมาณทั้งหมด พบว่า ข้าวหอมนิล และข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 173.52 และ 154.18 g/ml ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังแสดงใน Figure 3

ทั้งนี้พบว่า จากผลการทดลองใน Figure 4 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ให้ค่าฟีนอลิกเทียบกับ Catechin, Myricetin, Syringic และ P-Coumaric สูงที่สุด 216.15, 136.95, 315.82 และ 370.86 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ และข้าวหอมนิล ให้ค่าฟีนอลิก Catechin Myricetin และ P-Coumaric 194.18, 122.17 และ 373.31 $\mu\text{g/g}$ รองลงมาตามลำดับ ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับข้าวไรซ์เบอร์รี่ นอกจากนี้พบว่า แหนมเห็ดที่มีส่วนผสมของข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด เนื่องจากมีปริมาณสาร catechin myricetin syringic P-coumaric และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่า ให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัย [29] ที่ระบุว่าข้าวสีม่วงเข้มไรซ์เบอร์รี่ร็อกและหุงสุกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่หุงและปรุงสุกในอัตราส่วน 2.16 เท่า ตลอดจนความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สูงนั้น จะแปรผันตรงกับปริมาณแอนโทไซยานิน เช่น ข้าวก่ำดอยมูเซอ มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงถึง 336 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม จะมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวสังข์หยดที่มีปริมาณแอนโทไซยานิน 87.46 และ 1.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าคุณภาพในทุกด้านร่วมกันของผลิตภัณฑ์แหนมเห็ดเพื่อสุขภาพที่มีส่วนผสมของข้าวเจ้าหลากหลาย พบว่าแหนมเห็ดที่ใช้ส่วนผสมของข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้คุณภาพดีที่สุด และเลือกสูตรแหนมเห็ดจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์แหนมเห็ดเพื่อสุขภาพที่มีส่วนผสมของข้าวเจ้าหลากหลาย ทั้งนี้สามารถผลิตแหนมเห็ดจากข้าวหลากหลายเพื่อจำหน่ายเชิงการค้าได้ ตลอดจนเพื่อเพิ่มความน่ารับประทาน และเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคได้อีกทาง

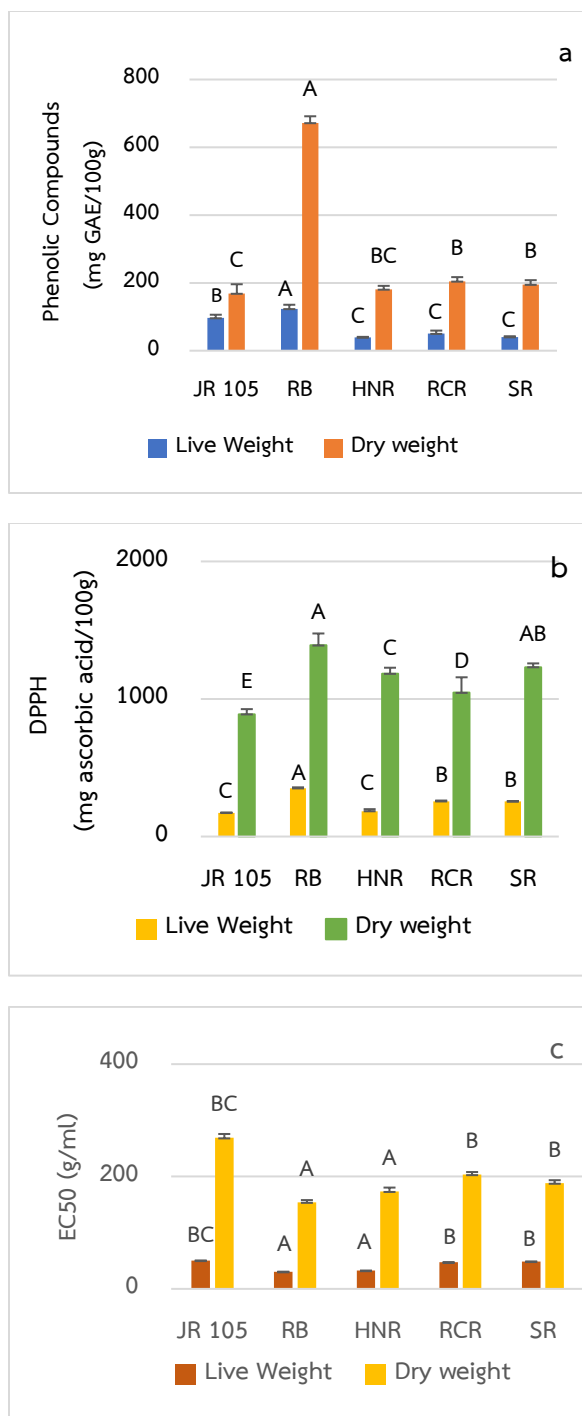


Figure 3 Phenolic content (a), DPPH (b) and EC_{50} (c) of fermented mushroom with Jasmine rice 105 (JR 105), Rice berry (RB), Hom nin rice (HNR), Red cargo rice (RCR) and Sangyod rice (SR). Different letters over bars for each parameter indicate significant difference at $P \leq 0.05$

4. บทสรุป

การผลิตเห็ดเพื่อสุขภาพสูตรมาตรฐาน ใช้ข้าวหอมมะลิ 105 เป็นส่วนผสม วางแผนการทดลองแบบ Mixture design เพื่อหาอัตราส่วนของเห็ดที่เหมาะสมในการผลิตเห็ดเพื่อสุขภาพ 3 ชนิด ได้แก่ เห็ดนางรม เห็ดขอนขาว และเห็ดหูหนู พบว่าอัตราส่วนของเห็ดที่เหมาะสมคือ ประกอบด้วยอัตราส่วนของเห็ดนางรม เห็ดขอนขาว และเห็ดหูหนู ร้อยละ 75, 20 และ 5 ตามลำดับ มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 67.95-69.27 ในขณะที่ค่าออกฤทธิ์ออกฤทธิ์อยู่ในช่วง 0.82-0.87 มีปริมาณกรดแลคติกสูงสุด ร้อยละ 0.88 ตลอดจนให้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นหอมข้าว กลิ่นหอมเห็ด เนื้อสัมผัส ความเปรี้ยว รสชาติ และความชอบรวมสูงสุด จากนั้นพัฒนาผลิตภัณฑ์เห็ดเพื่อสุขภาพที่มีส่วนผสมของข้าวเจ้าหลากหลาย ด้วยการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยใช้ข้าวเจ้าที่มีสีทดแทนข้าวหอมมะลิ 105 จากสูตรมาตรฐาน ในส่วนผสมของเห็ด พบว่าให้ปริมาณเชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรีย และปริมาณกรดแลคติก ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้ข้าวเจ้าที่มีแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุทดแทนข้าวขาวในการผลิตเห็ด จากนั้นศึกษาสายพันธุ์ข้าวเจ้าหลากหลายที่เหมาะสมในการผลิตเห็ดเพื่อสุขภาพ ทั้งหมด 5 สายพันธุ์ ได้แก่ หอมมะลิ 105, ไรส์เบอร์รี่, หอมนิล, มันปูสีชมพู และสังข์หยด พบว่าข้าวสายพันธุ์ไรส์เบอร์รี่ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดถึง 672.17 mg GAE/100g และ 1,389.58 mg ascorbic acid/100g เมื่อนำค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมาคำนวณหา ค่า EC_{50} ที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระของ DPPH ได้ร้อยละ 50 ของปริมาณทั้งหมด พบว่า ข้าวหอมนิล และข้าวไรส์เบอร์รี่ให้ค่าสูงสุด เท่ากับ 173.52 และ 154.18 g/ml ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเห็ดที่มีส่วนผสมของข้าวไรส์เบอร์รี่ให้ปริมาณสารฟีนอลิกเทียบกับสารมาตรฐาน catechin myricetin syringic และ P-coumaric สูงที่สุด เท่ากับ 216.15, 136.95, 315.82 และ 370.86 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวหอมนิลให้ปริมาณฟีนอลิกเทียบกับสารมาตรฐาน catechin myricetin และ P-Coumaric เท่ากับ 194.18, 122.17 และ 373.31 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับข้าวไรส์เบอร์รี่

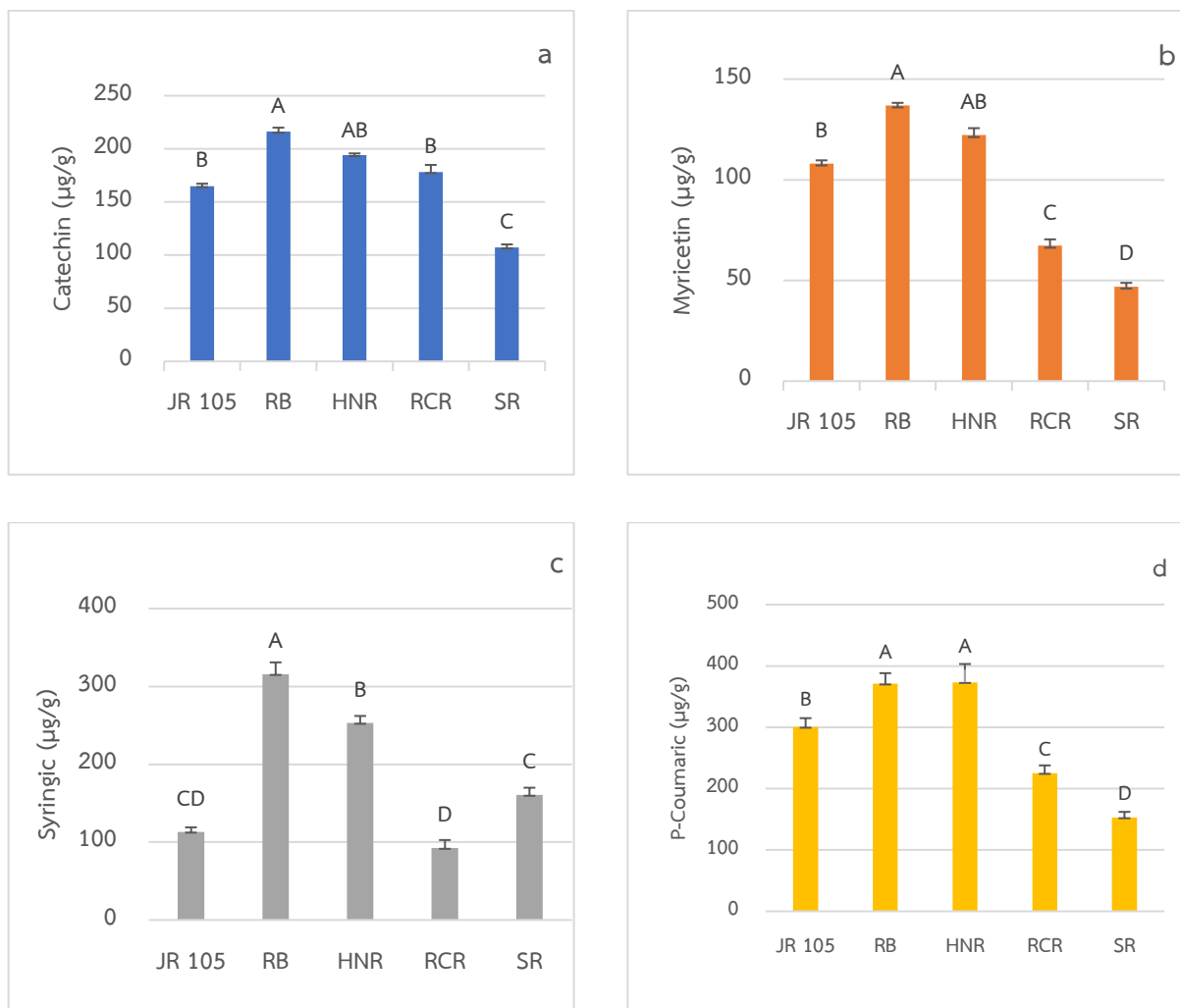


Figure 4 Contents of catechin (a), myricetin (b), syringic (c) and P-coumaric (d) from fermented mushroom with Jasmine rice 105 (JR 105), Rice berry (RB), Hom nin rice (HNR), Red cargo rice (RCR) and Sangyod rice (SR). Different letters over bars for each parameter indicate significant difference at $P \leq 0.05$

5. References

- [1] Songsanandr, P. and Charoenrat, S. 2016. Product development of fermented pork soft spare ribs for women's career promotion group, Ton Pao Town Municipality, Sankamphaeng District, Chiang Mai Province. **Journal of Community Development and Life Quality**. 5(1): 163-173. (in Thai)
- [2] Limmatwapiwat, C. and Limmatwapiwat, S. 2009. **Medicinal Properties of the Mushroom and White Mouse Ear**. <http://mis.pharm.su.ac.th/web/sites/default/files/Jews%20ear%20mushroom.pdf>. Accessed 1 September 2021. (in Thai)
- [3] Aramsirujitwet, Y., Nawabut, P. and Suwanarit, P. 2016. Mushrooms extract and their efficiency to inhibit some plant pathogenic fungi and bacteria. **Khon Kaen Agriculture Journal**. 4(44): 595-604. (in Thai)

- [4] Kongkaew, T. and Wattanakosol, A. Profit alternative material: The Manila grass ration of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*)cultivated materials. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University.** 23(2): 74-80. (*in Thai*)
- [5] Guer, P., Akata, I. and Kutluer, F. 2009. Antifungal activities of *Fomitopsis pinicola* (Sw.:Fr) Karst and *Lactarius vellereus* (Pers.) Fr. **Journal of Biotechnology.** 8(16): 3811-3813.
- [6] Nunboon, J. and et al. 2010. Effect of medicinal plant extracts and edible mushroom extracts in controlling leaf spot disease (*Alternaria brassicicola*) of cabbage seedling. In: **Proceedings of the 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology**, 4-6 October 2010. Pattaya, Thailand.
- [7] Balakumar, R. and et al. 2011. Antibacterial and antifungal activity of fruit bodies of *Phellinus* mushroom extract. **International Journal of Biosciences.** 1: 72-77.
- [8] Mondal, T., Some, R. and Dutta, S. 2013. Studies on antioxidant and antimicrobial properties of some common. **Journal of Today's Biological Sciences: Research & Review.** 1(2): 60-67.
- [9] Phongthai, S., Homthawornchoo, W. and Rawdkuen, S. 2017. Preparation, properties and application of rice bran protein: A review. **International Food Research Journal.** 24(1): 25-34.
- [10] Saenjurn, C. and et al. 2012. Antioxidant and anti-inflammatory activities of gamma-oryzanol rich extracts from Thai purple rice bran. **Journal Medical Plants Research.** 6: 1070-1077.
- [11] Klongpityapong, P and Jaricksakulchai, J. 2019. Development of pharmaceutical preparation from rice bran oil for health promotion. **EAU Heritage Journal Science and Technology.** 13(2), 1-16. (*in Thai*)
- [12] Chen, M.H., and et al. 2012. Growth-inhibition effects of pigment rice bran extracts and three red bran fractions against human cancer cell: Relationships with composition and antioxidative activities. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 60(36): 9151-9161.
- [13] Goodyear, A. and et al. 2015. Dietary rice bran supplementation prevents *Salmonella* colonization differentially across varieties and by priming intestinal immunity. **Journal of Functional Foods.** 18: 653-664.
- [14] Alrahmany, R., Avis, T.J. and Tsopmo, A. 2013. Treatment of oat bran with carbohydrases increases soluble phenolic acid content and influences antioxidant and antimicrobial activities. **Journal of Food Research International.** 52(2): 568-574.
- [15] Nam, S.H. and et al. 2005. Antioxidative, antimutagenic, and anticarcinogenic activities of rice bran extracts in chemical and cell assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry.** 53(3): 816-822.
- [16] Liu, L. and et al. 2017. Complex enzyme hydrolysis releases antioxidative phenolics from rice bran. **Journal of Food Chemistry.** 214: 1-8.
- [17] Kim, S.M. and Lim, S.T. 2016. Enhanced antioxidant activity of rice bran extract by carbohydrase treatment. **Journal of Cereal Science.** 68: 116-121.

- [18] Fabian, C. and Ju, Y.H. 2011. A review on rice bran protein: its properties and extraction methods. **Journal of Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 51(9): 816-827.
- [19] Amagliani, L. and et al. 2017. Composition and protein profile analysis of rice protein ingredients. **Journal of Food Composition and Analysis**. 59: 18-26.
- [20] Wang, M. and et al. 1999. Preparation and functional properties of rice bran protein isolate. **Journal of Food Chemistry**. 47(2): 411-416.
- [21] Thamnarathip, P. and et al. 2016. Identification of peptide molecular weight from rice bran protein hydrolysate with high antioxidant activity. **Journal of Cereal Science**. 69: 329-335.
- [22] Phongthai, S. and et al. 2018. Fractionation and antioxidant properties of rice bran protein hydrolysates stimulated by in vitro gastrointestinal digestion. **Journal of Food Chemistry**. 240: 156-164.
- [23] Kaewjumpol, G. and et al. 2018. The production of hydrolysates from industrially defatted rice bran and its surface image changes during extraction. **Journal of The Science of Food and Agriculture**. 98(9): 3290-3298.
- [24] AOAC. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 17th edition, the Association Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD: AOAC International.
- [25] Praditsrigul, N. and et al. 2016. The product development of fermented grey oyster mushroom (*Pleurotus sajorcaju*). In: **Proceedings of the 1st National Academic Conference of Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi**, 22 June 2016. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- [26] Tangsombatvichit, P., Khuenson, N. and Matthayom, W. 2022. The nutritional value and antioxidant activities of the developed Thai fermented Bhutan oyster mushroom (*Pleurotus*). **Naresuan University Journal: Science and Technology**. 30(1): 120-129. (in Thai)
- [27] Siphaya, C. and Phiwsaoas, J. 2015. **Library and Science and Technology Information Center**. http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_knowledge/bsti_11_2558_Riceberry.pdf. Accessed 1 September 2021.
- [28] Wiriyacharee, P., Rujanakraikarn, L., and Kuntiya, A. 1993. **Nham Product Development Using Mixed Bacterial Starter Cultures 3. Suitable Spices Formulation for Nham Production**. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=TH2001003443>. Accessed 5 September 2021.
- [29] Sueaman, K. and et al. 2019. Determination of antioxidant capacity of Rice berry and Khao Dok Mali 105 cultivars. **PSRU Journal of Science and Technology**. 4(3): 95-108. (in Thai)
- [30] Sultana, B. and et al. 2012. Effect of drying techniques on the total phenolic contents and antioxidant activity of selected fruits. **Journal of Medicinal Plants Research**. 6(1): 161-167.
- [31] Visessanguan, W., Benjakul, S. and Tapingkae, W. 2006. Changes in lipid composition and fatty acid profile of Nham, a Thai fermented pork sausage, during fermentation. **Journal of Food Chemistry**. 94(4): 580-588.