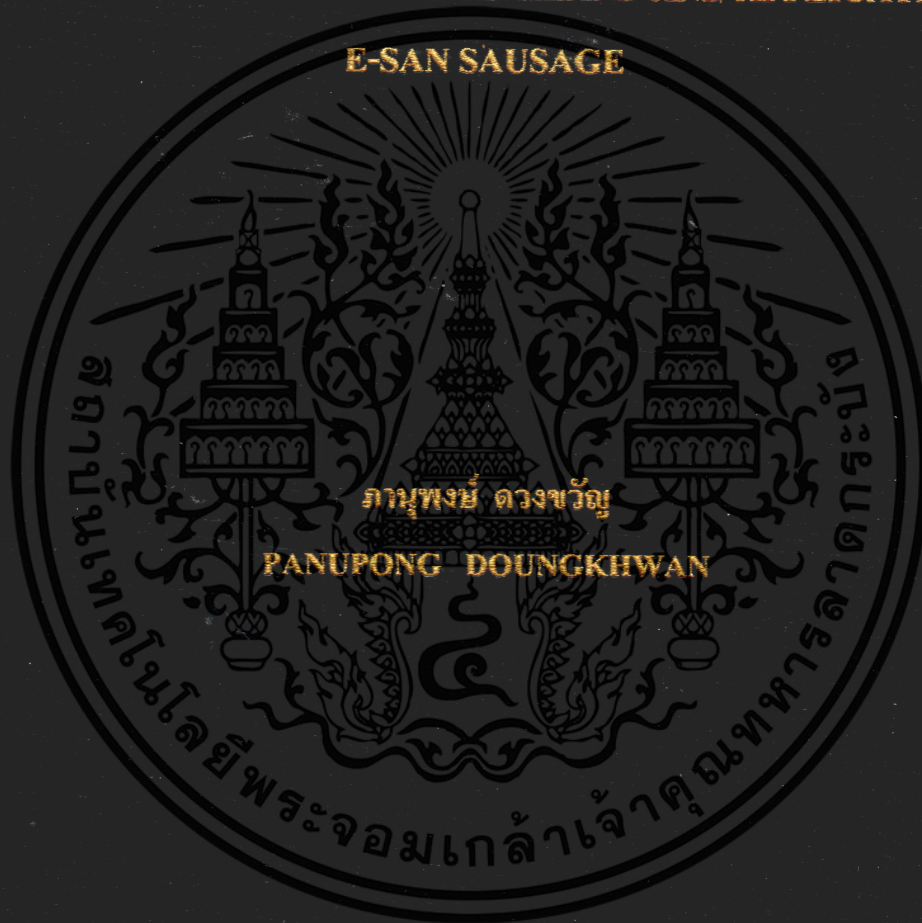


ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้  
ของประเทศไทย และการนำมาใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน

STUDY ON ANTIOXIDANT PROPERTIES OF LOCAL UPLAND  
RICE IN SOUTHERN PART OF THAILAND AND APPLICATION IN  
E-SAN SAUSAGE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-AG-M-031-281

ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้  
ของประเทศไทย และการนำมาใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน

STUDY ON ANTIOXIDANT PROPERTIES OF LOCAL UPLAND  
RICE IN SOUTHERN PART OF THAILAND AND APPLICATION IN  
E-SAN SAUSAGE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสัตวศาสตร์  
คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2561

KMITL-2018-AG-M-031-281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ของประเทศไทย และการนำมาใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน
นักศึกษา	นายภาณุพงษ์ ดวงขวัญ
รหัสประจำตัว	59604035
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สัตวศาสตร์
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.กมลแข พิลาสมบัติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.จรัสญ เล้าสินวัฒนา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา ทวีศรี

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือศึกษาการใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ในการผลิตไส้กรอกอีสานเพื่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ คุณภาพและความปลอดภัย ศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวชนิดขาวสามเดือน ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องสังข์หยด และข้าวกล้องดอกขาม ในการผลิตไส้กรอกอีสานเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป และไส้กรอกอีสานทางการค้า ในการทดสอบไส้กรอกอีสานดิบพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมต่อไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางคำสูงสุด ส่วนในไส้กรอกอีสานสุกผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมในไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางคำมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องสังข์หยด ตามลำดับ ส่วนการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์ข้างต้น โดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) radical scavenging activity, 2,2'-azinobis (3-ethyl benzo thiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical cation scavenging activity, reducing power และ total phenolic content พบว่าสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกของข้าวกล้องดอกขามมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด รองลงมาคือข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องนางคำ ตามลำดับ นอกจากนี้ข้าวกล้องดอกขาม ข้าวกล้องนางคำ และข้าวกล้องดอกข่า มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ดังนั้นข้าวพันธุ์ดังกล่าวจึงถูกเลือกไปศึกษาในการนำไปใช้ประโยชน์ในไส้กรอกอีสานที่มีต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมิ จูลินทรีย์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิพบว่าไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกสูงกว่าข้าวหอมมะลิ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยค่าความเป็นกรดต่ำ และปริมาณกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ( $P < 0.05$ ) ส่งผลให้กระบวนการหมักเกิดได้เร็วกว่า ค่าสีแดงสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ( $P < 0.05$ ) และตรวจไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคในทุกกลุ่มทดลอง ค่าการออกซิเดชันของไขมันภายหลังกระบวนการหมักผ่านไป 4 วัน ได้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางคำมีค่าต่ำกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ( $P < 0.05$ ) นอกจากนี้ได้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าได้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ( $P < 0.05$ ) โดยได้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในระหว่างกระบวนการหมักและการเก็บรักษา จากนั้นทำการศึกษาคุณภาพและความปลอดภัยของได้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามที่มีวิธีการหมักแตกต่างกันต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ให้ผลดีที่สุดเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการหมักสั้น สูญเสียน้ำหนักน้อย เหมาะสำหรั้นำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือผู้ประกอบการรายย่อยต่อไป



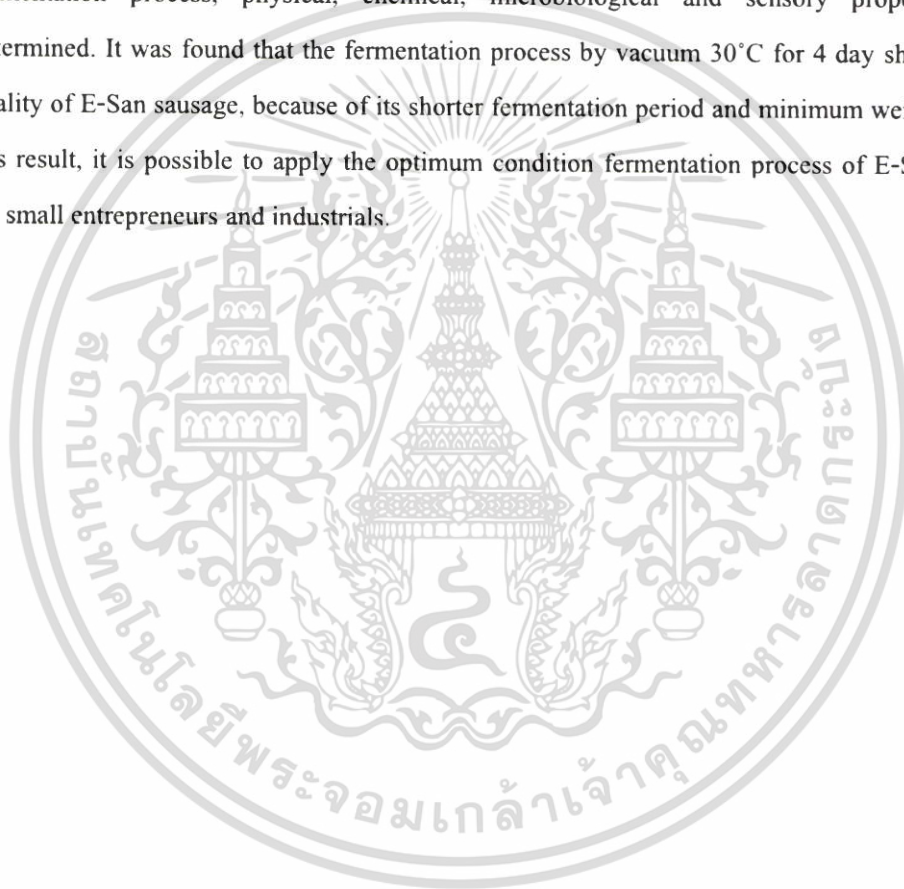
<b>Thesis</b>	Study on Antioxidant Properties of Local Upland Rice in Southern Part of Thailand and Application in E-San Sausage
<b>Student</b>	Mr. Panupong Doungkhwan
<b>Student ID.</b>	59604035
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Animal Science
<b>Year</b>	2018
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Komkhae Pilasombut
<b>Thesis Co-advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Chamroon Laosinwattana Asst. Prof. Dr. Piyada Tavitchasri

## ABSTRACT

The objectives of this research were to study on using local upland rice in southern part of Thailand and application in E-San sausage on antioxidant activities, quality and safety. The consumer preference on sensory characteristics of E-San sausage produced with six different varieties of local upland rice (Khadkhawsamdeun, Samdeun, Nangdam, Dokha, Shangyod and Dokham) compared to Thai jasmine rice which from obtained market and commercial brand were evaluated. The results showed that the highest acceptance score in raw E-San sausage was found in E-San sausage adding Nangdam rice. For cooked E-San sausage, the highest overall acceptance was observed in E-San sausage adding Nangdam Dokha and Shangyod rice, respectively. The antioxidant activities of six tradition rice varieties were analyzed for antioxidant activities using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) radical scavenging activity, 2,2'-azinobis (3-ethylbenzo thiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical cation scavenging activity, reducing power and total phenolic content. The result displayed that the highest antioxidant activity of upland rice were observed in Dokham (both raw and cooked rice), Dokha and Nangdam, respectively. In addition, Dokham, Dokha and Nangdam rice revealed the highest carbohydrate content. Therefore, the upland rice was selected for further application in E-San sausage. The physical, chemical, microbiological and antioxidant activity in E-San sausage were performed compare to Thai jasmine rice. The results showed that the E-San sausage made with 3 local upland rice in southern part of Thailand showed higher lactic acid bacteria with no significance different ( $P>0.05$ ). However, the result showed the lower pH and higher total acidity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ III อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

than Thai jasmine rice group ( $P < 0.05$ ). The outstanding redness was found in E-San sausage made with 3 local upland rice compared to Thai jasmine rice ( $P < 0.05$ ). Pathogenic bacteria in E-San sausage all groups were not observed after fermentation process. Lipid oxidation in E-San sausage made with Nangdam rice was lower than Thai jasmine rice after fermentation process ( $P < 0.05$ ). E-San sausage made with local upland rice revealed higher antioxidant activity than Thai jasmine rice ( $P < 0.05$ ) and the highest antioxidant activity was demonstrated in E-San sausage made with Dokham rice. For quality and safety of E-San sausage with different fermentation process, physical, chemical, microbiological and sensory properties were determined. It was found that the fermentation process by vacuum  $30^{\circ}\text{C}$  for 4 day show the best quality of E-San sausage, because of its shorter fermentation period and minimum weight loss. At this result, it is possible to apply the optimum condition fermentation process of E-San sausage for small entrepreneurs and industrials.



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.คมแห พิตาสมบัติ อีกทั้งรองศาสตราจารย์ ดร.จัญญู เล้าสินวัฒนา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา ทวิชศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินีนานู พลโยธา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร นาคทอง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ร่วมจิตร นกเขา ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับข่าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ ตลอดจนคุณสุภาพรรณ ศฤงฆาร คุณกัทริน วิจิตรระการ พี่ และเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท น้องๆ นักศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรสัตวศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือจนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ลงอย่างดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ภานุพงษ์ ดวงขวัญ

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ชนิดของข้าว.....	14
2.6.1 ข้าวเจ้า (ข้าวขาว).....	14
2.6.2 ข้าวกล้อง.....	14
2.6.3 ข้าวขาวขั้วสี.....	15
2.7 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว.....	15
2.7.1 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate).....	15
2.7.2 โปรตีน (Protein).....	17
2.7.3 ไขมัน (Fat).....	17
2.8 วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ.....	18
2.8.1 วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) radical scavenging activity.....	18
2.8.2 วิธี 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical cation scavenging activity.....	19
2.8.3 วิธีทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์สาร (Reducing power).....	19
2.8.4 วิธีทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content).....	20
2.9 วิธีการทดสอบการออกซิเดชันในอาหาร.....	21
2.9.1 วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS).....	21
2.10 ผลิตภัณฑ์เนื้อแบบหมักเปรี้ยว (Fermented Meat Products).....	22
2.10.1 วิธีการหมักเนื้อหมักเปรี้ยว.....	23
2.10.2 บทบาทของข้าวต่อวิธีการหมักเนื้อหมักเปรี้ยว.....	24
2.11 บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก.....	24
2.11.1 แบคทีเรียที่สามารถสร้างกรดแลกติกในระหว่างการหมักเนื้อสัตว์.....	25
2.11.2 แบคทีเรียกรดแลกติก (Lactic acid bacteria; LAB).....	25
2.12 ไส้กรอกอีสาน (E-San Sausage).....	27
2.12.1 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักไส้กรอกอีสาน.....	29
2.12.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน-ไส้กรอกอีสานหมู.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้ามอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	32
3.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ และสารเคมี.....	32
3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือ.....	33
3.3 พันธุ์ข้าวที่ใช้ทดสอบ.....	34
3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	40
3.4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาการใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสานต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค.....	40
3.4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และคุณค่าทางโภชนาการ ของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์.....	42
3.4.3 การทดลองที่ 3 คัดเลือกข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้าน อนุมูลอิสระสูงรวมถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคมาผลิตไส้กรอกอีสาน ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ในระหว่างวิธีการหมัก และศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	46
3.4.4 การทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่เหมาะสม ต่อคุณภาพและความปลอดภัย.....	54
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	56
4.1 ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวไร่ พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์.....	56
4.1.1 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานดิบ.....	56
4.1.2 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานสุก.....	57
4.2 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และคุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้.....	60
4.2.1 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้.....	60
4.2.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้บางสายพันธุ์ในการผลิตไส้กรอกอีสานต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในระหว่างกระบวนการหมักและการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์.....	71
4.3.1 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีในระหว่างกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์.....	71
4.3.2 คุณภาพทางชีวภาพในระหว่างกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์.....	88
4.3.3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในระหว่างกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์.....	94
4.3.4 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์.....	98
4.3.5 คุณภาพทางชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์.....	111
4.3.6 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์.....	115
4.4 การเปรียบเทียบวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่เหมาะสมต่อคุณภาพและความปลอดภัย.....	120
4.4.1 คุณภาพด้านกายภาพ และเคมีต่อวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธี.....	120
4.4.2 คุณภาพด้านชีวภาพต่อวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธี.....	132
4.4.3 คุณภาพด้านประสาทสัมผัสต่อวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธี.....	139

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	141
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	141
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	142
บรรณานุกรม.....	143
ภาคผนวก.....	163
ภาคผนวก ก.....	164
ภาคผนวก ข.....	168
ภาคผนวก ค.....	169
ภาคผนวก ง.....	175
ภาคผนวก จ.....	181
ภาคผนวก ฉ.....	183
ประวัติผู้เขียน.....	184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวสังข์หยด.....	12
2.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่ดอกข่า.....	13
2.3 ปริมาณธาตุเหล็ก และโปรตีนของข้าวไร่จังหวัดชุมพร.....	14
2.4 สารอาหารของข้าวแต่ละชนิด.....	15
3.1 สูตรการผลิตไส้กรอกอีสาน ปริมาณ 4 กิโลกรัม.....	41
4.1 ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อสี และความชอบโดยรวมต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ไส้กรอกอีสานดิบที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 8 สายพันธุ์เปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสาน ทางการค้า (Mean ± SD).....	57
4.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานสุกที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 8 สายพันธุ์เปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานทางการค้า (Mean ± SD).....	59
4.3 กฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ร่วมกับพันธุ์มาตรฐานข้าวหอมมะลิ (Mean ± SD).....	62
4.4 กฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกโดยวิธี ABTS radical cation scavenging activity ของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ร่วมกับพันธุ์มาตรฐานข้าว หอมมะลิ (Mean ± SD).....	64
4.5 กฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกโดยวิธี Reducing power ของข้าวไร่ พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ร่วมกับพันธุ์มาตรฐานข้าวหอมมะลิ (Mean ± SD).....	65
4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกข้าวไร่พื้นเมือง ภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ร่วมกับพันธุ์มาตรฐานข้าวหอมมะลิ (Mean ± SD).....	66
4.7 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ และข้าวหอมมะลิ.....	70
4.8 ค่าความเป็นกรดต่าง และปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD).....	76
4.9 ค่าสี (CIE L*, a* และ b*) ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสาน ที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD).....	77
4.10 ค่าความสดใส และค่าองศาของสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสาน ที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD).....	79

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.21 ค่าการสูญเสียน้ำหนักต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสาน ที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD).....	105
4.22 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis) ต่อระยะเวลาการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD).....	107
4.23 ค่าการออกซิเดชันของไขมัน Thio barbituric acid reactive substances (TBARS: mg MDA/kg sample) ต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสาน ที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD).....	110
4.24 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก ยีสต์และรา ต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสาน ที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD).....	113
4.25 จำนวนเชื้อ <i>E.coli</i> , <i>S. aureus</i> และ <i>Salmonella</i> spp. ต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์.....	114
4.26 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging activity, ABTS radical cation scavenging activity และ Reducing power ต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิต โดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD).....	118
4.27 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสาน ที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD).....	119
4.28 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อค่าความเป็นกรดต่าง และปริมาณกรดทั้งหมด (Mean ± SD).....	122
4.29 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อค่าสี (CIE L*, a* และ b*) (Mean ± SD).....	125

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.30 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อค่าความสดใส และค่าองศาของสี (Mean $\pm$ SD).....	127
4.31 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการหมัก (Mean $\pm$ SD).....	129
4.32 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis) (Mean $\pm$ SD).....	131
4.33 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก (Mean $\pm$ SD).....	136
4.34 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อจำนวนรา และเชื้อ <i>E. coli</i> .....	137
4.35 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อจำนวนเชื้อ <i>S. aureus</i> และ <i>Salmonella</i> spp.....	138
4.36 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Mean $\pm$ SD).....	140
<b>ตารางภาคผนวกที่</b>	<b>หน้า</b>
ข 1 ค่าความเป็นกรดต่างของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 8 สายพันธุ์เปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานทางการค้า (Mean $\pm$ SD).....	168

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของ Anthocyanin.....	10
2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Amylose และ Amylopectin.....	16
2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูล DPPH กับสารต้านอนุมูลอิสระ (AH).....	18
2.4 การออกซิเดชันของสาร ABTS เมื่อทำปฏิกิริยากับ Potassium persulfate ( $K_2S_2O_8$ ) เพื่อสร้างอนุมูลอิสระ $ABTS^{\cdot+}$ กับสาร antiradical compound (AOH).....	19
2.5 ความสามารถในการรีดิวซ์สารของ $Fe^{3+}$ ferricyanide complex ไปเป็น $Fe^{2+}$ complex.....	20
2.6 การเกิดปฏิกิริยา Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ระหว่างมาลอนัลดีไฮด์ (Malonaldehyde) กับสาร Thiobarbituric acid (TBA).....	21
2.7 วิธีการหมักกรดแลคติกจากกลูโคสผ่านกระบวนการหมักแบบ Homofermentative.....	26
2.8 วิธีการหมักกรดแลคติกจากกลูโคสผ่านกระบวนการหมักแบบ Heterofermentative.....	27
3.1 พันธุ์ข้าวที่ใช้ทดสอบ.....	34
4.1 ผลของวิธีการหมักใส่กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อจำนวนยีสต์ (log cfu/g).....	134
4.2 ผลของวิธีการหมักใส่กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อจำนวน Coliform (log cfu/g).....	135
<b>ภาพผนวกที่</b>	<b>หน้า</b>
จ 1 ภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์ใส่กรอกอีสานแบบดิบ (A) และแบบสุก (B) (ก) ใส่กรอกอีสาน ทางการค้า ยี่ห้อ A (ข) ใส่กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B (ค) ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A (ง) ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B (จ) ข้าวกล้องนางดำ (ฉ) ข้าวขัดขาวสามเดือน (ช) ข้าวกล้องดอกข่า (ซ) ข้าวกล้องสังข์หยด (ฅ) ข้าวกล้องดอกขาม และ (ฌ) ข้าวกล้องสามเดือน.....	183

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญ และที่มา

ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้เป็นพันธุ์ข้าวที่มีการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากโครงการพระราชดำริของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี การใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่นิยมปลูกและบริโภคในท้องถิ่นเท่านั้น อีกทั้งมีความหลากหลายทางพันธุกรรมทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว มีลักษณะเด่นบางประการ เช่น ความหอม คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน เช่น พันธุ์ดอกขาม นางคำ สังข์หยด เล็บนก ดอกพะยอม หอมจันทร์กาบดำ ดอกข่า และไข่มดรีน ซึ่งข้าวดังกล่าวได้มีการใช้ประโยชน์เฉพาะเกษตรกรภาคใต้ แต่การใช้ประโยชน์ยังอยู่ในวงจำกัดเนื่องจากขาดข้อมูลพื้นฐานในเชิงวิทยาศาสตร์ หากปลูกเป็นข้าวออร์แกนิก (organic) โดยไม่มีการใช้สารเคมี ทำให้ได้ข้าวมีคุณภาพและมีคุณค่าทางอาหารสูง (สมทรง โชติชื่น และคณะ. 2559; ร่วมจิตร นกเขา. 2559) นอกจากนี้มีรายงานว่าในพืช ผัก ผลไม้หลายชนิดมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันรวมทั้งข้าวไร่พื้นเมืองด้วย โดยเฉพาะเมล็ดธัญพืชของข้าวจัดเป็นแหล่งของธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจากมีสารประกอบโพลีฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และวิตามินอีเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง (Tian *et al.* 2004; Zhou *et al.* 2004; Pedro *et al.* 2016; Mau *et al.* 2017) และจากการสืบค้นข้อมูลเบื้องต้นพบว่าข้าวพื้นเมืองหรือข้าวไร่หลายสายพันธุ์มีสารสำคัญในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) อยู่สูงโดยสารกลุ่มนี้ประกอบด้วยเบต้าแคโรทีน ( $\beta$ -carotene) ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอของร่างกาย และมีสารที่ช่วยในการป้องกันโรคต่างๆที่มีสาเหตุจากอนุมูลอิสระ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง โรคระบบภูมิคุ้มกันผิดปกติ เป็นต้น อีกทั้งมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่กำลังเป็นกระแสนิยมของผู้บริโภค (Deming *et al.* 2005; Panomjan and Amonviriyachai. 2011; Pérez and Aguilar. 2013) ปัจจุบันข้าวพันธุ์พื้นเมืองกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในแง่ของการนำมาใช้ในอุตสาหกรรม การแปรรูป เกษีกรรม เครื่องสำอาง และอาหารเพื่อสุขภาพ (สมทรง โชติชื่น และคณะ. 2559) ทางผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ตลอดจนพัฒนาเป็นอาหารโดยทำเป็นอาหารหมักเนื้อ ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากข้าวร่วมกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และเป็นการยกระดับข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้รวมทั้งเป็นการส่งเสริมอาชีพเกษตรกรให้มีรายได้เพิ่มขึ้น

ไส้กรอกอีสานหรือไส้กรอกเปรี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อหมักของไทยที่มีรสชาติเปรี้ยวและได้รับความนิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Sriphochanart and Skolpap. 2011; Vatanyoopaisarn *et al.* 2011) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากเนื้อสุกร ไขมันสุกร ข้าวสุก ปูรงรสด้วยเครื่องปรุง เครื่องเทศและสมุนไพร เช่น น้ำตาลทราย เกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระเทียมบด พริกไทย ลูกผักชี ผสมให้เข้ากัน นวดจนเหนียว บรรจุใส่หมูหรือใส่ชนิดอื่นที่บริโภคได้ มัดเป็นท่อน ผึ่งไว้ในที่สะอาดจนเปรี๊ยะ และต้องทำให้สุกก่อนรับประทาน เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อหมักที่ทำงานและได้รับความนิยมในการบริโภค (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2546; Phromraksa et al. 2004; Phalakornkule and Tanasupawat. 2006) โดยทั่วไปในประเทศไทยมีการผลิตเองในครัวเรือน ซึ่งแบคทีเรียแลคติกที่ปนเปื้อนมาจากวัตถุดิบมีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการหมักแล้วสร้างกรดทำให้เกิดรสเปรี้ยวในไส้กรอกอีสาน สำหรับชนิดที่พบมาก คือ *Lactobacillus plantarum* และ *Pediococcus cerevisiae* (Phromraksa et al. 2005; Rantsiou and Cocolin. 2008; Sripochanart et al. 2011; Vangpikul and Kansandee. 2014; Azam et al. 2017) การผลิตไส้กรอกอีสานจะต้องมีข้าวเป็นส่วนประกอบเพื่อเป็นอาหารของแบคทีเรียกรดแลคติกซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการหมักและควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคที่อาจปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ ในบางพื้นที่อาจใช้ข้าวเหนียวหรือข้าวเจ้าในการผลิตไส้กรอกอีสาน (สุเมธชา วัฒนสินธุ์. 2545; อัจฉรา เพิ่ม. 2550; Azam et al. 2017) ปัจจุบันพบว่าได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวได้หลากหลายมากขึ้น เช่น การทำน้ำนมข้าว อาหารเด็กอ่อน รวมไปถึงการนำข้าวมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสุขภาพสำเร็จรูป แต่ยังไม่พบการนำข้าวมาใช้ประโยชน์ร่วมกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงมาพัฒนาทำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการมีสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์ของพืชร่วมกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์รวมทั้งเป็นการเพิ่มคุณค่าให้แก่อาหารหมักของไทยอีกด้วย

## 1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสานต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค
- 1.2.2 เพื่อศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และคุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสานต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในระหว่างกระบวนการหมักและการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา
- 1.2.4 เพื่อศึกษาวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่เหมาะสมต่อคุณภาพและความปลอดภัย

## 1.3 สถานที่ดำเนินงาน

- 1.3.1 ห้องปฏิบัติการจุลินทรีย์เนื้อสัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อนุมูลอิสระ (Free radical)

อนุมูลอิสระเป็นสารที่มีอิเล็กตรอน โดคเดี่ยว (unpaired electrons) ในอะตอมหรือโมเลกุล พบได้ทุกแห่งในสิ่งแวดล้อม ในสิ่งมีชีวิต และในเซลล์ที่มีการใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จาก การใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ต่างๆของเซลล์ อนุมูลอิสระเกิดขึ้นได้เมื่อพันธะระหว่างอะตอมแตกออกทำให้อนุมูลอิสระไม่เสถียร และไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับ สารชีวโมเลกุลในร่างกายอย่างรวดเร็ว (ประสงค์ เทียนบุญ. 2553; Gülçin. 2012; Pérez and Aguilar. 2013)

สำหรับสารอนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้องในทางชีววิทยา สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (reactive oxygen species, ROS) หมายถึงโมเลกุลที่ว่องไว ต่อการทำปฏิกิริยาอาจเป็นอนุมูลอิสระ เช่น superoxide anion radical ( $O_2^-$ ), hydroxyl radical ( $HO^\cdot$ ), hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) และ hypochlorous acid (HOCL) เป็นต้น และกลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็น องค์ประกอบ (reactive nitrogen species , RNS) หมายถึงกลุ่มสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ บางตัวอาจจัดเป็นอนุมูลอิสระ ที่มีอิเล็กตรอนไม่ครบคู่ มีความสามารถหรือความว่องไวมากในการ ที่จะไปออกซิไดซ์ที่สำคัญ เช่น peroxynitrite ( $ONOO^\cdot$ ) และ nitric oxide ( $NO^\cdot$ ) เป็นต้น (อนันต์ สกฤตภิม. 2551; Valko *et al.* 2007; Gülçin. 2012) ซึ่งแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกัน โดยอนุมูลอิสระ เหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้เองตามปกติจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ (cellular metabolism) แต่เมื่อเกิดอนุมูลอิสระเหล่านี้ ร่างกายจะมีกลไกในการกำจัดอนุมูลอิสระดังกล่าว เรียกว่า ระบบการ ด้านอนุมูลอิสระ (antioxidant system) (Kukongviriyapan. 2014)

#### 2.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นคำศัพท์ที่แปลมาจากคำว่า antiradical ปัจจุบันศัพท์คำนี้ได้ถูก บัญญัติใหม่เป็นสารขจัดหรือกำจัดอนุมูล (radical scavenger) เพื่อให้ถูกต้องตรงกับการทำงานอาจ ใช้คำว่าสารแอนติออกซิแดนซ์ (antioxidant) สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับ อนุมูลโดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูลให้หมดไป หรือหยุดปฏิกิริยาถูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ สารขจัดอนุมูล อิสระที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น กรดยูริก (uric acid) บิลิรูบิน (bilirubin) จะกำจัดอนุมูล ส่วนวิตามิน ซี วิตามินอี กลูตาไธโอน เบต้าแคโรทีน และยูบิควิโนน จะหยุดปฏิกิริยาถูกโซ่ของการเกิดอนุมูล

และมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) ตื่นสุดลง (โสภา วัชรกุลป์. 2550)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือสารที่ทำหน้าที่ป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ โดยสารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายหลากหลายรูปแบบ (Halliwell. 2009) บทบาทสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระคือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆของมนุษย์ และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร มีกลไกการออกฤทธิ์ 2 ประเภท คือการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันและการกักออกซิไดซ์โดยสลายห่วงโซ่อนุมูล (ประสงค์ เทียนบุญ. 2553; Chattopadhyay and Chattopadhyay. 2008) สารต้านอนุมูลอิสระมีทั้งที่เป็นสารจากธรรมชาติ (natural antioxidant) และสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidant) โดยแยกตามแหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ

### 2.2.1 แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากสัตว์ พืชผัก เครื่องเทศ องุ่น ออริกาโน สะระแหน่ พริกไทย ชา ถั่วเขียว และสมุนไพรบางชนิดได้รับความสนใจและศึกษากันอย่างกว้างขวางเนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติ (Huang *et al.* 2011) สารต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิด ได้แก่

#### 2.2.1.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์เป็นสารที่ใช้เพื่อการชะลอการเสียของอาหาร อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งลักษณะของการเสียเนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าวรวมถึงการเสื่อมคุณภาพของอาหาร การหืนทำให้อาหารมีสีผิดปกติ กลิ่น รส และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเปลี่ยนแปลงไป คุณค่าทางอาหารลดลง และบางครั้งอาจมีสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกายเกิดขึ้นด้วย สารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการสังเคราะห์และได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหาร ได้แก่ บิวทิลเลตไฮดรอกซีโทลูอินหรือบีเอชที (butylated hydroxytoluene; BHT) สารบิวทิลเลตไฮดรอกซีลอะนิโซลหรือบีเอชเอ (butylated hydroxyanisole; BHA) เทอทีเรียบิวทิลไฮโดรควิโนน หรือ ทีบีเอชควิน (tertiary butyl hydro quinone; TBHQ) โพรพิลแกลเลต (propyl gallate; PG) โดเดซิล (dodecyl) และโพรพิล (propyl) เป็นต้น (อัจฉรา นิยมเดชา และมงคล คงเสน. 2557; Huang *et al.* 2011; Gülçin. 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants)

สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้พบได้ทั้งในจุลชีพ สัตว์ และพืช ซึ่งในพืชบางชนิดมีสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ได้แก่ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เบต้าแคโรทีน ( $\beta$ -carotene) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (non-nutrient) ได้แก่ สารสกัดจากองุ่น (resveratrol) พริก (capsaicin) ข่า ([6]-gingerol) ชาเขียว (epigallocatechin-3-gallate) โดยเติมลงไปในสูตรเป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เพื่อให้อายุและรสชาติ สารเหล่านี้ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระหรือแม้กระทั่งป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระไปทำลายเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย การได้รับอนุมูลอิสระจำนวนมากจะเป็นผลร้ายต่อสุขภาพ (สุรางค์รัตน์ แดงจิระ. 2558; Shen *et al.* 2009; Pérez and Aguilar. 2013)

## 2.3 กลไกในการต้านอนุมูลอิสระ

กลไกในการต้านอนุมูลอิสระของสารแอนติออกซิแดนซ์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารแอนติออกซิแดนซ์ปฐมภูมิ (primary antioxidant) และสารแอนติออกซิแดนซ์ทุติยภูมิ (secondary antioxidant) สารแอนติออกซิแดนซ์ปฐมภูมิทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทำหน้าที่ให้โปรตอน (hydrogen transfer) หรืออิเล็กตรอน (electron transfer) แก่อนุมูลอิสระ ส่งผลให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรและไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยอาศัยกลไกการยับยั้งปฏิกิริยาด้วยหลักการ Hydrogen atom transfer (HAT-based) และ Single-electron transfer (SET-based) และสารแอนติออกซิแดนซ์ทุติยภูมิมีหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันนอกเหนือจากการทำหน้าที่ของสารแอนติออกซิแดนซ์ปฐมภูมิดังที่กล่าวเช่นบทบาทในการเป็นสารจับโลหะ (chelating) รวมทั้งการกำจัดซิงเกิ้ลท็อกซิเจน (singlet oxygen scavenging) เป็นต้น (จินทนา ไพบูรณ์ และ อนงค์ จีระภัทร์. 2558; Apak *et al.* 2016)

### 2.3.1 Hydrogen atom transfer (HAT-based)

HAT-based คือ กลไกการต้านอนุมูลอิสระโดยสารแอนติออกซิแดนซ์ (AH) จะให้ไฮโดรเจนอะตอม (H) แก่อนุมูลอิสระ ( $ROO^\cdot$ ) ซึ่งจะทำให้อนุมูลอิสระเหล่านั้นมีความเสถียรมากขึ้นกลายเป็น ROOH และสารแอนติออกซิแดนซ์จะกลายเป็นอนุมูลของสารแอนติออกซิแดนซ์ (phenoxy radical;  $A^\cdot$ ) ดังสมการที่ (1) โดยปฏิกิริยา HAT-based จะไม่ขึ้นกับตัวทำละลายและค่า pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่หากมีสารรีดิวซ์หรือโลหะอยู่ด้วยจะทำให้การวิเคราะห์ซับซ้อนและส่งผลให้ค่าที่วิเคราะห์ได้สูงกว่าความเป็นจริง (จันทนา ไพบูรณ์ และ อนงค์ จีรภัทร์. 2558; Capaldo and Ravelli. 2017)



### 2.3.2 Single-electron transfer (SET-based)

SET-based คือ กลไกการต้านอนุมูลอิสระโดยสารแอนติออกซิแดนซ์จะให้ส่งผ่านหรือส่งผ่านอิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระดังสมการที่ (2)-(4)



จากสมการที่ (1)-(4) สังเกตได้ว่าสารแอนติออกซิแดนซ์ที่ทำหน้าที่ขจัดอนุมูลอิสระโดยอาศัยกลไก HAT-based และ SET-based ให้ผลผลิตที่เหมือนกันในขั้นสุดท้าย แม้ว่าทั้ง 2 กลไกมีกลไกทางจลนศาสตร์และมีสารที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน แต่เมื่อรวมสมการที่ (2)-(4) ของกลไก SET-based จะได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับสมการของกลไก HAT-based ซึ่งแสดงดังสมการที่ (1) ดังนั้นในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในบทบาทการเป็น primary antioxidant ของสารแอนติออกซิแดนซ์ ควรจะทำการวิเคราะห์ทั้งสองกลไกนี้ควบคู่กันไปเสมอ (Mira *et al.* 2002; Apak *et al.* 2016)

### 2.3.3 Chelating ability

โลหะมีบทบาทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) และสามารถเป็นสารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (pro-oxidant) โดยทำหน้าที่ส่งผ่านอิเล็กตรอนให้แก่กรดไขมันไม่อิ่มตัว (RH) ส่งผลให้เกิดการแตกตัวของกรดไขมัน (Mira *et al.* 2002) ดังสมการที่ (5)



นอกจากนี้โลหะจะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นและโลหะยังทำให้เกิด  $\cdot\text{OH}$  (hydroxyl radical) ได้โดยปฏิกิริยาเฟนตัน (fenton) ดังสมการที่ (6)-(7) ซึ่งจัดเป็นอนุมูลอิสระที่มีอันตรายต่อร่างกาย ภายในร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มนุษย์ OH<sup>-</sup> จะไปทำลายเซลล์ในร่างกายโดยการทำให้เกิด lipid oxidation ที่บริเวณผนังเซลล์และทำให้โครงสร้างโปรตีนเสียสภาพ ซึ่งสารแอนติออกซิเดนต์ที่มีสมบัติในการจับโลหะจัดอยู่ในกลุ่มทุติยภูมิมีบทบาทในการยับยั้งกิจกรรมของโลหะโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะ (complexation) ทำให้ไม่สามารถทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Mira *et al.* 2002)

## 2.4 สารต้านอนุมูลอิสระในธัญพืช

สารต้านออกซิเดชันที่ได้จากธรรมชาติ คือสารประกอบที่ได้จากพืชหรือเนื้อเยื่อของสัตว์ และมีคุณสมบัติการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้จากแหล่งต่างๆ เช่น ผัก ผลไม้ ธัญพืช เครื่องเทศ อาจมีอยู่ในส่วนเปลือก เมล็ด ใบ หรือลำต้น (Liu *et al.* 2015; Mau *et al.* 2017; Pan *et al.* 2017) เมล็ดธัญพืชของข้าวจัดเป็นแหล่งของธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพเนื่องจากมีสารประกอบ โพลีฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ วิตามินอี (Liu *et al.* 2015; Jiang *et al.* 2016; Mau *et al.* 2017) และเบต้าแคโรทีนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง (Tian *et al.* 2004) ซึ่งสารดังกล่าวมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะเชื้อหุ้มเมล็ดในส่วนของผิวเมล็ดจนถึงเชื้อหุ้มเมล็ดชั้นในมีสารต่างๆ เช่น แอนโทไซยานินส่วนใหญ่เป็น cyanidin-3-glucoside (Mau *et al.* 2017) สำหรับข้าวไร่พื้นเมืองหลายสายพันธุ์มีสารดังกล่าวมีฤทธิ์ช่วยในการป้องกันโรคต่างๆที่มีสาเหตุจากอนุมูลอิสระ เช่น โรคหัวใจ โรคกระเพาะ โรคมะเร็ง โรคระบบภูมิคุ้มกันผิดปกติ เป็นต้น (อมรรัตน์ ถนนแก้ว และคณะ. 2558)

รัชณี กงกาญจฉาย และคณะ (2551) ทำการศึกษาหาปริมาณเหล็ก สังกะสี ทองแดง วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และลูทีนในข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากแหล่งต่างๆของประเทศไทย พบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีสีม่วงเข้มจะเป็นแหล่งที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณเหล็ก 6.9-23.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสี 12-35.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดง 1.30-6.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม วิตามินอี 261.41-1793.14 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม เบต้าแคโรทีน 22.16-34.76 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม และลูทีน 170.30-208.80 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม

สัจชัย ยอดมณี (2552) ศึกษาคุณภาพข้าวพื้นเมืองมีสีของภาคใต้ในประเทศไทย จำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ กำหยาน หอมกระดังงา สังข์หยด ซอไม้ไผ่ กรามแรด เหนียวแดงรหัส 96060 เหนียวดำรหัส 96025 และเหนียวดำรหัส 96044 รวมถึงการศึกษาปริมาณโพลีฟีนอลในข้าวพันธุ์ดังกล่าว ซึ่งการศึกษาพบว่าข้าวเหนียวดำรหัส 96044 มีปริมาณโพลีฟีนอลสูงสุด รองลงมาคือข้าวเหนียวดำรหัส 96025 ซอไม้ไผ่ ข้าวเหนียวแดงรหัส 96060 สังข์หยด หอมกระดังงา กรามแรด และกำหยาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 320.24, 280.15, 208.42, 84.43, 82.01, 80.44, 80.17 และ 58.89 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ และพบว่าสารสกัดจากข้าวเหนียวดำรหัส 96044 มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุด และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS ของข้าวมีสีพันธุ์พื้นเมืองทั้ง 8 สายพันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.22-0.10 มิลลิโมลาร์ต่อ 1 กรัมตัวอย่าง

## 2.4.1 สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในข้าว

เยื่อหุ้มเมล็ดข้าวมีสารสีที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระอยู่หลายชนิดส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่มของโพลีฟีนอล (polyphenol compounds) รวมถึงสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) นอกจากนี้ยังมีวิตามินอี และเบต้าแคโรทีน ( $\beta$ -carotene) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Escribano-Bailon *et al.* 2004; Mau *et al.* 2017) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.4.1.1 โพลีฟีนอล (Polyphenol compounds)

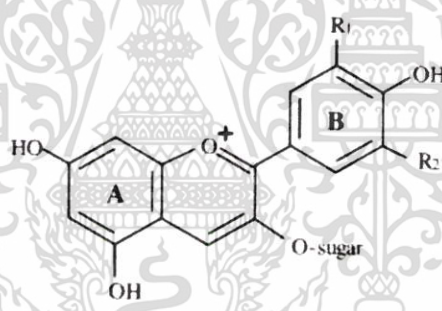
โพลีฟีนอลเป็นสารที่พบมากในธรรมชาติทั้งพืช ผัก และผลไม้ โดยจะพบมากในองุ่น ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ รวมถึงข้าวที่มีรวงควัดหรือข้าวมีสี โพลีฟีนอลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือกรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ โพลีฟีนอลเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญโดยมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบและการแพ้ รวมถึงการมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด เป็นสารต้านการก่อมะเร็งและลดความดันโลหิตจากฤทธิ์ขยายหลอดเลือด ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวสอดคล้องกับคุณสมบัติของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Escribano-Bailon *et al.* 2004)

วาริน แสงกิติโกมล และคณะ (2551) รายงานว่าข้าวที่มีสีช่วยในการลดระดับคอเลสเตอรอล (cholesterol) ในเลือดและมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระได้ดี เนื่องจากมีสารโพลีฟีนอล (polyphenol) เป็นตัวช่วยลดปริมาณของอนุมูลอิสระในสิ่งมีชีวิต และสารแอนโทไซยานินอยู่ก่อนข้างสูงเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำงานได้ดีกว่าวิตามินอี ถึง 5 เท่า เมื่อร่างกายได้รับสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เพียงพอ สารนี้จะไปจับกับสารอนุมูลอิสระที่เกิดจากธรรมชาติหรือที่ผลิตจากความผิดปกติภายในร่างกาย ทำให้สารอนุมูลอิสระเหล่านั้นไม่สามารถไปรบกวนการทำงานของเซลล์ต่างๆ ได้ โดยสารทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติเป็นทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และสารต้านการอักเสบ (antiinflammation)

Choi *et al.* (2007) ศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากรัฐพืชบางชนิดที่พบในประเทศเกาหลี พบว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของโพลีฟีนอล และสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ พบว่าปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของโพลีฟีนอลมีปริมาณสูงที่สุดในข้าวฟ่าง รองลงมาคือข้าวสีดำ พบในปริมาณเท่ากับ 733 และ 313 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของแคโรทีนอยด์พบมากในถั่วเขียว (102 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง) และมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวต่ออนุมูล DPPH, ABTS ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิก และ reducing power พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวฟ่าง และข้าวสีดำมี scavenging capacity ความสามารถในการต้านการเกิดอนุมูลอิสระในกรดไลโนเลอิก และ reducing power สูงกว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในข้าวขาว ข้าวบาร์เลย์ และถั่วเขียว เป็นต้น

### 2.4.1.2 แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ โครงสร้างของแอนโทไซยานินประกอบด้วยแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) หรืออะไกลโคนกับน้ำตาลและเอซิล (acylgroup) ซึ่งส่วนนี้จะมีหรือไม่มีก็ได้ (Castaneda-Ovando *et al.* 2009) แอนโทไซยานิดินมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (A) ต่อกันกับวงแหวนเฮเทอโรไซคลิก (C) และมีวงแหวนอะโรมาติกหรืออาจเป็นหมู่ของเมทอกซิล (methoxyl,  $-OCH_3$ ) และไฮดรอกซิล (hydroxyl,  $-OH$ ) มาต่ออีก 1 วง (B) เมื่อมีหมู่น้ำตาลมาสร้างพันธะกับแอนโทไซยานิดินที่ตำแหน่ง 3 และ 5 เรียกโครงสร้างนี้ว่าแอนโทไซยานิน ดังภาพที่ 2.1 (Sancho and Pastore. 2012) สำหรับสารให้สีกลุ่มแอนโทไซยานินที่พบในข้าวมีสีส่วนใหญ่ คือ cyanidin-3-glucoside รองลงมาคือ peonidin-3-glucoside นอกจากนี้อาจพบ cyanidin-3-gentiobioside, cyanidin-3-rhamnoside, cyanidin-3,5-diglucoside, cyanidin-3-rhamnoglucoside, malvidin-3-galacto side, peonidin-3-rhamnoglucoside และ delphinidin จะพบในปริมาณน้อย โดยข้าวต่างชนิดกันจะมีปริมาณแอนโทไซยานินที่แตกต่างกัน (Escribano-Bailon *et al.* 2004)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของ Anthocyanin

ที่มา: Sancho and Pastore (2012)

ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว (2557) รายงานว่าข้าวที่มีสีดำมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดีเนื่องจากมีสารจับอนุมูลอิสระทั้งวิตามินอีกลุ่มไดเมอร์ควิโนโลนเทอร์พีนแอลคาลอยด์ (quinolone alkaloid), phytate g-oryzonol, polyphenol และ anthocyanin อยู่ในข้าวสีดำ เช่นพันธุ์ไรเบอร์รี่ พบว่ามีปริมาณโพลีฟีนอลถึง 752.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง แอนโทไซยานิน 250.36 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และเบต้าแคโรทีน 63.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ซึ่งพบอยู่มากในเนื้อผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sompong *et al.* (2011) ศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวสีแดงและดำ โดยแบ่งเป็นข้าวสีแดง จำนวน 9 สายพันธุ์ และข้าวดำ จำนวน 3 สายพันธุ์ จากประเทศไทย จีน และศรีลังกา พบว่าในข้าวสีดำทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณสารแอนโทไซยานิน 109.5-256.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ซึ่งสูงกว่าข้าวสีแดงทั้ง 9 สายพันธุ์ที่มีปริมาณแอนโทไซยานิน 0.3-1.4 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และพบว่าข้าวเหนียวดำเปลือกขาวจากประเทศไทย และข้าวสีดำจากประเทศจีน มีปริมาณ cyanidin 3-glucoside เท่ากับ 137 และ 141 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

Chen *et al.* (2012) ทำการศึกษาข้าว จำนวน 9 สายพันธุ์ โดยแบ่งข้าวเป็น 4 กลุ่ม คือข้าวที่มีเมล็ดสีขาว สีเขียว สีแดง และสีดำ พบว่าเมล็ดข้าวที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณ และชนิดของแอนโทไซยานินแตกต่างกัน โดยข้าวสีดำมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุด รองลงมาคือข้าวสีแดง ส่วนข้าวสีเขียว และสีขาวมีปริมาณแอนโทไซยานินน้อยมาก

## 2.5 ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้

ข้าวพื้นเมือง (Landrace rice , Indigenous หรือ Native rice) หมายถึง ข้าวพันธุ์ดั้งเดิมที่มีการปลูกอยู่ในแต่ละท้องถิ่นมาตั้งแต่โบราณกาล ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ไม่บริสุทธิ์ (Mixture) หรือมีพันธุ์อื่นปนอยู่ด้วย ซึ่งถือว่าเป็นภูมิปัญญาของชาวนาไทยที่ปลูกรักษาพันธุ์มาหลายชั่วอายุ ทำให้คงไว้ซึ่งมีความหลากหลายทางพันธุกรรมข้าว (สมทรง โชติชื่น และคณะ. 2559) ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางของการผันแปรพันธุ์ข้าวทำให้มีพันธุ์ข้าวมากกว่า 3,500 สายพันธุ์ ที่มีลักษณะแตกต่างกัน (ประพศิต พรหมสมบูรณ์ และคณะ. 2559) โดยมีพันธุ์ข้าวพื้นเมือง ข้าวป่า ข้าวพันธุ์ดีต่างประเทศ และสายพันธุ์ข้าวดีเด่นจากทั่วประเทศทั้งหมด 10,292 สายพันธุ์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ข้าวนาสวน รองลงมาข้าวไร่ (วันวิสาข์ คำทวี และคณะ. 2558; Sritoomma. 2009) สำหรับข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ เช่น พันธุ์ดอกขาม นางดำ สังข์หยด เล็บนก ดอกพะยอม หอมจันทร์กาบดำ ดอกข่า และไข่มุกรีน เป็นต้น ยังคงมีความหลากหลายขององค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดที่แตกต่างกัน เช่น เยื่อหุ้มเมล็ด โดยพบว่าเยื่อหุ้มเมล็ดสีดำหรือม่วง มีองค์ประกอบทางเคมี เช่น เหล็ก แอนโทไซยานิน และฟีนอลิกสูงกว่าเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดง และสีขาว ตามลำดับ (Yodmanee *et al.* 2011)

### 2.5.1 ข้าวสังข์หยด

ข้าวสังข์หยดเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของภาคใต้ จัดเป็นกลุ่มข้าวที่มีสีแดงหรือสีม่วง มีลักษณะพิเศษ คือเยื่อหุ้มเมล็ดมีสีแดงเข้ม และคุณค่าทางโภชนาการสูง คือ แอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน และยังมีคุณสมบัติต่อต้านการเกิดมะเร็งได้ นอกจากนี้ยังมีในอะซิน ช่วยในการทำงานของระบบประสาทและผิวหนัง วิตามินบี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา วิตามินบี 2 ช่วยป้องกันโรคปากนกกระชอก นอกจากนี้สารสีแอนโทไซยานินยังประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยลดหรือชะลอความแก่ได้ รวมทั้งมีแร่ธาตุที่สำคัญ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียม และฟอสฟอรัสช่วยป้องกันโรคกระดูกอ่อน ภาวะกระดูกพรุน สีแดงของข้าวสังข์หยดเป็นรงควัตถุประเภทฟลาโวนอยด์ชนิดแอนโทไซยานิน มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) พวก oryzanol และมี Gamma Amino Butyric Acid (GABA) ซึ่งช่วยชะลอความชรา และลดความเสี่ยงในการเป็นโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคกระเพาะ โรคมะเร็ง โรคระบบภูมิคุ้มกันผิดปกติ เป็นต้น นอกจากนี้ข้าวกล้องสังข์หยดมีสีและกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ ดังนั้นจึงเป็นข้าวที่มีศักยภาพสูงในการผลิตเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (อมรรัตน์ ถนนแก้ว และคณะ. 2558; Yawadio *et al.* 2007) นอกจากนี้มีนักวิจัยหลายท่าน อาทิ Keawpeng and Meenune (2012) รายงานว่าข้าวกล้องสังข์หยดมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 15.50 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ Sompong *et al.* (2011) กล่าวว่าข้าวกล้องสังข์หยดมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 0.60 มิลลิกรัมไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ 14.56%

## ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวสังข์หยด

คุณค่าทางโภชนาการ	
พลังงาน (kcal)	364.2
โปรตีน (g)	73
คาร์โบไฮเดรต (g)	73.1
เส้นใย (g)	4.81
แคลเซียม (mg)	13
ฟอสฟอรัส (mg)	317
ธาตุเหล็ก (mg)	1.4
วิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 (mg)	0.32 และ 0.01
ไนอะซิน (mg)	6.4

ที่มา: อมรรัตน์ ถนนแก้ว และคณะ (2558)

### 2.5.2 ข้าวไร้ดอกขำ

ไสว ประดิษ ฅ ถกลาง (2559) รายงานว่าข้าวไร้ดอกขำสามารถช่วยลดความเสี่ยงจากโรคกระเพาะ โรคเบาหวาน ช่วยระบบย่อยอาหาร อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นต่อมไร้ท่อให้ขับฮอร์โมนอย่างสม่ำเสมอ ลดอาการผิดปกติในวัยใกล้หมดประจำเดือน ส่งเสริมการดูดซึมแคลเซียม มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ชะลอการเสื่อมสภาพของเซลล์ไม่ให้แก่ก่อนวัย ลดคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด กระตุ้นให้ตับสร้างสารอินซูลิน นอกจากนี้ยังมีสารจำพวกวิตามินบี ฟอสฟอรัส เหล็ก ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้ส่งเสริมระบบประสาท การมองเห็น ความจำซึ่งจำเป็นสำหรับผู้เข้าสู่วัยทองทั้งหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และชายอีกด้วย นอกจากนี้สมทรง โชติชั้น และคณะ (2559) รายงานว่าพบวิตามินอีโดยเฉพาะแกมมาโทโคฟีรอล ( $\gamma$ -Tocopherol) ในข้าวไร้ดอกขำ 13.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 2.2) ซึ่งวิตามินอีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยไขกระดูกในการสร้างเลือด ด้านการแข็งตัวของเลือด ลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดสมองและหัวใจ ช่วยให้ระบบสืบพันธุ์ เซลล์ประสาท และกล้ามเนื้อทำงานได้ตามปกติ

**ตารางที่ 2.2** คุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร้ดอกขำ

คุณค่าทางโภชนาการ	
Protein (g/100g)	7.570
Vitamin B1 (mg/100g)	0.194
Alpha-tocopherol (mg/kg)	12.15
Gamma-tocopherol (mg/kg)	13.90
cis-9-Oleic acid	1.22
cis-9,12-Linoleic acid	0.97
alpha-Linolenic acid	0.03
Monounsaturated fatty acid	1.23
polyunsaturated fatty acid	1.00
Unsaturated fat	2.23
Calcium (Ca) (mg/kg)	91.937
Iron (Fe) (mg/kg)	11.436
Phytate (mg/kg)	2,389.59
Gamma Oryzanol (mg/kg)	271.83
Ascorbic acid (mg/kg)	316.51

ที่มา: คัดแปลงจากสมทรง โชติชั้น และคณะ (2559)

### 2.5.3 ข้าวไร้จังหวัดชุมพร

Choola-aied (2012) ศึกษาการหาวิตามินอีในข้าวไร้จังหวัดชุมพร พบว่าข้าวสายพันธุ์แม่ฝิ่ง ข้าวเหนียวดำกาดันเขียว ข้าวเหนียวดำกาดันดำ ข้าวพันธุ์ภูเขาทอง เล็บนกไร่ ดอกขาม สามเดือน นางดำ นางกรวณ นางเขียน และเล็บมือนาง มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ lipophilic หลักซึ่งยับยั้งการ peroxidation ของไขมันไม่อิ่มตัว ในขณะที่ร่วมจิตร นกเขา (2559) รายงานว่าข้าวไร้สายพันธุ์ชุมพรมีธาตุเหล็กสูง (ตารางที่ 2.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ปริมาณธาตุเหล็ก และ โปรตีนของข้าวไร่ห่มพร

พันธุ์ข้าว	ธาตุเหล็ก (mg/100g)	โปรตีน (%)
พันธุ์นางคำ	1.95	9.05
พันธุ์ดอกขาม	2.32	7.76
พันธุ์สามเดือน	2.72	7.11
พันธุ์ภูเขาทอง	2.17	9.20
พันธุ์นางเขียน	1.73	7.47
พันธุ์ดำกาดันดำ	2.50	9.82

ที่มา: ร่วมจิตร นกเขา (2559)

## 2.6 ชนิดของข้าว

ข้าวที่ปลูกเพื่อบริโภค สามารถแบ่งออกได้เป็นชนิดต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสิ่งที่ใช้เป็นมาตรการสำหรับการแบ่งแยกข้าว โดยแบ่งตามสภาพพื้นที่ปลูกเป็นข้าวไร่ ข้าวนาสวน และข้าวนาเมืองหรือข้าวขึ้นน้ำ และแบ่งตามชนิดแป้งในเมล็ดที่บริโภคเป็นข้าวเจ้า และข้าวเหนียว สำหรับข้าวที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด ได้แก่

### 2.6.1 ข้าวเจ้า (ข้าวขาว)

ข้าวเจ้าเป็นข้าวที่มีการนำไปกะเทาะเปลือกออกแล้วนำไปขัดสีเอาส่วนเยื่อหุ้มออกไป ทำให้ได้ข้าวที่มีเมล็ดสีขาวก่อนที่นำมาหุงกิน ซึ่งเมื่อรับประทานจะให้แป้งและพลังงานเท่านั้น ส่วนอาหารอื่นๆจะเหลืออยู่ปริมาณน้อย (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

### 2.6.2 ข้าวกล้อง

ข้าวกล้องเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการกะเทาะเอาออกจากเปลือกเท่านั้น หมายถึงข้าวที่ผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว ข้าวที่ได้จึงเป็นข้าวที่มีสีชาขุ่น แต่เป็นข้าวที่ยังคงมีจมูกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวอยู่มากเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ข้าวกล้องจะมีเปลือกชั้นในบางๆอยู่คลุมด้วยสารเส้นใย ถัดเข้าไปเป็นชั้นของวิตามินซึ่งมีประโยชน์มากกว่าข้าวขาวธรรมดาเพราะผ่านการกะเทาะเปลือกออกเพียงครั้งเดียวทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดข้าวยังอยู่ เป็นส่วนที่อุดมไปด้วยแร่ธาตุ วิตามิน เบต้าแคโรทีน ( $\beta$ -carotene) และแกมมาโอไรซานอล (gamma-oryzanol) รวมทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็นทั้ง 8 ชนิด กากใยอาหารที่มีมากกว่าในข้าวขาวถึง 3 เท่า ในปริมาณที่เท่ากัน อีกทั้งมีสารสีและรงควัตถุปนอยู่ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่างๆ เช่น น้ำตาลแก่ น้ำตาลแดง น้ำตาลม่วง น้ำตาลจนเกือบดำ เป็นต้น (Masuzaki *et al.* 2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.3 ข้าวขาวขัดสี

ข้าวขาวขัดสีเป็นเจ้าที่ขัดสีหลายครั้ง จนเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวและจมูกข้าวหลุดออกไปหมด ได้เป็นเมล็ดข้าวสีขาว คุณค่าจึงมีเพียงคาร์โบไฮเดรตอย่างเดียว มีโปรตีนและวิตามินในปริมาณน้อย โดยเฉพาะโปรตีนสูญหายไปกับการขัดสีถึง 30% (อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547)

ตารางที่ 2.4 สารอาหารของข้าวแต่ละชนิด

สารอาหารในข้าว	ข้าวขาวขัดสี	ข้าวสีน้ำตาล	ข้าวสีแดง	ข้าวสีม่วง	ข้าวสีดำ
โปรตีน (g/100g)	6.8	7.9	7.0	8.3	8.5
เหล็ก (mg/100g)	1.2	2.2	5.5	3.9	3.5
สังกะสี (mg/100g)	0.5	0.5	3.3	2.2	-
เส้นใย (g/100g)	0.6	2.8	2.0	1.4	4.9

ที่มา: คัดแปลงจาก Liang *et al.* (2008)

### 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

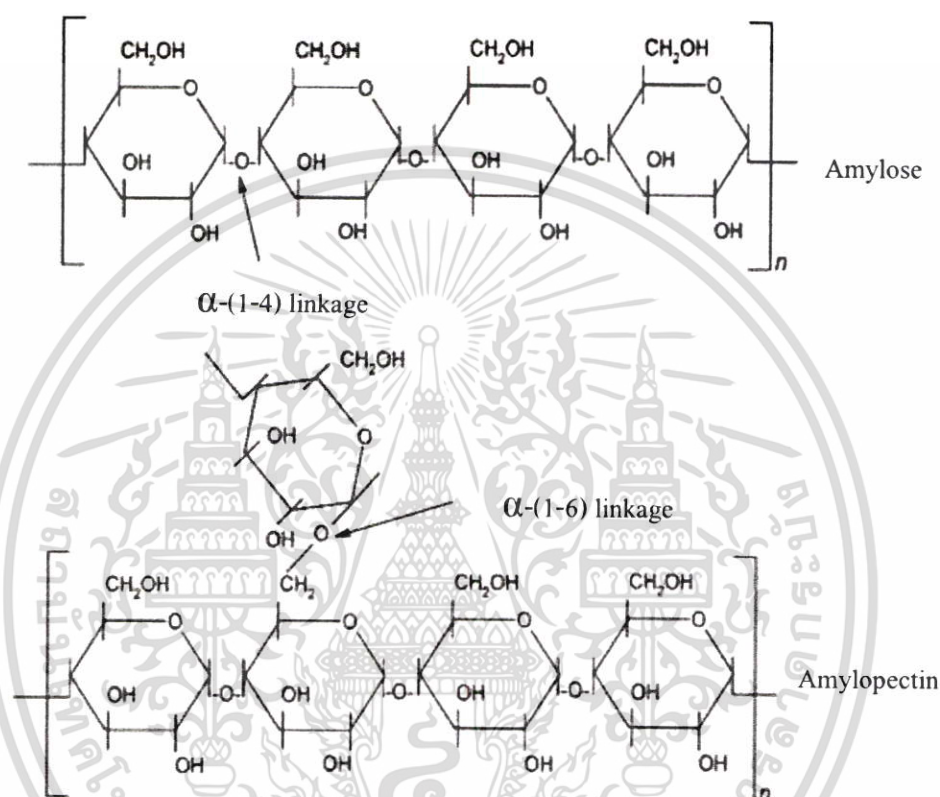
องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำหรือความชื้น ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้าวทั้งในลักษณะข้าวเปลือก ข้าวสาร และข้าวกล้อง โดยมีคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีสตาร์ชเป็นหลักในสัดส่วนต่างๆกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว สำหรับโปรตีนในข้าวยังนับว่าเป็นแหล่งอาหารโปรตีนหลัก ซึ่งจะช่วยให้เจริญเติบโต ส่วนไขมันในข้าวจะอยู่ในกลุ่มไขมันที่มีรูปร่างหยดกลมโดยอยู่ร่วมกับสตาร์ชและโปรตีนในชั้นแอลิวโรนและคัพกะ น้ำหรือความชื้นมีผลต่อคุณภาพข้าวในการเก็บรักษา (เขาวนิพร ชิพประสพ และคณะ. 2559)

#### 2.7.1 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตที่กล่าวถึงคือแป้งหรือสตาร์ช หมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ พบมากที่สุดภายในเนื้อเมล็ดของข้าวเม็ดประมาณ 90% สตาร์ชมีรูปร่างลักษณะเป็นหลายเหลี่ยมและมีขนาดเล็ก ประมาณ 2-9 ไมครอนรวมตัวกันอยู่ภายในอะไมโลพลาสต์ (amyloplast) จำนวน 20-60 เม็ด สตาร์ชเป็นกลุ่มก้อน กลมหรือยาวรี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกลุ่มเม็ดสตาร์ชในอะไมโลพลาสต์ประมาณ 7-39 ไมครอน (เขาวนิพร ชิพประสพ และคณะ. 2559)

โครงสร้างทางเคมีของสตาร์ชจะประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวที่มีขนาดใหญ่ โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยสารประกอบทางเคมี 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) โดยอะไมโลสเป็นโพลีเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคส

ประมาณ 2,000 หน่วยต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแบบขดเป็นเกลียวแบบฮิลิกซ์ (helix) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4-glucosidicbond และส่วนน้อยเป็น  $\alpha$ -1,6-glucosidicbond ในขณะที่อะไมโลเพกตินเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคสโดย 6 ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4-glucosidicbond ในขณะที่ส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาซึ่งเป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,6-glucosidicbond ดังภาพที่ 2.2 (Vandeputte and Delcour. 2004)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Amylose และ Amylopectin

ที่มา: Vandeputte and Delcour (2004)

คาร์โบไฮเดรตในข้าวจะสามารถพบได้มากที่สุดในเรื่องเมล็ดของข้าว โดยมีปริมาณมากกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่างข้าวหลาย ๆ สายพันธุ์ พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ต่างกันมากนัก Oko *et al.* (2012) รายงานว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากของนาข้าวอินโย ประเทศไนจีเรีย จำนวน 20 สายพันธุ์ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง 76.92- 86.82% และ Thomas *et al.* (2013) รายงานว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวที่นิยมบริโภคในรัฐปีนัง ประเทศมาเลเซีย จำนวน 6 สายพันธุ์ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง 78.21-82.23%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.2 โปรตีน (Protein)

โปรตีนในข้าวมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยทั่วไปจะมีปริมาณน้อยกว่าในธัญพืชชนิดอื่น โปรตีนที่มีในข้าวนี้เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆของเมล็ดมีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ดด้านนอกจะมีโปรตีนมากกว่าใจกลางเมล็ด โปรตีนในข้าวแบ่งออกเป็น 4 ชนิด แบ่งตามคุณสมบัติการละลาย ได้แก่ อัลบูมิน โกลบูลิน โปรลามิน และกลูทีลิน ซึ่งกลูทีลินเป็นโปรตีนหลักที่พบอยู่เป็นจำนวนมากในข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของ Yodmanee *et al.* (2011) รายงานว่าปริมาณโปรตีนในข้าวพื้นเมืองทางภาคใต้ จำนวน 8 สายพันธุ์ (ข้าวหอมกระดังงา ข้าวขามยาน ข้าวแสงยอด ข้าวเหนียวแดง-96060 ข้าวครามแดง ข้าวเหนียวดำ-96044 ข้าวเหนียวดำ-96025 และข้าวโครใหม่ปี) มีปริมาณโปรตีนระหว่าง 6.63-8.44% และ Thomas *et al.* (2013) รายงานว่าปริมาณโปรตีนในข้าวที่นิยมบริโภคในรัฐปีนัง ประเทศมาเลเซีย จำนวน 6 สายพันธุ์ พบว่ามีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 5.96-8.16%

### 2.7.3 ไขมัน (Fat)

ข้าวมีปริมาณไขมันประมาณ 1-3% คล้ายคลึงธัญชาติอื่นโดยพบมากที่สุดในส่วนของกัปกะ รองลงมาคือส่วนเปลือก และมีในส่วนเนื้อเมล็ดน้อยที่สุด ทำให้ในข้าวกล้องมีไขมันมากกว่าข้าวสาร คือมีไขมันอยู่ 1.5-2.5% ส่วนในข้าวสารมีเพียง 0.5-1.2% เท่านั้น ไขมันเหล่านี้อยู่ในรูปของกลีเซอไรด์โดยกรดไขมันจะพบทั้งประเภทไขมันอิ่มตัว และไขมันไม่อิ่มตัว และอาจอยู่ในรูปของฟอสโฟลิปิด (phospholipids) เช่นเลซิธิน (lecithin) โกลโคไลปิด (glycolipids) เทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ไขมันสามารถทำปฏิกิริยากับเอนไซม์เกิดเป็นสารกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระซึ่งสามารถก่อให้เกิดสารที่ทำให้กลิ่นเหม็นหืนได้เช่นเดียวกับปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันก็ทำให้เกิดกลิ่นหืนได้เช่นกัน (สุนันทา ทองทา, 2551)

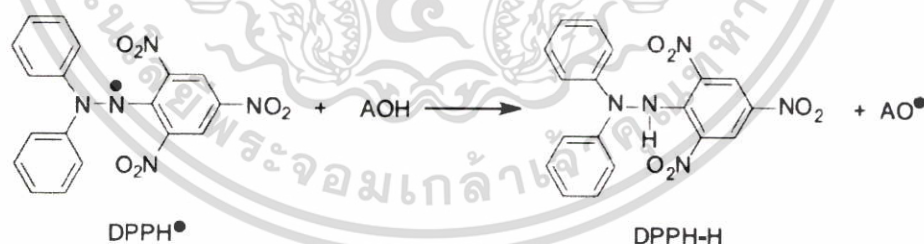
จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันของ Yodmanee *et al.* (2011) ในข้าวพื้นเมืองทางภาคใต้ จำนวน 8 สายพันธุ์ (ข้าวหอมกระดังงา ข้าวขามยาน ข้าวแสงยอด ข้าวเหนียวแดง-96060 ข้าวครามแดง ข้าวเหนียวดำ-96044 ข้าวเหนียวดำ-96025 และข้าวโครใหม่ปี) มีปริมาณไขมันระหว่าง 1.44-2.17% และ Thomas *et al.* (2013) รายงานว่าปริมาณไขมันในข้าวที่นิยมบริโภคในรัฐปีนัง ประเทศมาเลเซีย จำนวน 6 สายพันธุ์ มีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 0.07-1.74%

## 2.8 วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างมีปัจจัยหลายประการที่มีอิทธิพลต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ได้ เช่น ความสามารถในการกระจายตัวในเฟสของน้ำและน้ำมัน สภาพการเกิดปฏิกิริยา และสภาวะทางกายภาพของสารตั้งต้นของปฏิกิริยา เป็นต้น ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเพียงวิธีเดียวในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ (วาณี ใจวิเสน. 2555) ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างมีหลายวิธี สำหรับวิธีที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มี 4 วิธี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.8.1 วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) radical scavenging activity

DPPH assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (Shama and Bhat. 2009; Ebrahimzadeh *et al.* 2010) อนุมูล DPPH<sup>•</sup> เป็นอนุมูลในโตรเจนที่คงตัวมีสีม่วงซึ่งใช้ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl เป็น stable radical ในตัวทำละลายเมทานอลสารละลายมีสีม่วง และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดย DPPH<sup>•</sup> จะเกิดปฏิกิริยากับ antioxidant (AH) หรือกับ radical species (R<sup>•</sup>) จะเปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลือง ดังภาพที่ 2.3 (Ebrahimzadeh *et al.* 2010; Hidayat *et al.* 2017) ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูงความเข้มข้นของสารละลายสีม่วงจะลดลง ซึ่งจะรายงานผลการทดลองเป็นค่า 50% effective concentration (EC<sub>50</sub>) ซึ่งหมายถึงปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH<sup>•</sup> เหลืออยู่ 50% (Brand-William *et al.* 1995)

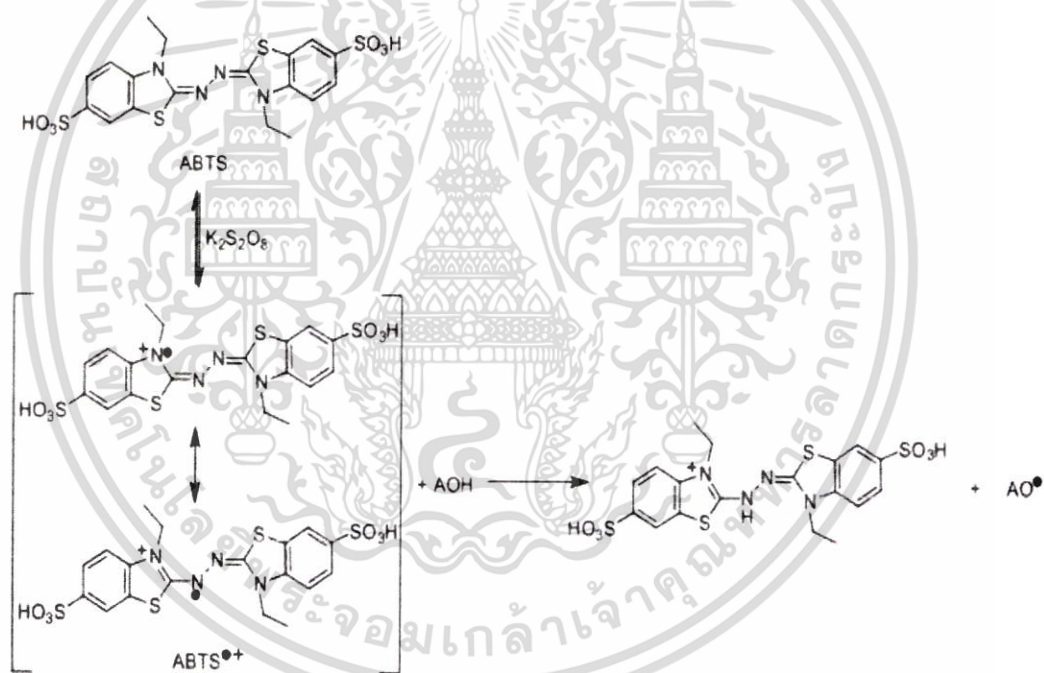


ภาพที่ 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูล DPPH กับสารต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา: Hidayat *et al.* (2017)

### 2.8.2 วิธี 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical cation scavenging activity

ABTS assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (antioxidant capacity) โดยใช้สาร 2, 2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) หรือ ABTS มาทำให้เป็นอนุมูลอิสระโดยการถูกออกซิไดซ์ด้วย Potassium persulfate ( $K_2S_2O_8$ ) กลายเป็น  $ABTS^{\bullet+}$  เป็นอนุมูลที่มีสีฟ้าอมเขียว ดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดย  $ABTS^{\bullet+}$  ทำปฏิกิริยากับ AOH เกิดเป็นอนุมูลอิสระที่มีสีใส ดังภาพที่ 2.4 (De Oliveira *et al.* 2014) เมื่อเติมสารทดสอบที่มีกิจกรรมต้านออกซิเดชันจะทำให้  $ABTS^{\bullet+}$  ลดลง โดยวิธีนี้สามารถทำได้ง่ายโดยอนุมูล  $ABTS^{\bullet+}$  จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารต้านออกซิเดชัน (Re *et al.* 1999) และ Pisoschi *et al.* (2011) รายงานว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่มีคุณสมบัติในการ reduce radical cation ที่เกิดขึ้นโดยการให้ hydrogen (hydrogen-donating antioxidants) สามารถยับยั้งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ดี



ภาพที่ 2.4 การออกซิเดชันของสาร ABTS เมื่อทำปฏิกิริยากับ Potassium persulfate ( $K_2S_2O_8$ ) เพื่อสร้างอนุมูลอิสระ  $ABTS^{\bullet+}$  กับสาร antiradical compound (AOH)

ที่มา: De Oliveira *et al.* (2014)

### 2.8.3 วิธีทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์สาร (Reducing power)

Oyaizu (1986) และ Shalaby and Shanab (2013) กล่าวว่า ความสามารถของการเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของสารที่ต้องการทดสอบ สามารถหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



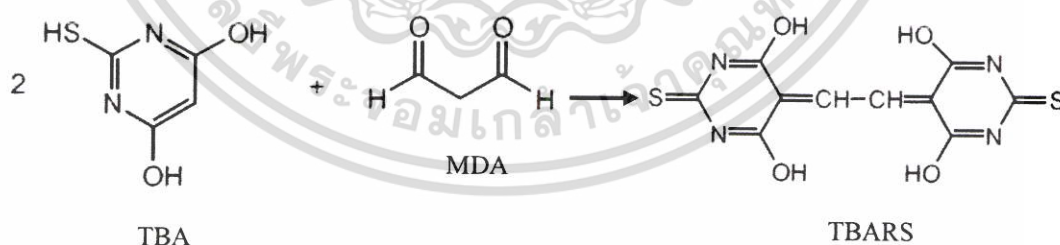
## 2.9 วิธีการทดสอบการออกซิเดชันในอาหาร

การตรวจสอบปฏิกิริยาในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น มีหลายวิธี เช่น การหาค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty acids; FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value; P.V.) คอนจูเกต ไดอีน (Conjugate diene; CD) และค่าไทโอบาร์บิทริก (Thiobarbituric acid reance; TBARS) เป็นต้น ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบการออกซิเดชันในอาหารมีหลายวิธี สำหรับวิธีที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มี 1 วิธี ดังต่อไปนี้

### 2.9.1 วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)

การหาค่า thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) เป็นวิธีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในการตรวจวัดสารที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของเปอร์ออกไซด์โดยเน้นแอลดีไฮด์ที่ได้จากกรดไขมันที่มีคาร์บอนไม่อิ่มตัวมากกว่า 2 ตำแหน่ง คือ มาลอนแอลดีไฮด์ (Malonaldehyde; MDA) (Ghani *et al.* 2017) การเกิดมาลอนแอลดีไฮด์เป็นการตรวจวัดสารมีสีชมพูถึงสีแดงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างมาลอนแอลดีไฮด์ (MDA) จำนวน 1 โมล กับ thiobarbituric acid (TBA) จำนวน 2 โมล ดังภาพที่ 2.6 โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นแสง 532 นาโนเมตร (Juárez *et al.* 2010) และสามารถทำได้หลายวิธีคือ

- (1) เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างแอลดีไฮด์ที่ได้จากส่วนหนึ่งของสารที่สกัดจากตัวอย่าง โดยการกลั่นด้วยน้ำภายใต้สภาวะที่เป็นกรดกับ TBA
- (2) เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง TBA กับแอลดีไฮด์ที่ได้จากอาหารโดยใช้กรดไตรคลอโรอะซิติกหรือกรดอโทฟอสฟอริกเป็นสารสกัด
- (3) เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ไขมันหรือน้ำมันที่สกัดจากตัวอย่างอาหาร (Pegg, 2005)



ภาพที่ 2.6 การเกิดปฏิกิริยา Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) ระหว่างมาลอนแอลดีไฮด์ (Malonaldehyde) กับสาร Thiobarbituric acid (TBA)

ที่มา: Juárez *et al.* (2010)

## 2.10 ผลิตภัณฑ์เนื้อแบบหมักเปรี้ยว (Fermented meat products)

ผลิตภัณฑ์เนื้อหมักเปรี้ยวเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมและรับประทานกันอย่างแพร่หลาย โดยการนำเนื้อสัตว์มาทำการหมักเพื่อเป็นการถนอมอาหาร เนื่องจากเนื้อสัตว์เป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยโปรตีน (กมแซ พิลาสมบัติ. 2560) โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์หมักจะมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารรวมทั้งในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ถือเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์โดยเฉพาะเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย (spoilage microorganism) หรือที่ก่อให้เกิดโรค (pathogenic microorganism) (Yilmaz and Murat Velioglu. 2009) ในทางตรงกันข้ามผลิตภัณฑ์เนื้อแบบหมักเปรี้ยวกลับต้องการให้มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เกิดขึ้น เพราะจุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถใช้คาร์โบไฮเดรตโดยเฉพาะน้ำตาลกลูโคสหรือเดกซ์โทส (glucose or dextrose) ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นแหล่งอาหารเพื่อสร้างเป็นกรดแลกติกเป็นผลให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อที่มีรสออกเปรี้ยว (tangy) และการเสื่อมสภาพของโปรตีน (protein denaturation) (กมแซ พิลาสมบัติ. 2560; Yilmaz and Murat Velioglu. 2009) ในวัตถุดิบ โดยเฉพาะเนื้อสัตว์เกิดการทำงานของกรดแลกติกและมีผลทำให้ความชื้นลดลงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสเฉพาะตัว นอกจากนี้ปริมาณกรดที่ถูกสร้างขึ้นนี้สามารถช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ (Cleveland *et al.* 2001; Rantsiou and Cocolin. 2008; Zakpaa *et al.* 2009)

ในอดีตการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อแบบหมักเปรี้ยวเกิดขึ้นโดยธรรมชาติโดยภูมิปัญญาของชาวบ้านในแต่ละประเทศมาตั้งแต่สมัยโบราณเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และนำมาใช้ประโยชน์เพื่อปรับปรุงอาหารทั้งในเนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อหมักให้มีคุณภาพดีขึ้น เช่น ไส้กรอกเปรี้ยว ปลาข้าว และแฮม (Zhang *et al.* 2010) จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการหมัก คือแบคทีเรียกรดแลกติก (LAB; *Lactobacillus*) และ coagulase-negative cocci (CNC, *Staphylococcus* และ *Kocuria* spp.) (Rantsiou and Cocolin. 2008; Vangpikul and Kansandee. 2014; Wanangkarn *et al.* 2014) จุลินทรีย์กลุ่มแลกติกนี้เกิดขึ้นโดยธรรมชาติโดยอาจมาจากตัวเนื้อสัตว์เองหรือมาจากอุปกรณ์และสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตแต่ละครั้งอาจมีรสชาติที่แตกต่างกันไม่คงที่ จึงมีการเก็บเนื้อหมักที่ได้จากการผลิตครั้งก่อนนำไปผสมกับเนื้อและส่วนผสมในการผลิตในครั้งถัดไป (back slopping) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเหมือนครั้งก่อนให้มากที่สุด แต่ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางการวิจัยจึงมีกระบวนการคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มแลกติกที่ช่วยในการหมักเนื้อ นำมาผลิตเป็นเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น (starter culture) เพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อหมักเปรี้ยว ซึ่งการใช้เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นจะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวมากขึ้น สามารถควบคุมกระบวนการหมักได้ดีขึ้น (รุจริน ลิ้มสุวานิช และ จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2555; Rantsiou and Cocolin. 2008)

การผลิตในอุตสาหกรรมโดยเฉพาะในต่างประเทศก็มักจะใช้เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น เพราะนอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวแล้วยังเพิ่มความปลอดภัยให้กับผลิตภัณฑ์ในระดับหนึ่ง เนื่องมาจากปริมาณกรดที่ถูกผลิตโดยเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นนั้น (Yilmaz and Murat Velioglu. 2009)

สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นอาจมาจากจุลินทรีย์บริสุทธิ์ประเภทเดียว (pure culture) หรือหลายประเภท (mixed culture) เช่น กลุ่ม *Lactobacillus*, *Pediococcus cerevisia* หรือ *Micrococcus* ในทางการค้าจะมีเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นจำหน่ายในรูปของเชื้อแช่แข็ง (frozen) หรือแบบแห้ง (freeze-dried) เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นที่ใช้ต้องเป็นเชื้อที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค สามารถสร้างกรดได้อย่างรวดเร็วเพื่อลดเวลาในการผลิตลง และควรมีความสม่ำเสมอในการสร้างกรดอีกด้วย (รุจริน ลิ้มสุวานิช และ จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2555)

### 2.10.1 กระบวนการหมักเนื้อหมักเปรี้ยว

ในกระบวนการหมักแฮมและไส้กรอกอีสานเกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรียแลคติกโดยระยะแรกของการหมักจะมีแบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะสายพันธุ์ที่สร้างกรดได้ดีและเจริญได้ดีในสภาวะที่ไม่มีอากาศหรือมีอากาศน้อย ได้แก่ กลุ่ม homofermentative cocci เช่น *Pediococcus cerevisiae*, *P. pentosaceus* และ *P. acidilactici* เติบโตไปพร้อมกับ heterofermentative lactobacilli ได้แก่ *Lactobacillus bravis* และ *Lactobacillus plantarum* เมื่อจุลินทรีย์เกิดการหมักจะทำให้เนื้อหมักมีค่า pH ลดลง สามารถยับยั้งการเจริญและการงอกของสปอร์ของจุลินทรีย์ก่อโรคได้ (วารุณี ประดิษฐ์ศรีกุล. 2545; คมแข พิลาสมบัติ. 2560; Azam *et al.* 2017) ในปี พ.ศ. 2556 คมแข พิลาสมบัติ รายงานว่า พบเชื้อ *Lactobacillus curvatus* ในแฮมเนื้อโคเนื้อในระหว่างการผลิตหมักแบคทีเรียแลคติกในกลุ่ม homofermentative lactobacilli จะใช้น้ำตาลกลูโคสเปลี่ยนเป็นกรดแลคติกทำให้ค่าความเป็นกรดในการผลิตแฮมมากขึ้น (ค่า pH ต่ำลง) ขณะเดียวกันกลุ่ม *Pediococcus* sp. ซึ่งทนกรดได้น้อยจะเจริญช้าลงในระยะนี้ ค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 4.5 มีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิด เช่น Coliform, *E. coli* และ *Salmonella* spp. ไม่สามารถทนสภาวะความเป็นกรดและตายไปในที่สุด

ในกระบวนการหมักเนื้อหมักเปรี้ยวแบคทีเรียกรดแลคติกจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่างลดลง ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปเนื่องจากโปรตีนตกตะกอน ทำให้เกิดรสชาติ กรด การเกิดสีแดงของเนื้อของสารประกอบไนโตรโซไมโอโกลบิน (nitrosomyoglobin) (Cleveland *et al.* 2001) นอกจากนี้ยังช่วยทำให้เกิดการย่อยสลายไขมัน (lipolysis) มีบทบาทด้านการทำให้เกิดกลิ่นรวมทั้งแบคทีเรียกรดแลคติกบางตัว สามารถผลิตสารยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่น โดยสารที่ผลิตได้นี้คือว่ามีผลต่อภัยต่อการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆที่ไม่พึงประสงค์ เช่น *Lactobacillus sakei* สามารถผลิตสารแบคทีริโอซิน sakacin A เพื่อยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค (คมแข พิลาสมบัติ. 2556) นอกจากนี้มีสารยับยั้งที่สร้างโดยแบคทีเรียแลคติกได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตอาหารหมักของมนุษย์ และสัตว์หลายชนิดในแง่ของการถนอมอาหารซึ่งเป็นผลมาจากการสร้างกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดแลคติก และอะซิติก ที่ทำให้ค่าความเป็นกรดต่างลดลง และการสร้างสารยับยั้งจุลินทรีย์อื่น เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไดอะซีทิล และแบคทีริโอซิน (ศศิวิมล ชื่นอ้อม อา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหม็ด และอดิสร เสวตวิวัฒน์. 2555) สุมณฑา วัฒนสินธุ์ (2545) พบว่าผลิตภัณฑ์เหล่านี้ทำให้เกิดการพัฒนาด้านรสชาติและเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ไม่ต้องการอีกด้วย

Vangpikul and Kansandee (2014) ทำการศึกษาว่าในการหมักผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์พื้นบ้านของไทย เช่น แหนม ไส้กรอกเปรี้ยว กลิ้นและรสชาติจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพของวัตถุดิบ สภาพการบ่ม รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ซึ่งจะมีผลต่อผู้บริโภค ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพคงที่และเกิดประโยชน์ต่อผู้บริโภคมากที่สุด ควรมีการปรับปรุงการใช้กล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก ในกระบวนการผลิตแทนการใช้แบคทีเรียกรดแลคติกที่มีอยู่ในวัตถุดิบและองค์ประกอบอื่นๆ ในสภาพธรรมชาติ ซึ่งตามปกติเมื่อการตรวจสอบเชื้อในผลิตภัณฑ์เนื้อหมักจะพบเชื้อ *P. cerevisiae*, *L. plantarum*, *L. brevis* และ *L. leichmannii* เป็นส่วนใหญ่

### 2.10.2 บทบาทของข้าวต่อกระบวนการหมักเนื้อหมักเปรี้ยว

ข้าวประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการหมักให้เจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารหมักมีรสเปรี้ยว ส่วนจะเปรี้ยวมากหรือเปรี้ยวน้อยแล้วแต่ชนิดของผลิตภัณฑ์และระยะเวลาในการหมัก โดยข้าวเป็นสารอาหารหลักที่เหมาะสมแก่การเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอาหารอย่างรวดเร็วในเนื้อสัตว์หรือผลิตภัณฑ์

คาร์โบไฮเดรตที่ได้จากข้าวเหนียวหรือข้าวเจ้าสุกในการหมักเนื้อหมักเปรี้ยวจะเป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อให้จุลินทรีย์เปลี่ยนคาร์บอนให้เป็นกรดแลคติก เนื่องจากเนื้อสัตว์มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำหรืออยู่ในสภาพที่จุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ข้าวที่เดิมในผลิตภัณฑ์เนื้อหมักนอกจากจะช่วยในการสร้างกรดแลคติกแล้ว ยังทำให้จุลินทรีย์อื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับการหมัก เช่น รา และยีสต์เจริญได้ (วารุณี ประดิษฐ์ศรีกุล. 2545)

### 2.11 บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก

อาหารหมักคงส่วนใหญ่ที่ผลิตในปัจจุบันนี้ยังใช้จุลินทรีย์เริ่มต้น (starter) เป็นจุลินทรีย์ซึ่งมีอยู่แล้วในธรรมชาติ เนื่องจากสภาพแวดล้อมในอาหารหมักมีความเหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติก และจุลินทรีย์อื่นๆที่มีความสำคัญต่อการหมัก จึงทำให้มีการเจริญได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆที่ไม่สำคัญต่อการหมัก จุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติปนเปื้อนมากับอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการเตรียมอาหารหรือมาจากอุปกรณ์ที่เคยใช้ในการหมัก เช่น การผลิตไส้กรอกในห้องที่เคยผลิตมานานแล้วและใช้อุปกรณ์ต่างๆที่เป็นของเดิม ย่อมทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีเช่นเดิม เมื่อความเจริญทางวิชาการของอาหารหมักคงมีมากขึ้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เชื้อบริสุทธิ์เป็นเชื้อเริ่มต้น ปัจจุบันได้มีการคัดแยกและเลือกแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกมาพัฒนาเป็นเชื้อบริสุทธิ์ของ

แบคทีเรียสำหรับผลิตไส้กรอกเปรี้ยว เพื่อจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานมีคุณภาพสม่ำเสมอ และปรับปรุงคุณภาพของอาหารหมักดองได้ดียิ่งขึ้น (คณิต วิจิตพันธุ์ และลักขณา เหล่าไพบูลย์. 2551)

### 2.11.1 แบคทีเรียที่สามารถสร้างกรดแลคติกในระหว่างการหมักเนื้อสัตว์

แบคทีเรียพวกนี้อยู่ตามผิวหนังของเนื้อต้องการอากาศในการเจริญเติบโตน้อยมาก ส่วนมากเป็นพวกที่ต้องการออกซิเจนต่ำกว่าความเข้มข้นที่บรรยากาศปกติ (microaerophilic condition) สามารถใช้น้ำตาลได้โดยการออกซิโคซ์ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แต่ถ้าการออกซิโคซ์ของน้ำตาลไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดกรดอินทรีย์ โดยส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักคือการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลไปเป็นกรดแลคติก ทำให้มีรสเปรี้ยวขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดทั้งหมดประมาณ 1% หรือมากกว่า และการลดลงของค่าความเป็นกรดค้าง (pH) จากระหว่าง 6.2-6.6 ไปเป็น 4.2-5.0 ระดับของความเป็นกรดนี้ขึ้นกับระยะเวลาของการหมักการ และอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น ในบางสปีชีส์ของแบคทีเรียกรดแลคติกจะสร้างอะซิโตน (acetone) ซึ่งจะมีส่วนเรื่องกลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์อาหารหมัก แบคทีเรียพวกนี้มีบทบาทสำคัญต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการหมัก (fermentation products) (คณิต วิจิตพันธุ์ และลักขณา เหล่าไพบูลย์. 2551)

### 2.11.2 แบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic acid bacteria; LAB)

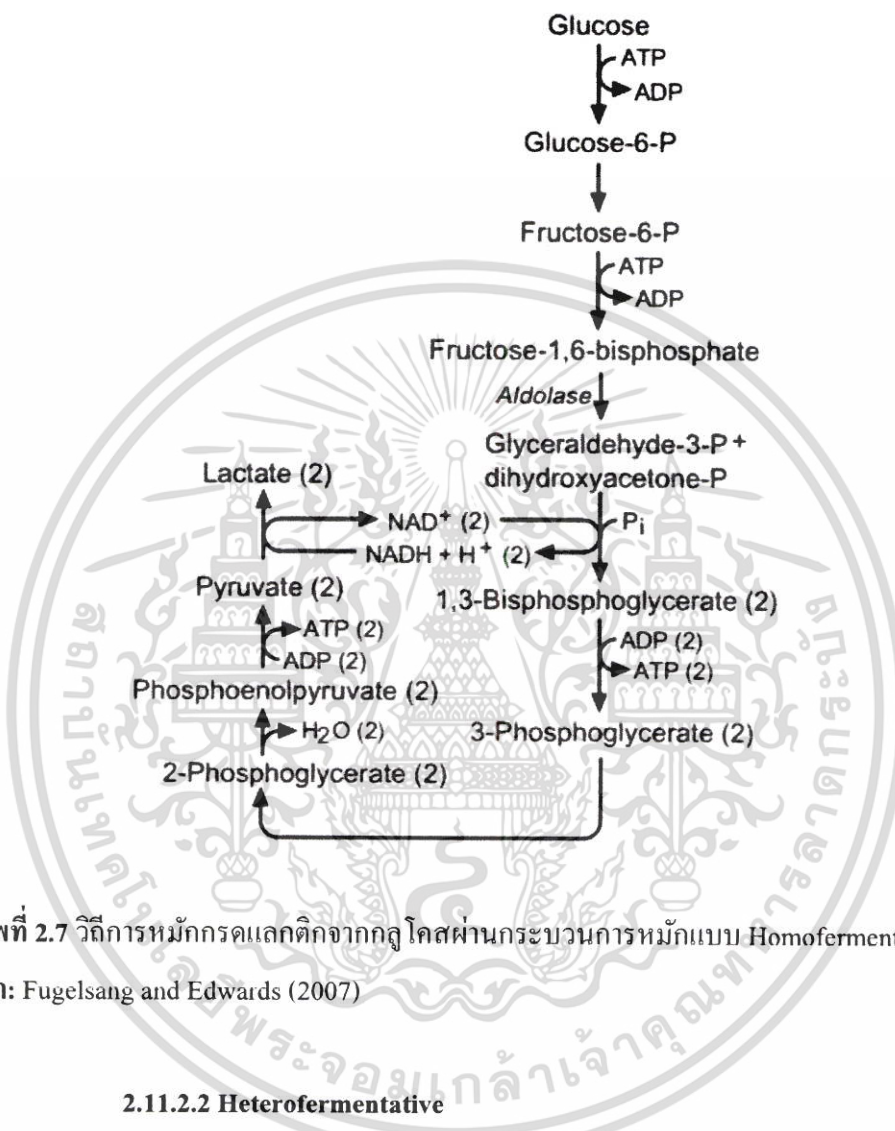
แบคทีเรียกรดแลคติกเป็นกลุ่มของแบคทีเรียแกรมบวก (gram positive) ไม่เคลื่อนที่ (nonmotile) ไม่สร้างเอนไซม์แคตาเลส (catalase negative) ไม่สร้างสปอร์ (non-spore forming) มีรูปร่างกลมหรือเป็นแท่ง (cocci or rods) ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ ซึ่งจัดเป็น facultative anaerobic สามารถผลิตกรดแลคติกได้โดยใช้คาร์บอนเป็นสารอาหาร น้ำตาลที่ใช้ได้แก่น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลแลคโตส ตัวอย่างของแบคทีเรียกรดแลคติก ได้แก่ *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* และ *Streptococcus* เป็นต้น แบคทีเรียกรดแลคติกสร้างพลังงานจากการหมักคาร์โบไฮเดรตเกิดกรดแลคติกจากปฏิกิริยา 2 ทาง คือ วิธีทางที่ได้แลคเตทเพียงอย่างเดียว เรียกว่า โฮโมเฟออร์เมนเททีฟ (homofermentative) และวิธีทางที่ได้แลคเตทร่วมกับสารอื่นในปริมาณที่ใกล้เคียงกันเรียกว่าเฮเทอโรเฟออร์เมนเททีฟ (heterofermentative) (Reddy *et al.* 2008)

#### 2.11.2.1 Homofermentative

Homofermentative เป็นแบคทีเรียที่หมักน้ำตาลกลูโคส (glucose) หรือน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ผ่านวิถีไกลโคไลซิส (Glycolysis pathway) หรือ Embden-Meyerhof-Parnas pathway (EMP pathway) โดยการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสไปเป็นไพรูเวท (pyruvate) จากนั้นเอนไซม์ lactate dehydrogenase (LDH) จะเปลี่ยนไพรูเวทไปเป็นกรดแลคติก และให้กรดแลคติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าหรือเท่ากับ 80% ซึ่งเป็นแบคทีเรียสกุล *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Lactococcus* และ *Lactobacilli* บางสายพันธุ์ที่ผลิตกรดแลกติกเป็นผลิตภัณฑ์หลักในการหมักน้ำตาลกลูโคส (Fugelsang and Edwards. 2007; Reddy *et al.* 2008)

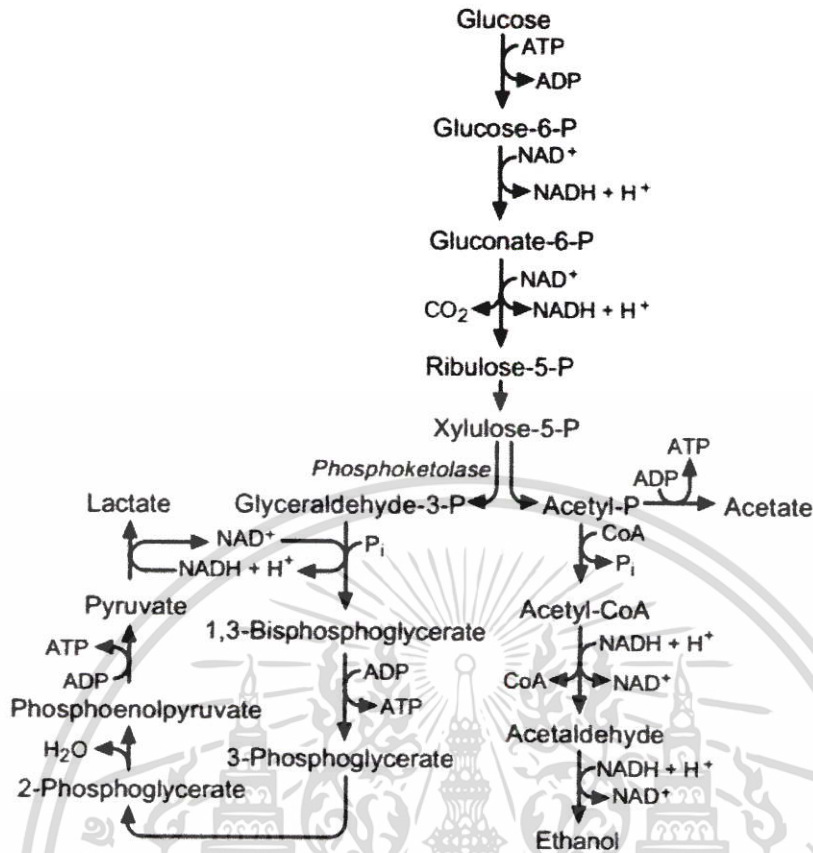


ภาพที่ 2.7 วิธีการหมักกรดแลกติกจากกลูโคสผ่านกระบวนการหมักแบบ Homofermentative  
ที่มา: Fugelsang and Edwards (2007)

### 2.11.2.2 Heterofermentative

Heterofermentative เป็นแบคทีเรียที่หมักน้ำตาลกลูโคส (glucose) หรือหรือน้ำตาลอื่นที่ผ่าน Phosphoketolase (PK pathway) หรือ 6-phosphogluconate pathway (6-PG pathway) โดยการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสไปเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม จากนั้นเอนไซม์ Phosphoketolase จะแตกน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม เป็น Acetyl-phosphate และ Glyceraldehyde-3-phosphate ต่อมา Glyceraldehyde-3-phosphate จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไพรูเวต และได้กรดแลกติกเช่นเดียวกับวิถีไกลโคไลซิส (Glycolysis pathway) ส่วน Acetyl-phosphate จะถูกเปลี่ยนไปเป็นเอทานอลหรือกรดอะซิติก ซึ่งเป็นแบคทีเรียสกุล *Leuconostoc* และ *Lactobacillus* (Fugelsang and Edwards. 2007; Reddy *et al.* 2008; Martinez *et al.* 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 วิธีการหมักกรดแลกติกจากกลูโคสผ่านกระบวนการหมักแบบ Heterofermentative  
ที่มา: Fugelsang and Edwards (2007)

## 2.12 ไส้กรอกอีสาน (E-San Sausage)

ไส้กรอกอีสานหรือไส้กรอกเปรี้ยวเป็นอาหารหมักประเภทเนื้อสัตว์มีต้นกำเนิดจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (Sriphochanart and Skolpap 2011; Vatanyoopaisarn *et al.* 2011) ไส้กรอกอีสาน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อหมู มันหมู ข้าวสุก ปรุงรสด้วยเครื่องปรุงรส เครื่องเทศ และสมุนไพร เช่น น้ำตาลทราย เกลือ กระเทียมบด พริกไทย ผสมให้เข้ากันดี บรรจุในไส้หมูหรือไส้ชนิดอื่นที่บริโภคได้ มัดเป็นท่อน ผึ่งไว้ในที่สะอาดและแห้ง จนผลิตภัณฑ์มีรสชาติเปรี้ยว และต้องทำให้สุกก่อนรับประทาน (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกอีสาน. 2546; Phalakornkule and Tanasu pawat. 2006) กระบวนการหมักจะใช้เวลา 3-4 วัน (กานต์ เหมวิหค และ สุปรียา ห่องแขง. 2556; Vatanyoopaisarn *et al.* 2011) ส่วนประกอบของไส้กรอกอีสานมีความคล้ายคลึงกับแฮม แต่มีข้อแตกต่างเล็กน้อยคือเนื้อที่ใช้ไม่จำเป็นต้องเอาไขมันออก การผสมเนื้อแดงและไขมันขึ้นอยู่กับราคา ถ้าใช้ไขมันต่ำราคาจะสูงขึ้น อัตราส่วนของเนื้อแดง ต่อไขมัน ตั้งแต่ 80:20 จนถึง 50:50 อาจใช้หมูสามชั้นผสมหนังหมูต้มบดหยาบช่วยให้เกาะตัวและลดต้นทุนหรือหมูสามชั้นผสมเนื้อแดง (ประดิษฐ์ คำหนองไผ่ และคณะ. 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดวงพร กันธโชติ (2536) ได้รายงานว่าส่วนผสมในการทำไส้กรอกอีสานประกอบด้วย

(1) เนื้อสัตว์และไขมันซึ่งเนื้อสัตว์ต้องเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูงเนื่องจากประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย อีกทั้งให้ลักษณะเนื้อสัมผัส เนื่องจากโปรตีนจะจับกันเป็นก้อน ส่วนโปรตีนไมโอโกลบินซึ่งเป็นสีแดงในเนื้อสัตว์จะเป็นตัวให้สีที่สำคัญในการทำไส้กรอก

(2) กรดไขมันเป็นตัวที่ทำให้เกิดความนุ่ม ชุ่มฉ่ำและให้รสชาติ รวมทั้งทำให้ไส้กรอกมีสีดีขึ้น

(3) ข้าวเป็นแหล่งคาร์บอนให้จุลินทรีย์ แต่ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายรวมทั้งให้คุณค่าทางอาหาร

(4) น้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์

(5) ผงชูรสเป็นแหล่งไนโตรเจน

(6) เกลือ กระเทียม และพริกไทย ส่งผลต่อการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้ออื่นๆ ไม่ให้เจริญแข่งกับแบคทีเรียกรดแลกติก

(7) ไนเตรตและไนไตรท์จะให้สีกับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการรวมตัวของไมโอโกลบินซึ่งเป็นสารสีในเนื้อกับไนไตรท์ออกไซด์ซึ่งแตกตัวมาจากไนไตรท์เป็น nitrosomyoglobin ซึ่งมีสีแดง เมื่อโดนความร้อนจะเปลี่ยนเป็น nitrosohemochrome ซึ่งเป็นสีแดงอมชมพูรับประทาน อีกทั้งยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Clostridium botulinum* และพวกก่อโรคในตระกูล Enterobacteriaceae หลายตัว และสามารถยับยั้งการหืนของไขมันได้

(8) glucono-delta-lactone (GdL) ในการทำไส้กรอกเปรี้ยวมักเติมลงในส่วนผสมด้วยเพื่อลดอัตราการเน่าเสียของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมา โดยเฉพาะในช่วงแรกของการหมัก สาเหตุที่ทำให้ GdL มีคุณสมบัติดังกล่าวเนื่องจากเมื่อ GdL สัมผัสกับน้ำในส่วนผสมจะทำให้กรด gluconic ทำให้ pH ของส่วนผสมค่อยๆลดลง เนื่องจากการลดลงของ pH เหมือนกับการเติมกรดอื่นๆ เช่น กรดแลกติก กรดน้ำส้ม เป็นต้น โดยไม่ทำให้เนื้อสัมผัสเสีย

กณิต วิชิตพันธุ์ และลักขณา เหล่าไพบูลย์ (2551) ศึกษาการบรรจุและวิธีการเก็บรักษาไส้กรอกอีสานที่ถูกวิธตลอดจนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การศึกษาผลของอุณหภูมิห้องต่อการเก็บรักษาไส้กรอกอีสานพบว่า ทั้งไส้กรอกอีสาน และไส้กรอกอีสานทอดเก็บได้ไม่เกิน 1 วัน เนื่องจากลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปมาก โดยไส้กรอกอีสานที่ไม่ได้แปรรูปมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นจาก 0.36 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) เป็น 0.62 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการหมักไว้ 8 วัน และพบจุลินทรีย์ก่อโรคในทางเดินอาหารทุกชนิดโดยเฉพาะ *Clostridium perfringens* ที่ผลิตสารพิษตกค้างในผลิตภัณฑ์ ยกเว้น *Staphylococcus aureus* ไม่พบจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในไส้กรอกอีสาน เมื่อบรรจุไส้กรอกอีสานใส่ถุงแล้วควรทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12-24 ชั่วโมง เพื่อให้ไส้กรอกอีสานผลิตกรดให้มี

เปรี้ยวในระดับหนึ่ง เนื่องจากความเปรี้ยวที่เกิดขึ้นจะทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิดมีจำนวนลดลง และผลของอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ต่อการเก็บรักษาไส้กรอกอีสาน พบว่า สามารถเก็บรักษาไส้กรอกอีสาน และไส้กรอกอีสานทอดได้ไม่เกิน 14 และ 28 วัน โดยมีปริมาณกรด 0.39 เปอร์เซ็นต์ และ 14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

### 2.12.1 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมักไส้กรอกอีสาน

การหมักไส้กรอกอีสานเป็นการหมักเพื่อให้เกิดกรดแลคติก โดยแบคทีเรียกรดแลคติก (lactic acid bacteria) ที่มีอยู่ตามธรรมชาติรสเปรี้ยวจากกรดแลคติก (lactic acid) ที่แบคทีเรียสร้างขึ้นในช่วงแรกของการหมักเกิดจากเชื้อในกลุ่ม *Lactobacillus* และ *Pediococcus* ได้แก่ *P. serevisiae* ส่วนจุลินทรีย์ในช่วงระยะหลัง คือแบคทีเรียในกลุ่ม *Lactobacillus* เช่น *L. plantarum* และ *L. brevis* ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการหมัก ความเปรี้ยวของไส้กรอกอีสานขึ้นอยู่กับส่วนผสม อุณหภูมิของการเก็บ และภายหลังการหมักมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ประมาณ 4.5-5.5 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2546; Phalakornkule and Tanasupawat. 2006; Vangpikul and Kansandee. 2014; Wanangkarn *et al.* 2014) ในระยะแรกของการหมักพบเชื้อ *P. cerevisiae* ที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 37-45 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 4.5-5.6 การหมักระยะต่อมาเนื่องจากอยู่ในสภาพปราศจากอากาศ ทำให้จุลินทรีย์สร้างกรดเพิ่มขึ้น จนเหลือจุลินทรีย์ที่ทนกรดได้ไม่กี่ชนิด เมื่อนำตัวอย่างมาตรวจสอบเชื้อ *Lactobacillus* sp. ในช่วงที่มี ค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 5 หรือต่ำกว่านี้ ความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 51-74 เปอร์เซ็นต์ (ประดิษฐ์ คำหนองไผ่ และคณะ. 2555) นอกจากนี้ได้มีรายงานการตรวจพบเชื้อ *Salmonella* sp., *Listeria monocytogenes* และ *S. aureus* ในแฮมและไส้กรอกอีสาน (Visessanguan *et al.* 2006; Chokesajjawatee *et al.* 2009) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อ *S. aureus* เป็นเชื้อที่ทนต่อเกลือไนไตรท์ สามารถสร้างสารพิษที่ทนความร้อนออกมาในอาหารในระหว่างการเจริญเติบโต (González-Fandos *et al.* 1999; Schclin *et al.* 2011; Holck *et al.* 2017) ในขณะเดียวกันข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกอีสาน หมู (2546) กำหนดว่าไส้กรอกอีสานต้องตรวจไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp. ในตัวอย่าง 25 กรัม และ *S. aureus* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม

## 2.12.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน - ไม้กระบอกอีสานหมู (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2546)

### 2.12.2.1 บทนิยาม

(1) ไม้กระบอกอีสาน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ทำจากเนื้อหมู มันหมู ข้าวสุก ปรงรส ด้วยเครื่อง ปรงรส เครื่องเทศและสมุนไพร เช่น น้ำตาลทราย เกลือ กระเทียมบด พริกไทย ลูกผักชี ผสมให้เข้ากันดี นวดจนเหนียว บรรจุในไม้หมูหรือไม้ชนิดอื่นที่บริโภคได้ มักเป็นท่อน ผึ่งไว้ในที่ สะอาดและแห้งจนเปรี้ยว และต้องทำให้สุกก่อนรับประทาน

### 2.12.2.2 คุณลักษณะที่ต้องการ

(1) ลักษณะทั่วไป - ในภาชนะบรรจุเดียวกัน ต้องมีรูปร่างเดียวกัน และมี ขนาดใกล้เคียงกัน มีการกระจายตัวของส่วนประกอบที่ใช้อย่างสม่ำเสมอ มีผิวเรียบ ไม่ฉีกขาด

(2) สี - ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้

(3) กลิ่นรส - ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติที่เกิดจากการหมักและของ ส่วนประกอบที่ใช้ มีรสเปรี้ยวพอเหมาะ ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นเหม็น

(4) ลักษณะเนื้อ - ต้องนุ่มและไม่รวน

(5) สิ่งแปลกปลอม - ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ขนสัตว์ ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วน หรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์

(6) วัตถุเจือปนอาหาร

(6.1) ห้ามใช้สีทุกชนิด

(6.2) หากมีการใช้วัตถุเจือปนอาหารให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่ กำหนดดังต่อไปนี้

(6.3) โซเดียมไนไตรต์หรือโพแทสเซียมไนไตรต์ (คำนวณเป็นโซเดียม ไนไตรต์) ต้องไม่เกิน 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือถ้าใช้ในรูปของผงเพรค (เกลือ ไนไตรต์ ในอัตราส่วน 94: 6) ต้องไม่เกิน 2 กรัมต่อเนื้อสัตว์ 1 กิโลกรัม

(6.4) ฟอสเฟตในรูปของโมโน-ได- และโพลีของเกลือโซเดียมหรือ โพแทสเซียม อย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกัน (คำนวณเป็น  $P_2O_5$  จากฟอสฟอรัสทั้งหมด) ต้องไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(6.5) โปรตีนต้องไม่น้อยกว่า ร้อยละ 12 โดยน้ำหนักไขมันต้องไม่น้อยกว่า ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

(7) การบรรจุ - ให้บรรจุไม้กระบอกอีสานในภาชนะบรรจุที่สะอาดแห้ง ผนึก ได้เรียบร้อย และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

(8) โปรตีน - ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก

(9) ไขมัน - ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

2.12.2.3 จุลินทรีย์ การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือ BAM (U.S.FDA) หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า

- (1) *Salmonella* spp. ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม
- (2) *Staphylococcus aureus* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม
- (3) *Escherichai coli* โดยวิธี MPN ต้องไม่น้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- (4) ยีสต์และราต้องน้อยกว่า 10 cfu ต่อตัวอย่าง 1 กรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ และสารเคมี

- 1) 1,1,3,3 – Tetraethoxypropane (Sigma, Germany)
- 2) 2 – Thiobarbituric acid (TBA) (Sigma, Germany)
- 3) 2, 2 -azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) (Sigma, Canada)
- 4) 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) (Sigma, Germany)
- 5) 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol (butylated hydroxytoluene; BHT) (Acros, Belgium)
- 6) Absolute Ethanol 97% (Merck, Germany)
- 7) Agar (Criterion, USA)
- 8) Ascorbic acid (Sigma, China)
- 9) Baird-Parker agar (BP-agar) (Merck, Germany)
- 10) CaCO<sub>3</sub> (Merck, Germany)
- 11) Chloroform (stabilized with 1% Ethanol) (RCI Labscan, Thailand)
- 12) Chromocult coliform (CC) agar (Merck, Germany)
- 13) De man rogosa and sharpe (MRS) (Merck, Germany)
- 14) Di-Sodium hydrogen orthophosphate (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) (Sigma-Aldrich, Germany)
- 15) Folin-Ciocalteu reagent (VER, France)
- 16) Gallic acid (Sigma-Aldrich, Germany)
- 17) Hydrochloric acid (Merck, Germany)
- 18) Kovac's indole reagent (Merck, Germany)
- 19) Lysine-Indole-Motility (LIM) medium (Merck, Germany)
- 20) Malt extract (Merck, Germany)
- 21) Potassium ferricyanide (K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>) (Sigma-Aldrich, Germany)
- 22) Potassium persulfate (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) (Hazardous, New Zealand)
- 23) Potassium hydroxide (KOH) (Sigma, Germany)
- 24) Quercetin (C<sub>15</sub>H<sub>10</sub>O<sub>7</sub>) (Sigma-Aldrich, Germany)
- 25) Rabbit plasma (Merck, Germany)
- 26) Salmonella-shigella (SS) agar (Merck, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 27) Selenite cystine broth (SCB) (Merck, Germany)
- 28) Sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) (Sigma-Aldrich, Germany)
- 29) Sodium chloride (NaCl) (Merck, Germany)
- 30) Sodium dihydrogen phosphate anhydrous ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) (QREC, Zealand)
- 31) Sodiumhydroxide (NaOH) (Sigma, Germany)
- 32) Tetrathionate Brilliant Green Broth (TTB) (Merck, Germany)
- 33) Trichloroacetate acid, Iron (III) chloride ( $\text{FeCl}_3$ ) (Hazardous, Auckland N.Z.)
- 34) Trichloroacetic acid (TCA) (Merck, Germany)
- 35) Triple sugar Iron (TSI) Agar slant (Merck, Germany)
- 36) Tryptic Soy Broth (Merck, Germany)
- 37) Xylose Lysine Deoxycholate (XLD) agar (Merck, Germany)

### 3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือ

- 1) เครื่องบดเนื้อรูปคylinderผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (Biro medel 346-3, USA)
- 2) ตู้บลมร็อน (Binder, Model FD 115, Germany)
- 3) เครื่องชั่งชนิดหยาบ (Tanita model 1144, Tanita Corporation, Japan)
- 4) เครื่องชั่งชนิดละเอียด (Sartorius, Basic, Germany)
- 5) ตู้เชื้อเชื้อแบบ Laminar Flow (Dwyer model merk II, USA)
- 6) ตู้บ่มเพาะเชื้อจุลินทรีย์ (WTB Binder model BD, Germany)
- 7) ตู้อบเครื่องแก้ว (Hot-air oven, Memmert model CM500, Germany)
- 8) หม้อนึ่งความดันสำหรับฆ่าเชื้อ (Hirayama model HVE 50, Japan)
- 9) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath, Memmert, Germany)
- 10) เครื่องผสมสารละลายในหลอดทดลอง (Vortex Mixer KMC-1300V, Korea)
- 11) เครื่องตีปั่นไฟฟ้า (Stomacher Bag Mixer 400 model VW, France)
- 12) ไมโครเวฟ (Toshiba model ER-G8C, Thailand)
- 13) ไมโครปิเปต ขนาด 100, 200 ไมโครลิตร และ 1, 5, 10 มิลลิลิตร (Finnpipette F3, USA)
- 14) เครื่องวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner-Bratzler, Instron Model 1011, Thailand)
- 15) เครื่องวัดค่าสีของเนื้อ (Hunterlab Mini Scan EZ 4000L, USA)
- 16) เครื่อง Homogenizer (Ultra turrax model IKA T25 digital, IKA group, Germany)
- 17) เครื่อง Centrifuge (Beckman Coulter model Avanti J-E, USA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 18) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Thermo Electron Corporation, USA)
- 19) เครื่องวัดค่าความเป็นกรดค่า (Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)
- 20) เครื่องบรรจุสุญญากาศ (Raman, Changsha Branch Company, Germany)
- 21) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Fluck, Fluck Biomedical, Netherland)
- 22) ตู้แช่เย็น (Sanden intercool, Sanden Intercool Pcl., Thailand)
- 23) ตู้แช่แข็ง (Jouan power Freezer VXE 380, Thermo Fisher Scientific., USA)
- 24) กระดาษกรอง Whatman No.1 และ No.91 (Whatman, Sigma-Aldrich, England)
- 25) ถุงสุญญากาศชนิด PE
- 26) ขวดโหลสำหรับสกัดสาร
- 27) บีกเกอร์ขนาด 250, 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
- 28) กระจกบดวง
- 29) หลอดทดลองขนาดเล็กและเครื่องแก้วชนิดและขนาดต่างๆ
- 30) กรวยกรอง
- 31) นาฬิกาจับเวลา
- 32) เครื่องแก้วพร้อมอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็น

### 3.3 พันธุ์ข้าวที่ใช้ทดสอบ



1. ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A

2. ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B

ราคา 65 บาท/กิโลกรัม (สิงหาคม-ตุลาคม 2560)

ราคา 45 บาท/กิโลกรัม (สิงหาคม-ตุลาคม 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3. ข้าวขั้วขาวสามเดือน จังหวัดชุมพร

ราคา 60 บาท/กิโลกรัม (สิงหาคม-ตุลาคม 2560)



4. ข้าวกล้องนางคำ จังหวัดชุมพร

ราคา 60 บาท/กิโลกรัม (สิงหาคม-ตุลาคม 2560)



5. ข้าวกล้องดอกข่า จังหวัดพังงา

ราคา 85 บาท/กิโลกรัม (สิงหาคม-ตุลาคม 2560)



6. ข้าวกล้องดอกขาม จังหวัดชุมพร

ราคา 60 บาท/กิโลกรัม (สิงหาคม-ตุลาคม 2560)



7. ข้าวกล้องสามเดือน จังหวัดชุมพร

ราคา 60 บาท/กิโลกรัม (สิงหาคม-ตุลาคม 2560)



8. ข้าวกล้องสังข์หยด จังหวัดกระบี่

ราคา 50 บาท/กิโลกรัม (สิงหาคม-ตุลาคม 2560)

### ภาพที่ 3.1 พันธุ์ข้าวที่ใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองครั้งนี้แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ดังนี้

วัตถุประสงค์	กิจกรรม
<p><b>การทดลองที่ 1</b></p> <p>ศึกษาการใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสานต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค</p>	<p>1.1 ศึกษาการผลิตไส้กรอกอีสานโดยการผลิตจะใช้ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ ทำการเปรียบเทียบไส้กรอกอีสานที่ผลิตจากข้าวพื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ กับไส้กรอกอีสานที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป 2 ยี่ห้อ และไส้กรอกอีสานทางการค้า 2 ยี่ห้อ โดยแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 10 กลุ่ม ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ A</li> <li>2. ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B</li> <li>3. ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A</li> <li>4. ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B</li> <li>5. ข้าวขัดขาวสามเดือน</li> <li>6. ข้าวกล้องสามเดือน</li> <li>7. ข้าวกล้องนางคำ</li> <li>8. ข้าวกล้องดอกข่า</li> <li>9. ข้าวกล้องสังข์หยด</li> <li>10. ข้าวกล้องดอกขาม</li> </ol> <p>1.2 ศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคด้วยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธี Consumer test ในไส้กรอกอีสานดิบ คุณลักษณะที่ประเมิน ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- สี</li> <li>- ความชอบโดยรวม</li> </ul> <p>และไส้กรอกอีสานสุก คุณลักษณะที่ประเมิน ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- สี</li> <li>- ลักษณะปรากฏ</li> <li>- กลิ่นเปรี้ยว</li> <li>- รสชาติเปรี้ยว</li> <li>- ลักษณะเนื้อสัมผัส</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>- ความชอบโดยรวม</p> <p>นำข้อมูลที่ได้ไปศึกษาต่อในการทดลองที่ 3</p>
<p><b>การทดลองที่ 2</b></p> <p>ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์</p>	<p>2.1 ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป 2 ยี่ห้อ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DPPH radical scavenging</li> <li>- ABTS radical cation scavenging activity</li> <li>- Reducing power</li> <li>- Total phenolic content</li> </ul> <p>2.2 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ ดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความชื้น</li> <li>- เถ้า</li> <li>- โปรตีน</li> <li>- ไขมัน</li> <li>- คาร์โบไฮเดรต</li> <li>- ฟอสฟอรัส</li> </ul> <p>เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้มาศึกษาต่อในการทดลองที่ 3</p>
<p><b>การทดลองที่ 3</b></p> <p>คัดเลือกข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูง รวมถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อไส้กรอกอีสานทั้ง 10 กลุ่ม เพื่อนำมาผลิตไส้กรอกอีสาน และทำการศึกษาคูณภาพทางด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในระหว่างกระบวนการหมัก และศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์</p>	<p>3.1 การผลิตไส้กรอกอีสานจะใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ที่มีคุณสมบัติสารต้านอนุมูลอิสระสูง (จากการทดลองที่ 2 ) และความพึงพอใจของผู้บริโภค (จากการทดลองที่ 1) มาคัดเลือกพันธุ์ข้าวจำนวน 3 สายพันธุ์ และทำการเปรียบเทียบไส้กรอกอีสานที่ผลิตจากข้าวพื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ กับไส้กรอกอีสานที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป 1 ยี่ห้อ และไส้กรอกอีสานทางการค้า 1 ยี่ห้อ (ที่ทดสอบจากการทดลองที่ 1) โดยแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ไส้กรอกอีสานทางการค้า</li> <li>2. กลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ</li> <li>3. กลุ่มที่ใช้ข้าวพันธุ์ A (คัดเลือกจากการ</li> </ol>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>ทดลองที่ 1 และ 2)</p> <p>4. กลุ่มที่ใช้ข้าวพันธุ์ B (คัดเลือกจากการทดลองที่ 1 และ 2)</p> <p>5. กลุ่มที่ใช้ข้าวพันธุ์ C (คัดเลือกจากการทดลองที่ 1 และ 2)</p> <p>โดยมีวิธีการบวนการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในตู้ควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 4 วัน และตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานเป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 วัน ในระหว่างกระบวนการหมัก และศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้</p> <p>3.1.1 วิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ค่าสี (CIE L*, a* และ b*)</li> <li>- ค่าความสดใส (Chroma)</li> <li>- ค่าองศาของสี (Hue angle)</li> <li>- ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (% Weight loss)</li> <li>- ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis)</li> </ul> <p>3.1.2 วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)</li> <li>- ค่าปริมาณกรดทั้งหมด (% Total acidity)</li> <li>- ค่า TBARS</li> </ul> <p>3.1.3 วิเคราะห์คุณภาพด้านชีวภาพ ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lactic acid bacteria</li> <li>- Yeast/Molds</li> <li>- <i>E. coli</i></li> <li>- <i>Staphylococcus aureus</i></li> <li>- <i>Salmonella</i> spp.</li> </ul> <p>3.1.4 วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DPPH radical scavenging</li> </ul>
--	---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ABTS radical cation scavenging activity</li> <li>- Reducing power</li> <li>- Total phenolic content</li> </ul>
<p><b>การทดลองที่ 4</b></p> <p>การเปรียบเทียบวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่เหมาะสมต่อคุณภาพและความปลอดภัย</p>	<p>4.1 ศึกษาวิธีการหมักไส้กรอกอีสาน (โดยใช้ข้าวพันธุ์ A, B หรือ C จากการทดลองที่ 3 ในการผลิตไส้กรอกอีสาน จำนวน 1 สายพันธุ์) และมีวิธีการหมัก 3 วิธี ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. แวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน</li> <li>2. แวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน</li> <li>3. บรรจุถุงสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน</li> </ol> <p>ตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานเป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 วัน โดยวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้</p> <p>4.1.1 วิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ค่าสี (CIE L*, a* และ b*)</li> <li>- ค่าความสดใส (Chroma)</li> <li>- ค่าองศาของสี (Hue angle)</li> <li>- ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (% Weight loss)</li> <li>- ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis)</li> </ul> <p>4.1.2 วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)</li> <li>- ค่าปริมาณกรดทั้งหมด (% Total acidity)</li> </ul> <p>4.1.3 วิเคราะห์คุณภาพด้านชีวภาพ ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lactic acid bacteria</li> <li>- Yeast/Molds</li> <li>- Coliform/<i>E. coli</i></li> <li>- <i>Staphylococcus aureus</i></li> <li>- <i>Salmonella</i> spp.</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>4.1.4 วิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส คุณลักษณะที่ประเมิน ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- สี</li> <li>- ลักษณะปรากฏ</li> <li>- กลิ่นเปรี้ยว</li> <li>- รสชาติเปรี้ยว</li> <li>- ลักษณะเนื้อสัมผัส</li> <li>- ความชอบโดยรวม</li> </ul>
--	---

### 3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาการใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสานต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค

#### 3.4.1.1 การผลิตไส้กรอกอีสาน

วัตถุดิบเนื้อสัตว์และส่วนผสมอื่นๆ ที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสานอ้างอิงตามวิธีการดัดแปลงจากจุฑารัตน์ เศรษฐกุล และพรณิภา สีวะพิรุฬห์เทพ (2555) โดยมีส่วนผสมหลักดังตารางที่ 3.1 คือ เนื้อสุกรส่วนสะโพกร้อยละ 50 มันสุกรร้อยละ 35 (เนื้อสุกรและไขมันที่ใช้ศึกษาซื้อจากบริษัทสยามแม็คโคร จำกัด สาขาศรีนครินทร์ 2) และข้าวสุกร้อยละ 15 ขั้นตอนการผลิตไส้กรอกอีสานมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ นำเนื้อสุกรและมันแข็งสุกรมาบดหยาบ นวดเนื้อสุกรกับผงเพรกและเกลือแกลงให้เข้ากัน จากนั้นใส่มันหมูกับข้าวสุกแล้วนวดให้เข้ากัน เติมเครื่องปรุงอื่นแล้วนวดผสมให้เข้ากัน บรรจุส่วนผสมลงในไส้สุกร (ขนาด 28 มิลลิเมตร จาก บริษัท บี.โอ.ที. จำกัด) มัดเป็นท่อนๆ แต่ละท่อนยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ทำการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ในการผลิตไส้กรอกอีสานจะใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ เปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป จำนวน 2 ยี่ห้อ และไส้กรอกอีสานทางการค้า 2 ยี่ห้อ โดยแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 10 กลุ่ม ดังนี้

- 1) ใช้ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ A
- 2) ใช้ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B
- 3) ใช้ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A
- 4) ใช้ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B
- 5) ใช้ข้าวขัดขาวสามเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) ใช้ข้าวกล้องสามเดือน
- 7) ใช้ข้าวกล้องนางคำ
- 8) ใช้ข้าวกล้องคอกข้า
- 9) ใช้ข้าวกล้องสังข์หยด
- 10) ใช้ข้าวกล้องคอกขาม

**ตารางที่ 3.1** สูตรการผลิตไส้กรอกอีสาน ปริมาณ 4 กิโลกรัม

วัตถุดิบ	ปริมาณ (กรัม)
สะโพกหมู	2,000
มันหมู	1,400
ข้าวสุก (ข้าวไร้แต่ละสายพันธุ์)	600
ผงเพรก	40
เกลือแกง (ตราปรุงทิพย์)	20
เกลือฟอสเฟส	12
อิริโทรเบต	4
น้ำตาลทราย (ตราวังขนาย)	20
ผงชูรส (ตราถ้วยแดง)	10
กระเทียม	200
พริกไท (ตรามือ)	16

ที่มา: คัดแปลงจากจุฬารัตน์ เศรษฐกุล และพรธนิภา ศิวะพิรุฬห์เทพ (2555)

#### 3.4.1.2 การวิเคราะห์ด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน

ทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานดิบ โดยให้ผู้บริโภคประเมินคุณภาพดี และความชอบโดยรวมที่มีต่อลักษณะปรากฏด้วยสายตา โดยตัวอย่างจะถูกระบุด้วยตัวเลขแบบสุ่ม (random number) ส่วนผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานสุก ทดสอบ 6 ลักษณะ ได้แก่ สี ลักษณะปรากฏ กลิ่นเปรี้ยว รสชาติเปรี้ยว ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีผู้ทดสอบชิมเป็นอาจารย์ บุคลากร และนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 50 คน ในการทดสอบจะเสิร์ฟตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครั้งละ 5 ตัวอย่าง จำนวน 2 ครั้ง โดยเว้นระยะเวลาในการชิมเป็นเวลา 20 นาที ตัวอย่างจะถูกระบุด้วยตัวเลขแบบสุ่ม (random number) ผู้ทดสอบได้รับคำแนะนำให้กลั้วปากด้วยน้ำดื่มก่อนชิมตัวอย่างแรก และก่อนชิมตัวอย่างถัดไป ควรเคี้ยวขนมแครกเกอร์ที่เตรียมไว้ ตามด้วยการกลั้วปากด้วยน้ำดื่มอีกเล็กน้อยเพื่อชะล้างกลิ่นรสของตัวอย่างในปาก ทำการประเมินด้วยวิธี Consumer test โดยการให้คะแนนความชอบ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับ (7-Point hedonic scale) ตามวิธีการของ Meilgaard *et al.* (1987) มีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-7 ดังต่อไปนี้

1	หมายถึง	ไม่ชอบมากที่สุด
2	หมายถึง	ไม่ชอบมาก
3	หมายถึง	ไม่ชอบ
4	หมายถึง	เฉยๆ
5	หมายถึง	ชอบ
6	หมายถึง	ชอบมาก
7	หมายถึง	ชอบมากที่สุด

### 3.4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

รายงานค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean  $\pm$  SD) ของค่าที่วัดได้ ทดสอบสมมติฐานโดยใช้ค่า One-way ANOVA วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (SPSS for windows version 16.0: SPSS Inc.)

### 3.4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และคุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์

วางแผนการทดลองแบบ 2 $\times$ 8 Factorial in Completely Randomized Design ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ โดยกำหนดให้ปัจจัยแรก คือ ข้าวดิบและข้าวหุงสุก ปัจจัยที่สอง คือ สายพันธุ์ข้าว ซึ่งข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ ประกอบด้วย ข้าวขัดขาวสามเดือน ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องสังข์หยด ทำการเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป 2 ยี่ห้อ ที่นำมาผลิตไส้กรอกอีสานจากการทดลองที่ 1

#### 3.4.2.1 การเตรียมสารสกัดของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้

##### 1) การสกัดข้าวดิบ ตามวิธีการดัดแปลงจาก ฉิชากร ปทุมรังสรรค์ (2558)

ทำการสกัดข้าวโดยนำตัวอย่างข้าวแต่ละสายพันธุ์อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่าง จำนวน 10 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วสีชา ทำการสกัดโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ปริมาตร 90 มิลลิลิตร (w/v) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน เมื่อครบระยะเวลานำสารสกัดที่ได้มากรองด้วยกระดาษ

กรองเบอร์ 1 แล้วเก็บสารสกัดที่อยู่ในรูปของสารละลายใส่ในขวดสีชาที่มีฝาปิด เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

## 2) การสกัดข้าวหุงสุก ตามวิธีการดัดแปลงจาก อรอนงค์ นัยวิกุล (2547)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างข้าวแต่ละสายพันธุ์ จำนวน 4 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองและใส่น้ำ ปริมาตร 12 มิลลิลิตร นำข้าวไปหุงต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที ร่อนข้าวสุก จากนั้นนำตัวอย่างจำนวน 10 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วสีชา ทำการสกัดโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ปริมาตร 90 มิลลิลิตร (w/v) ที่งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วเก็บสารสกัดที่อยู่ในรูปของสารละลายใส่ในขวดสีชาที่มีฝาปิด เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

### 3.4.2.2 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Free radical scavenging assay)

#### 1) ค่า 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) radical scavenging activity

นำสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกที่ความเข้มข้น 10% เจือจางให้มีความเข้มข้น 8, 6, 4 และ 2% จากนั้นใส่สารสกัดแต่ละความเข้มข้นลงในหลอดทดลอง ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.1 mM DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ตามวิธีการของ Ebrahimzadeh *et al.* (2010) ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยใช้ Ascorbic acid และ BHT เป็นสารมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ และนำไปคำนวณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \frac{[(A_A - A_B) - (A_C - A_D)] \times 100}{(A_A - A_B)}$$

โดยกำหนดให้

$A_A$  = ค่าดูดกลืนแสงของ DPPH ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับสารสกัด

$A_B$  = ค่าดูดกลืนแสงของเอทานอล

$A_C$  = ค่าดูดกลืนแสงของ DPPH ที่ทำปฏิกิริยากับสารสกัด

$A_D$  = ค่าดูดกลืนแสงของสารสกัดในเอทานอล

ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันจะแสดงเป็นค่า half maximal inhibition concentration ( $IC_{50}$ ) คือ ความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50% โดยสร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่า  $\log_{10}$  ของความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกน x) กับ % lethality (แกน y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณโดยแทนค่า  $y = 50$  ลงในสมการกราฟเส้นตรง จะหาได้ค่า  $x$  และ  $\text{antilog } x$  จะเป็นค่า  $IC_{50}$  และรายงานผลเป็นค่า  $IC_{50}$

## 2) ค่า 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS)

### radical cation scavenging activity

เตรียมสารละลาย  $K_2O_8S_2$  ความเข้มข้น 2.45 mM กระตุ้น ABTS ความเข้มข้น 7 mM ให้เปลี่ยนเป็น  $ABTS^{\bullet+}$  cation radical ซึ่งมีสีเขียวอมฟ้า โดยทำปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลานาน 12-16 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลาย  $ABTS^{\bullet+}$  ที่ได้มาเจือจางในเอทานอลและวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ให้มีค่าเท่ากับ  $0.70 \pm 0.02$  ก่อนใช้งานทุกครั้ง นำสารสกัดข้าวคืบและข้าวहुงสุกที่ความเข้มข้น 10% เจือจางให้มีความเข้มข้น 8, 6, 4 และ 2% จากนั้นใส่สารสกัดแต่ละความเข้มข้นลงในหลอดทดลอง ปริมาตร 300 ไมโครลิตร และเติมสารละลาย ABTS ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ตามวิธีการของ *Re et al.* (1999) ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และนำไปคำนวณฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS โดยใช้แควอซีติน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ

$$ABTS \text{ radical scavenging activity (\%)} = \frac{[(A_A - A_B) - (A_C - A_D)] \times 100}{(A_A - A_B)}$$

โดยกำหนดให้

$A_A$  = ค่าดูดกลืนแสงของ  $ABTS^{\bullet+}$  ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับสารสกัด

$A_B$  = ค่าดูดกลืนแสงของเอทานอล

$A_C$  = ค่าดูดกลืนแสงของ  $ABTS^{\bullet+}$  ที่ทำปฏิกิริยากับสารสกัด

$A_D$  = ค่าดูดกลืนแสงของสารสกัดในเอทานอล

ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันจะแสดงเป็นค่า half maximal inhibition concentration ( $IC_{50}$ ) คือ ความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50% โดยสร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่า  $\log_{10}$  ของความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกน x) กับ % lethality (แกน y) คำนวณโดยแทนค่า  $y = 50$  ลงในสมการกราฟเส้นตรง จะหาได้ค่า  $x$  และ  $\text{antilog } x$  จะเป็นค่า  $IC_{50}$  และรายงานผลเป็นค่า  $IC_{50}$

## 3) ค่า Reducing power

นำสารสกัดข้าวคืบและข้าวहुงสุกที่ความเข้มข้น 10% เจือจางให้มีความเข้มข้น 8, 6, 4 และ 2% จากนั้นใส่สารสกัดแต่ละความเข้มข้นลงในหลอดทดลอง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 200 mM phosphate buffer (pH 6.6) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1% potassium ferricyanide ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เติมน้ำกลั่น 10% trichloroacetic acid (TCA) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นดูดสารละลายส่วนใส ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และเติม 0.1% FeCl<sub>3</sub> ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร ตามวิธีการของ Siddhuraju *et al.* (2015) ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ใช้วิตามินซีเป็นสารมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ

ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันจะแสดงเป็นค่า half maximal effective concentration (EC<sub>50</sub>) คือ ความเข้มข้นของสารที่มีประสิทธิภาพกระตุ้นการต้านอนุมูลอิสระได้ 50% ของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด โดยสร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่า log<sub>10</sub> ของความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกน x) กับ % Lethality (แกน y) คำนวณโดยแทนค่า y = 0.5 ลงในสมการกราฟเส้นตรง จะหาได้ค่า x และ antilog x จะเป็นค่า EC<sub>50</sub> และรายงานผลเป็นค่า EC<sub>50</sub>

#### 4) ค่า Total phenolic content

นำสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกที่ความเข้มข้น 10% ใส่ในหลอดทดลอง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร เติม Folin Ciocalteu reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และสารละลาย 7.5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มีดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 6,000 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร ตามวิธีการของ Ebrahimzaded *et al.* (2008); Nabavi *et al.* (2008) ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเปรียบเทียบจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก มีหน่วยวัดเป็นมิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อตัวอย่าง 100 กรัม (mg GAE/100 g sample; GAE = Gallic acid Equivalent)

#### 3.4.2.3 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร้พื้นเมืองของภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์

ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ที่ได้รับการคัดเลือกจากการทดลองที่ 1 และนำไปใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสานจะถูกนำไปส่งวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (proximate composition) ที่บริษัท Betagro Science center โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความชื้น (Moisture) โดยวิธี AOAC (2012) 945.39
2. เถ้า (Ash) โดยวิธี AOAC (2012) 923.03
3. โปรตีน (Protein) โดยวิธี Inhouse Method: TI-C00-016 based on ISO

5983-2: 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไขมัน (Fat) โดยวิธี Inhouse Method: TI-C00-015 based on AOAC (2012) 920.39
5. คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) โดยวิธี Compendium of method for food analysis (2003), food compastion and nutrition labeling chapter, p 2-9
6. พลังงาน (Energy) โดยใช้วิธี Compendium of method for food analysis (2003), food compastion and nutrition labeling chapter, p 2-9

#### 3.4.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ 2×8 Factorial in Completely Randomized Design วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS (Statistical Analysis Systems Institute, 1998)

3.4.3 การทดลองที่ 3 คัดเลือกข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูง รวมถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคมาผลิตไส้กรอกอีสานต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี่ ชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ในระหว่างกระบวนการหมัก และศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design ; RCBD) ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ กำหนดให้มี 5 กลุ่มการทดลอง โดยมีจำนวนรอบการผลิต 3 รอบ เป็น Block รอบการผลิตจะมีระยะห่างเป็นเวลา 1 สัปดาห์

##### 3.4.3.1 การผลิตไส้กรอกอีสาน

การผลิตไส้กรอกอีสานดังแสดงในการทดลองที่ 3.4.1 ข้อ 3.4.1.1 โดยคัดเลือกข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ที่มีคุณสมบัติสารต้านอนุมูลอิสระสูง (จากการทดลองที่ 2 ) และความพึงพอใจของผู้บริโภค (จากการทดลองที่ 1) มาผลิตไส้กรอกอีสานจำนวน 3 สายพันธุ์ ทำการเปรียบเทียบไส้กรอกอีสานที่ผลิตจากข้าวพื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ กับไส้กรอกอีสานที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป 1 ยี่ห้อ และไส้กรอกอีสานทางการค้า 1 ยี่ห้อ (ที่ทดสอบจากการทดลองที่ 1) ทำการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 4 วัน แบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 5 กลุ่มทดลอง ดังนี้

- 1) ไส้กรอกอีสานทางการค้า (ผลจากการทดสอบในการทดลองที่ 1)
- 2) กลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ (ผลจากการทดสอบในการทดลองที่ 1)
- 3) กลุ่มที่ใช้ข้าวพันธุ์ A (คัดเลือกจากการทดลองที่ 1 และ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) กลุ่มที่ใช้ข้าวพันธุ์ B (คัดเลือกจากการทดลองที่ 1 และ 2)

5) กลุ่มที่ใช้ข้าวพันธุ์ C (คัดเลือกจากการทดลองที่ 1 และ 2)

ตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานเป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 วัน ในระหว่างกระบวนการหมัก และศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

### 1. วิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่

#### - ค่าสี (CIE L\*, a\* และ b\*)

สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานกลุ่มการทดลองละ 1 ชิ้น ทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี HunterLab Mini Scan EZ 4000L (Hunter Lab Inc, Reston, VA, USA) ที่ผิวสัมผัสด้านนอก แสดงผลเป็นค่า L\* (Lightness), a\* (Redness) และ b\* (Yellowness) แต่ละตัวอย่างจะทำการวัดค่า 3 ซ้ำ

#### - ค่าความสดใส (Chroma) และค่าองศาของสี (Hue angle)

การวิเคราะห์ค่าความสดใส (Chroma) และค่าองศาของสี (Hue angle) กำหนดตามวิธีการของ Ledesma *et al.* (2016) โดยนำค่า L\* (Lightness), a\* (Redness) และ b\* (Yellowness) ที่ทำการวัดด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter Mini Scan EZ 4000L (Hunter Lab Inc, Reston, VA, USA) มาใช้สำหรับคำนวณหาค่าความสดใส (Chroma) (1) และ Hue angle (2) จากสูตร ดังนี้

$$\text{Chroma} = (b^*/a^*)^2 \quad (1)$$

$$\text{Hue angle} = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad (2)$$

#### - ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (% Weight loss)

ค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานถูกคำนวณเป็นร้อยละของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานก่อนเก็บรักษาเป็นน้ำหนักเริ่มต้น ( $W_1$ ) และชั่งน้ำหนักสุดท้ายของกระบวนการหมัก ( $W_2$ ) ตามวิธีการของ Gharibzahedi and Mohammadnabi (2017) ทำการบันทึกผลจากตัวอย่าง จำนวน 3 ซ้ำ คำนวณหาค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักที่ออกมาระหว่างกระบวนการหมักได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

### - ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis, TPA)

การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน Texture profile analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Instron model 1011 (Calibration Laboratory, USA) ทำการวัดตัวอย่างด้วยหัววัดแบบกด (compression) ตามวิธีการของ Sucu and Turp (2018) โดยตัดไส้กรอกอีสานให้ได้ขนาด  $1 \times 1 \times 1$  เซนติเมตร จำนวน 10 ชิ้น แต่ละตัวอย่างทดลองจะทำการวัดค่า 10 ครั้ง เป็นการวัดค่าแรงที่ใช้กดลงบนตัวอย่างขนาดมาตรฐาน 2 ครั้ง โดยทำการบีบไส้กรอกอีสานที่จะทำการประเมินเป็นแท่งทรงกระบอก โพลลเซลล์ที่ใช้ในการวัดค่า 500 นิวตัน กำหนดให้การวัดค่าของตัวอย่างถูกกดลงไปเป็นระยะทางร้อยละ 40 ของความสูงตัวอย่าง บันทึกค่าความแข็ง (Hardness, N) ค่าความเหนียวคล้ายยาง (Gumminess, N) ค่าการเกาะตัวกัน (Cohesiveness, ratio) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness, ratio) และค่าความยากในการเคี้ยว (Chewiness, Nmm) ซึ่งค่าความยืดหยุ่น คำนวณได้จาก  $\text{Length 2/Length 1}$  (ratio) และค่าความยากในการเคี้ยวคำนวณได้จากค่า  $\text{springiness} \times \text{gumminess}$  (Nmm)

## 2. วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี ได้แก่

### - ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

ทำการวัดค่าความเป็นกรดต่างของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน ด้วยเครื่อง pH meter (Mettler Toledo model SG-2, Switzerland) ตามวิธีการของ AOAC (1984) โดยใช้หัวโพรบที่มลงบนผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานโดยตรง จำนวน 3 จุด ซึ่งเป็นการวัดค่าความเป็นกรดต่างจำนวน 3 ซ้ำ

### - ค่าปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity)

ทำโดยสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานมาทำการชั่งน้ำหนัก จำนวน 2 กรัม ใส่ในหลอด Centrifuge tube ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปปั่นด้วยเครื่องฮอโมจิไนเซอร์ (Ultra tarrax model T25 digital, Germany) ที่ความเร็วรอบ 7,000 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปหมวนเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Jouan, CR3i, France) ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 5 นาที นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินลงไปด้วยละ 3-5 หยด นำส่วนใสที่ได้มาไทเทรตด้วย 0.1 N NaOH จนถึงจุดยุติ (สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน) ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Friedrich (2001) และนำมาคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดจากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์กรดทั้งหมด} = \frac{N \times V \times 90.01 \times 100}{1000 \times \text{น้ำหนักของตัวอย่าง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน 0.1 N NaOH

V = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน 0.1 N NaOH ที่ใช้

#### - ค่า Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS)

การศึกษาค่าการออกซิเดชันของไขมันด้วยเทคนิค Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน ตามวิธีการดัดแปลงจาก Mielnik *et al.* (2006); Loypimai *et al.* (2017) โดยสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานจำนวน 10 กรัม ใส่ในหลอด centrifugal tube ขนาด 50 มิลลิลิตร ใส่สารละลาย 7.5% trichloroacetic acid ปริมาตร 30 มิลลิลิตร นำไปปั่นด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ (Ultra tarrax model T25 digital, Germany) ที่ความเร็วรอบ 9,000 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 1 นาที นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Jouan, CR3i, France) ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำสารละลายส่วนใส ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารละลาย 0.02 M 2-thiobarbituric acid (TBA) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำส่วนผสมดังกล่าวไปให้ความร้อนในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที ทำให้เย็นโดยการเปิดน้ำไหลผ่านเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำละลายส่วนใสไปทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร ทำการวัดผล 3 ซ้ำ จากนั้นคำนวณความเข้มข้นของ TBARS ที่ได้โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสาร 1,1,3,3-tetraethoxypropane (TEP) และคำนวณค่า TBARS ที่แสดงในหน่วย mg MDA/kg sample

### 3. วิเคราะห์คุณภาพทางด้านชีวภาพ ได้แก่

#### - แบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic acid bacteria)

ตรวจวิเคราะห์หาเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกโดยวิธีการที่อ้างอิงจาก AOAC (2006) ทำโดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานจำนวน 25 กรัม ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อใส่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.85% ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปตีด้วยเครื่องตีปั่นไฟฟ้าเป็นเวลา 60 วินาที จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 1:10 จากนั้นเจือจางตัวอย่างให้ได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม (1:100, 1:1000, 1:10000 และ 1:100000 เป็นต้น) ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายเจือจาง 0.1 มิลลิลิตร ถ่ายลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหาร MRS Agar ที่เติม 0.5% calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) ที่ระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ ใช้แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยมที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมาทำการ Spread plate technique ที่ผิวหน้าอาหารแล้วคว่ำจานเพาะเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่ไม่มีอากาศ จากนั้นนับจำนวนโคโลนีที่มีบริเวณใส (clear zone) รอบๆ โคลินี่ รายงานผลจำนวนเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกเฉพาะจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนระหว่าง 30-300 โคลินี่ หน่วยเป็น log cfu/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### - ยีสต์ และรา (Yeast and Mold)

ตรวจวิเคราะห์หา ยีสต์และรา โดยวิธีการที่อ้างอิงจาก AOAC (2005) โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ใส่กรอกีสานจำนวน 25 กรัม ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ ใส่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.85% ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปตีด้วยเครื่องตีปั่นไฟฟ้าเป็นเวลา 60 วินาที จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 1:10 จากนั้นเจือจางตัวอย่างให้ได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม (1:100, 1:1000 และ 1:10000 เป็นต้น) ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายเจือจาง 1 มิลลิลิตร ถ่ายลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหาร Malt agar ที่เติมกรดแลกติกความเข้มข้น 80% ปริมาตรจานละ 15-20 มิลลิลิตร โดยวิธี Pour plate technique ที่ระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-7 วัน จากนั้นนับจำนวนยีสต์และรา โดยรายงานผลจำนวนยีสต์และรา เฉพาะจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนระหว่าง 30-300 โคโลนี หน่วยเป็น log cfu/g

### - Coliform และ *E.coli*

ตรวจวิเคราะห์หาเชื้อ Coliform และ *E. coli* โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Chromocult coliform agar โดยวิธีการที่อ้างอิงจาก AOAC (2006) โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ใส่กรอกีสานจำนวน 25 กรัม ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ ใส่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.85% ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปตีด้วยเครื่องตีปั่นไฟฟ้าเป็นเวลา 60 วินาที จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 1:10 จากนั้นเจือจางตัวอย่างให้ได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม (1:100, 1:1000, 1:10000 และ 1:100000 เป็นต้น) ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายเจือจาง 0.1 มิลลิลิตร ถ่ายลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหาร Chromocult coliform agar ที่ระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ ใช้แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยมที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมาทำการ Spread plate technique ที่ผิวหน้าอาหารแล้วคว่ำจานเพาะเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โคโลนีที่มีสีชมพูแสดงว่าเป็น Coliform bacteria ส่วนโคโลนีสีม่วงน้ำเงินแสดงว่าเป็นเชื้อ *E. coli* รายงานผลจำนวน Coliform bacteria เฉพาะจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนระหว่าง 30-300 โคโลนี หน่วยเป็น log cfu/g จากนั้นทดสอบเพื่อยืนยันว่าเป็นเชื้อ *E. coli* โดยทำการสุ่มโคโลนีสีม่วงน้ำเงิน เขี่ยลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptophan Broth บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารละลาย Kovac จำนวน 0.2-0.3 มิลลิลิตร ถ้าให้ผลบวก จะปรากฏสีแดงที่ส่วนบนของ Tryptophan Broth

### - *Staphylococcus aureus*

ตรวจวิเคราะห์หาเชื้อ *S. aureus* ตามวิธีการของ BAM (2016) โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ใส่กรอกีสานจำนวน 25 กรัม ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ ใส่ในสารละลายเกลือ

โซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.85% ปริมาตร 225 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปตีด้วยเครื่องตีปั่นไฟฟ้าเป็นเวลา 60 วินาที จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 1:10 จากนั้นเจือจางตัวอย่างให้ได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม (1:100, 1:1000 และ 1:10000 เป็นต้น) ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายเจือจาง 0.1 มิลลิลิตร ถ่ายลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหาร Baird-Parker agar ที่เติม 1% Potassium tellurite และไข่แดง ปริมาตรจานละ 15-20 มิลลิลิตร ที่ระดับความเจือจางละ 2 ซ้ำ ใช้แท่งแก้วรูปสามเหลี่ยมที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมาทำการ Spread plate technique ที่ผิวหน้าอาหารแล้วคว่ำจานเพาะเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง จากนั้นนับจำนวนเชื้อ *S. aureus* ที่มีลักษณะกลมมน สีดำเป็นมัน ผิวเรียบ ขอบขาว มีตะกอนขุ่นรอบๆ โคลิโคนี รายงานผลจำนวนเชื้อ *S. aureus* เฉพาะจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนระหว่าง 30-300 โคลิโคนี หน่วยเป็น log cfu/g จากนั้นทดสอบเพื่อยืนยันว่าเป็น *S. aureus* โดยวิธีการ slide coagulase test เป็นการทดสอบเอนไซม์ coagulase แบบ bound form ทำโดยหยด Rabbit plasma 1 หยด ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนสไลด์ที่ทำความสะอาดแล้ว จากนั้นเขี่ยเชื้อที่ต้องการทดสอบ 1 loop ผสมให้เข้ากันแล้วทำการ smear สังเกตการเกิดเส้นใยบนสไลด์ ผลบวกจะพบการเกาะกลุ่ม (agglutination) ของเชื้อ ส่วนผลลบจะไม่มีเกาะกลุ่ม

#### - *Salmonella* spp.

ตรวจวิเคราะห์หาเชื้อ *Salmonella* spp. ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานตามวิธีการของ BAM (2007) โดยสุ่มตัวอย่าง 25 กรัม ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อใส่อาหาร Tryptic Soy Broth (TSB) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Tetrathionate Broth (TTB) + Iodine solution และ Selenite Cysteine Broth (SCB) นำหลอดเพาะเลี้ยงเชื้อบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อลงในอาหาร Xylose Lysine Deoxycholate (XLD) agar และ Sallmonella-Shigella (SS) agar บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตลักษณะ โคลิโคนีสีน้ำตาลเงินขียวและตรงกลางมีสีดำ กลม นูน ผิวเรียบเป็นมัน อาจพบจุดหรือไม่พบจุดตรงกลาง นำโคลิโคนีไปทำการทดสอบปฏิกิริยาทางชีวเคมีโดยใช้เข็มเขี่ยเชื้อ โคลิโคนีที่สงสัยไปเพาะในอาหาร Triple sugar Iron (TSI) Agar slant และ Lysine-Indole-Motility (LIM) medium บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดูผลปฏิกิริยาทางชีวเคมีในหลอด TSI agar slant และ LIM medium

#### 4. วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

การเตรียมสารสกัดจากผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานเพื่อวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน ไปอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมาบดให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องบดสับพร้อมโถผสมอาหาร (Moulinex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

chopper DPA144, Thailand) ทำการสุมตัวอย่างจำนวน 3 กรัม ใส่ในหลอด centrifugal tube ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 15 มิลลิลิตร นำไปปั่นด้วยเครื่องหอโมจินเซอร์ (Untra tarrax model T25 digital, Germany) ที่ความเร็วรอบ 7,900 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเติม สารละลายคลอโรฟอร์ม (Chloroform) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง ผสมสารละลายในหลอดทดลอง (Vortex Mixer KMC-1300V, Korea) และนำไปหมุนเหวี่ยงด้วย เครื่องปั่นเหวี่ยง (Jouan, CR3i, France) ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 15 นาที จะได้ สารละลายส่วนใส (supernatant) 20% และนำไปวิเคราะห์ค่า DPPH, ABTS<sup>•+</sup>, Reducing power และ Total phenolic content ตามวิธีการดัดแปลงจาก Jung *et al.* (2010)

#### - ค่า 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH)

##### radical scavenging activity

ตรวจวิเคราะห์ค่า DPPH ตามวิธีการดัดแปลงจาก Qwele *et al.* (2013); Chen *et al.* (2015) โดยเจือจางสารสกัดตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 10% ผสมสารละลายตัวอย่างลงใน หลอดทดลอง ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.2 mM DPPH ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปเก็บบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายส่วนใสวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว คลื่น 517 นาโนเมตร ทำการวัดผล 3 ซ้ำ นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูล อิสระ DPPH

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = [1 - (A_{\text{Sample}} - A_{\text{Blank}}) / A_{\text{Control}}] \times 100$$

โดยกำหนดให้

$A_{\text{Sample}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ทำปฏิกิริยากับ DPPH

$A_{\text{Blank}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของเอทานอลที่ทำปฏิกิริยากับสารสกัด

$A_{\text{Control}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำกลั่นที่ทำปฏิกิริยากับ DPPH

#### - ค่า 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS)

##### radical cation scavenging activity

เตรียมสารละลาย potassium persulfate ( $K_2O_8S_2$ ) ความเข้มข้น 2.45 mM กระตุ้น ABTS ความเข้มข้น 7 mM ให้เปลี่ยนเป็น ABTS<sup>•+</sup> cation radical ซึ่งมีสีเขียวอมฟ้า โดยทำ ปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลานาน 12-16 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลาย ABTS<sup>•+</sup> ที่ได้มาเจือจางในเอทานอล และวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ให้มีค่าเท่ากับ  $0.70 \pm 0.02$  ก่อนใช้งานทุกครั้ง จากนั้นเจือจางสารสกัดให้มีความเข้มข้น 10% แล้วผสมสารละลายตัวอย่างลงในหลอด ทดลอง ปริมาตร 300 ไมโครลิตร เติมสารละลาย ABTS<sup>•+</sup> ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทั้งไว้ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ตามวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คัดแปลงจาก Re *et al.* (1999); Shirwaikar *et al.* (2006) ทำการวัดผล 3 ชั่วโมง และนำไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS<sup>•+</sup>

$$\text{ABTS radical cation scavenging activity (\%)} = [1 - (A_{\text{Sample}} - A_{\text{Blank}}) / A_{\text{Control}}] \times 100$$

โดยกำหนดให้

$A_{\text{Sample}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ทำปฏิกิริยากับ ABTS<sup>•+</sup>

$A_{\text{Blank}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของเอทานอลที่ทำปฏิกิริยากับสารสกัด

$A_{\text{Control}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำกลั่นที่ทำปฏิกิริยากับ ABTS<sup>•+</sup>

#### - ค่า Reducing power

ตรวจวิเคราะห์ค่า Reducing power ตามวิธีการดัดแปลงจาก Shahdadi *et al.* (2015); Vijayalakshmi and Ruckmani (2016) โดยเจือจางสารสกัดตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 10% แล้วดูดสารละลายตัวอย่างลงในหลอดทดลองปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.2 M phosphate buffer (pH 6.6) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และสารละลาย 1%  $K_3[Fe(CN)_6]$  ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติมสารละลาย 10% TCA ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นดูดสารละลายส่วนใสปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร และ 0.1%  $FeCl_3$  ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมเข้าให้กัน และบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร ทำการวัดผล 3 ชั่วโมง และรายงานผลเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

#### - ค่า Total phenolic content

ตรวจวิเคราะห์ค่า Total phenolic content ตามวิธีการดัดแปลงจาก Alvarez-Parrilla *et al.* (2014) โดยเจือจางสารสกัดตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 10% และดูดสารละลายตัวอย่างลงในหลอดทดลองปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร เติมสาร Folin Ciocalteu reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และสารละลาย 7.5%  $Na_2CO_3$  ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในที่มืด จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ชั่วโมง นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก มีหน่วยวัดเป็น มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักไม้สัก 100 กรัม (mg GAE/100 g sample; GAE = Gallic acid equivalent)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS (Statistical Analysis Systems Institute, 1998)

### 3.4.4 การทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่เหมาะสมต่อคุณภาพและความปลอดภัย

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ

#### 3.4.4.1 การผลิตและการศึกษาวิธีการหมักไส้กรอกอีสาน

การผลิตไส้กรอกอีสานดังแสดงในการทดลองที่ 3.4.1 ข้อ 3.4.1.1 (โดยใช้ข้าวพันธุ์ A, B หรือ C จากการทดลองที่ 3 ในการผลิตไส้กรอกอีสาน จำนวน 1 สายพันธุ์) และแบ่งวิธีการหมักไส้กรอกอีสานออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน
- 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุลงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน
- 3) บรรจุลงสุญญากาศเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน

ตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานเป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 วัน โดยวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

1. วิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ (ดังแสดงในการทดลองที่ 3.4.3.1 ข้อ 1) ได้แก่

- ค่าสี (CIE L\*, a\* และ b\*)
- ค่าความสดใส (Chroma)
- ค่าองศาของสี (Hue angle)
- ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (% Weight loss)
- ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis, TPA)

2. วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี (ดังแสดงในการทดลองที่ 3.4.3.1 ข้อ 2) ได้แก่

- ค่าความเป็นกรดค้าง (pH)
- ค่าปริมาณกรดทั้งหมด (% Total acidity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. วิเคราะห์คุณภาพด้านชีวภาพ (ดังแสดงในการทดลองที่ 3.4.3.1 ข้อ 3)

ได้แก่

- แบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic acid bacteria)
- ยีสต์และรา (Yeast and Mold)
- Coliform และ *E.coli*
- *Staphylococcus aureus*
- *Salmonella* spp.

### 4. การวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน

ทำการประเมินโดยวิธี Consumer test ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 7 ระดับ เช่นเดียวการทดลองที่ 3.4.1 - ข้อ 3.4.1.2 แต่การทดสอบจะสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครั้งละ 3 ตัวอย่าง ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะถูกระบุด้วยตัวเลขแบบสุ่ม (random number) เช่นเดียวกัน

#### 3.4.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS (Statistical Analysis Systems Institute, 1998) สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส รายงานเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean  $\pm$  SD) ของค่าที่วัดได้ ทดสอบสมมติฐานโดยใช้ค่า One-way ANOVA วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (SPSS for windows version 16.0: SPSS Inc.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ความพึงพอใจของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์

##### 4.1.1 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานดิบ

การศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานดิบที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้จำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวช้ดขาวสามเดือน ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องสังข์หยด และข้าวกล้องดอกขาม ในการผลิตไส้กรอกอีสาน เปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป 2 ยี่ห้อ และไส้กรอกอีสานทางการค้า 2 ยี่ห้อ ทำการประเมินลักษณะปรากฏด้วยสายตา ได้แก่ สี และความชอบโดยรวม (ตารางที่ 4.1) พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสีต่อไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางดำมากที่สุด (5.35) รองลงมาคือข้าวกล้องดอกข่า ข้าวช้ดขาวสามเดือน ข้าวกล้องสามเดือน และข้าวกล้องสังข์หยด มีคะแนนความชอบเท่ากับ 5.19, 5.14, 5.10 และ 5.00 ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ทั้ง 2 ยี่ห้อ พบว่ามีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่าผู้บริโภคชอบและมีแนวโน้มถึงชอบมาก ในขณะที่ไส้กรอกอีสานทางการค้าทั้ง 2 ยี่ห้อ ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบค่อนข้างต่ำกว่ากลุ่มอื่น (3.69 และ 3.95 ตามลำดับ) โดยต่ำกว่าไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวที่ทดสอบข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ส่วนค่าความชอบโดยรวมต่อไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ และข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป 2 ยี่ห้อ (ตารางที่ 4.1) พบว่ามีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) โดยไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางดำ มีคะแนนความชอบสูงที่สุด (5.38) รองลงมาคือข้าวกล้องดอกข่า ข้าวช้ดขาวสามเดือน ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวกล้องสังข์หยด และข้าวกล้องดอกขาม โดยมีคะแนนความชอบเท่ากับ 5.31, 5.07, 5.05, 5.00 และ 4.88 ตามลำดับ แสดงว่าผู้บริโภคเฉยๆและมีแนวโน้มถึงชอบมาก นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุดสำหรับไส้กรอกอีสานทางการค้าทั้ง 2 ยี่ห้อ ( $P < 0.05$ ) โดยให้คะแนนเท่ากับ 3.71 และ 3.78 ตามลำดับ แสดงว่าผู้บริโภคไม่ชอบและเฉยๆกับไส้กรอกอีสานทางการค้า

**ตารางที่ 4.1** ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อสี และความชอบโดยรวมต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานดิบที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 8 สายพันธุ์เปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานทางการค้า (Mean  $\pm$  SD)

พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน	สี	ความชอบโดยรวม
ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ A	3.69 $\pm$ 0.87 <sup>C</sup>	3.71 $\pm$ 0.97 <sup>B</sup>
ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B	3.95 $\pm$ 1.10 <sup>C</sup>	3.88 $\pm$ 1.19 <sup>B</sup>
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A	5.31 $\pm$ 1.09 <sup>AB</sup>	5.31 $\pm$ 1.05 <sup>A</sup>
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B	5.33 $\pm$ 1.07 <sup>A</sup>	5.29 $\pm$ 1.07 <sup>A</sup>
ข้าวขั้วขาวสามเดือน	5.14 $\pm$ 1.03 <sup>AB</sup>	5.07 $\pm$ 1.07 <sup>A</sup>
ข้าวกล้องสามเดือน	5.10 $\pm$ 1.01 <sup>AB</sup>	5.05 $\pm$ 1.13 <sup>A</sup>
ข้าวกล้องนางคำ	5.35 $\pm$ 1.01 <sup>A</sup>	5.38 $\pm$ 1.03 <sup>A</sup>
ข้าวกล้องดอกข่า	5.19 $\pm$ 1.06 <sup>AB</sup>	5.31 $\pm$ 1.12 <sup>A</sup>
ข้าวกล้องสังข์หยด	5.00 $\pm$ 1.23 <sup>AB</sup>	5.00 $\pm$ 1.25 <sup>A</sup>
ข้าวกล้องดอกขาม	4.80 $\pm$ 0.99 <sup>B</sup>	4.88 $\pm$ 1.09 <sup>A</sup>

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ระดับคะแนนความชอบ โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบ 4 = เฉยๆ 5 = ชอบ 6 = ชอบมาก และ 7 = ชอบมากที่สุด

#### 4.1.2 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานสุก

การศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานสุกที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวขั้วขาวสามเดือน ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องสังข์หยด และข้าวกล้องดอกขาม ในการผลิตไส้กรอกอีสานเปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป 2 ยี่ห้อ และไส้กรอกอีสานทางการค้า 2 ยี่ห้อ โดยทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นเปรี้ยว รสชาติเปรี้ยว และความชอบโดยรวม ภายหลังการทำให้สุกโดยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกอีสาน. 2546) (ตารางที่ 4.2) พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านสีของไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวกล้องสังข์หยดมากที่สุด (5.33) รองลงมาคือข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวขั้วขาวสามเดือน ที่ระดับคะแนน 5.16, 5.11 และ 5.11 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไปทั้ง 2 ยี่ห้อ มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) โดยมีค่าเท่ากับ 5.35 และ 5.30 ตามลำดับ แสดงว่า

ผู้บริโภครอบและมีแนวโน้มถึงชอบมาก ขณะที่ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B มีคะแนนความชอบต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 4.59 ( $P < 0.05$ )

ความชอบของผู้บริโภคทางด้านลักษณะปรากฏต่อไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไปทั้ง 2 ยี่ห้อ และไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางคำ ข้าวขัดขาวสามเดือน ข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องสังข์หยด และข้าวกล้องสามเดือน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 5.00-5.35 แสดงว่าผู้บริโภครอบและมีแนวโน้มถึงชอบมาก ซึ่งแตกต่างกับไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B ที่มีระดับคะแนนความชอบที่ต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 4.71 ( $P < 0.05$ )

นอกจากนี้ยังพบว่าไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่ามีคะแนนความชอบด้านกลิ่นเปรี้ยว รสชาติเปรี้ยว และด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 5.16, 5.30 และ 5.14 ตามลำดับ รองลงมาคือไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางคำ และข้าวกล้องสังข์หยด โดยมีระดับคะแนนความชอบในช่วง 5.07-5.30 ตามลำดับ แสดงว่าผู้บริโภครอบและมีแนวโน้มถึงชอบมาก ส่วนไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไปทั้ง 2 ยี่ห้อ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) สำหรับไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B พบว่ามีคะแนนต่ำที่สุดในทั้ง 3 ด้าน ( $P < 0.05$ ) และเมื่อพิจารณาด้านรสชาติของไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B พบว่ามีคะแนนความชอบต่ำกว่า เนื่องจากมีส่วนผสมเพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้าในการลดต้นทุนการผลิต เช่น การเติมถั่วเหลือง น้ำส้มสายชู สารคงสภาพของสี สารทำให้เกิดความชุ่มชื้น และสารป้องกันการออกซิเดชันในส่วนผสม

ในด้านความชอบโดยรวม พบว่าไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางคำ มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (5.50) รองลงมาคือข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องสังข์หยด มีค่าเท่ากับ 5.40 และ 5.38 ตามลำดับ ในขณะที่ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไปทั้ง 2 ยี่ห้อ มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 5.30 และ 5.07 ตามลำดับ ( $P > 0.05$ ) แสดงว่าผู้บริโภครอบและมีแนวโน้มถึงชอบมาก นอกจากนี้ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B มีคะแนนน้อยที่สุด คือ 4.21 ( $P < 0.05$ ) แสดงว่าผู้บริโภครอบและมีแนวโน้มถึงชอบ

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกอีสานสุก ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวกล้องดอกข่าสูงสุดในด้านกลิ่นเปรี้ยว รสชาติเปรี้ยว และลักษณะเนื้อสัมผัส รองลงมาคือไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวกล้องนางคำ และข้าวกล้องสังข์หยด ตามลำดับ ในขณะที่ความชอบโดยรวมของไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวกล้องนางคำ ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบมากที่สุด รองลงมาคือไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องสังข์หยด ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานสุกที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 8 สายพันธุ์เปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานทางการค้า

(Mean ± SD)

พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน	สี	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นเปรี้ยว	รสชาติเปรี้ยว	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ A	5.00 ± 0.86 <sup>ABC</sup>	5.02 ± 0.94 <sup>ABC</sup>	5.11 ± 0.72 <sup>A</sup>	4.52 ± 1.13 <sup>DE</sup>	4.57 ± 1.15 <sup>BCD</sup>	4.90 ± 1.18 <sup>BC</sup>
ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B	4.59 ± 1.02 <sup>C</sup>	4.71 ± 0.99 <sup>BC</sup>	4.42 ± 1.07 <sup>B</sup>	4.26 ± 1.29 <sup>E</sup>	4.26 ± 1.14 <sup>D</sup>	4.21 ± 1.28 <sup>D</sup>
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A	5.35 ± 0.76 <sup>A</sup>	5.35 ± 0.82 <sup>A</sup>	4.97 ± 1.09 <sup>A</sup>	5.04 ± 1.01 <sup>ABCD</sup>	5.04 ± 0.99 <sup>AB</sup>	5.30 ± 0.92 <sup>ABC</sup>
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B	5.30 ± 1.02 <sup>A</sup>	5.00 ± 1.01 <sup>ABC</sup>	4.92 ± 1.00 <sup>AB</sup>	5.00 ± 1.10 <sup>ABCD</sup>	4.88 ± 0.94 <sup>ABC</sup>	5.07 ± 0.97 <sup>ABC</sup>
ข้าวขัดขาวสามเดือน	5.11 ± 1.02 <sup>AB</sup>	5.02 ± 1.07 <sup>ABC</sup>	4.88 ± 1.15 <sup>AB</sup>	4.61 ± 1.21 <sup>CDE</sup>	4.76 ± 1.23 <sup>ABCD</sup>	4.90 ± 1.10 <sup>BC</sup>
ข้าวกล้องสามเดือน	5.00 ± 0.99 <sup>ABC</sup>	5.02 ± 0.92 <sup>ABC</sup>	4.71 ± 1.13 <sup>AB</sup>	4.71 ± 1.04 <sup>BCDE</sup>	4.42 ± 1.19 <sup>CD</sup>	4.85 ± 0.98 <sup>C</sup>
ข้าวกล้องนางดำ	5.16 ± 0.85 <sup>AB</sup>	5.11 ± 1.09 <sup>AB</sup>	5.09 ± 1.03 <sup>A</sup>	5.21 ± 1.12 <sup>AB</sup>	5.09 ± 1.12 <sup>AB</sup>	5.50 ± 1.04 <sup>A</sup>
ข้าวกล้องดอกข่า	5.11 ± 0.92 <sup>AB</sup>	5.09 ± 1.03 <sup>ABC</sup>	5.16 ± 0.99 <sup>A</sup>	5.30 ± 1.12 <sup>A</sup>	5.14 ± 1.09 <sup>B</sup>	5.40 ± 0.99 <sup>AB</sup>
ข้าวกล้องสังข์หยด	5.33 ± 1.00 <sup>A</sup>	4.76 ± 0.98 <sup>ABC</sup>	5.07 ± 1.16 <sup>A</sup>	5.16 ± 1.17 <sup>ABC</sup>	5.07 ± 1.07 <sup>AB</sup>	5.38 ± 1.01 <sup>ABC</sup>
ข้าวกล้องดอกขาม	4.71 ± 1.37 <sup>BC</sup>	4.59 ± 1.15 <sup>C</sup>	4.69 ± 1.12 <sup>AB</sup>	4.73 ± 1.21 <sup>BCDE</sup>	4.83 ± 1.06 <sup>ABC</sup>	4.92 ± 1.13 <sup>BC</sup>

<sup>A,B,C,D,E</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ระดับคะแนนความชอบ โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบ 4 = เฉยๆ 5 = ชอบ 6 = ชอบมาก และ 7 = ชอบมากที่สุด

## 4.2 การต้านอนุมูลอิสระ และคุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวขัดขาวสามเดือน ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องสังข์หยด และข้าวกล้องดอกขาม เปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป จำนวน 2 ยี่ห้อ โดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) radical scavenging activity, 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical cation scavenging activity, reducing power และ total phenolic content ดังนี้

### 4.2.1 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้

#### 4.2.1.1 ค่า 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) radical scavenging activity

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เพื่อหา % การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดข้าวที่ความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นคำนวณหา % การยับยั้งอนุมูลอิสระที่ความเข้มข้นมากขึ้น สารสกัดจะมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งรายงานผลเป็นค่า  $IC_{50}$  (ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ให้มีปริมาณลดลง 50%) (ตารางที่ 4.3) พบว่าฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูล DPPH ของสารสกัดข้าวมีฤทธิ์เพิ่มขึ้นเมื่อสารสกัดข้าวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยสารสกัดข้าวดิบของข้าวกล้องดอกขามมีฤทธิ์ในการยับยั้งต่ำสุด ( $IC_{50} = 0.572\%$ ) รองลงมาคือข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องสังข์หยด ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวกล้องนางคำ และข้าวขัดขาวสามเดือน ( $IC_{50} = 1.088, 1.464, 1.701, 1.983$  และ  $2.369\%$  ตามลำดับ)

ส่วนสารสกัดข้าวหุงสุก พบว่าข้าวกล้องดอกขามมีฤทธิ์ในการยับยั้งต่ำที่สุด ( $IC_{50} = 2.097\%$ ) รองลงมาคือข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวกล้องสังข์หยด และข้าวขัดขาวสามเดือน ( $IC_{50} = 4.159, 4.933, 5.338, 6.748$  และ  $8.561\%$  ตามลำดับ) สำหรับข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A และ B ของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกที่ทำการสกัดที่ 10% พบว่าไม่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยมีค่าน้อยกว่าที่ตรวจสอบได้ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Butylated hydroxytoluene (BHT) และ Ascorbic acid มีค่า  $IC_{50} = 0.0025$  และ  $0.0003\%$  ตามลำดับ โดยสารที่มีค่า  $IC_{50}$  น้อยแสดงว่าสารนั้นมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ดี

จากการทดลองเห็นได้ว่าสารสกัดข้าวดิบมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีกว่าข้าวหุงสุกอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อข้าวได้ผ่านความร้อนจะทำให้อนุมูลอิสระ

ลดลงจึงต้องใช้ความเข้มข้นของสารสกัดที่สูงขึ้น (สร้อย ลากนิธิพร และคณะ. 2555) ในทางตรงกันข้ามกอบเกียรติ แสงนิล (2553) รายงานว่าการให้ความร้อนทำให้กิจกรรมการต้านออกซิเดชันมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากการนี้ทำให้เกิดความอ่อนนุ่มของผนังเซลล์และเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด ส่งผลให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆถูกปลดปล่อยออกมาได้มากขึ้น ทำให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้มีค่าที่สูงขึ้น จากผลการทดลองพบว่าข้าวกล้องดอกขาม ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องสังข์หยด มีค่า  $IC_{50}$  ที่ต่ำแสดงว่ามีค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในปริมาณที่สูง เนื่องจากเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวหรือรำข้าวมีสีแดงซึ่งสีของเปลือกหุ้มเมล็ดดังกล่าวอาจมีสารประกอบประเภทโพลีฟีนอล แอนโทไซยานินหรือสารฟลาโวนอยด์อื่นๆที่เป็นองค์ประกอบ

ตำราญ พิมราช (2558) ศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของข้าวกล้องงอกที่ทำจากข้าวพันธุ์พื้นเมือง จำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเจ้าแดง ข้าวเจ้าเหลือง ข้าวเจ้าดอกข้าวเจ้าส้มพันธุ์แดง และข้าวเจ้าโสมมาลี พบว่าข้าวเจ้าส้มพันธุ์แดง ข้าวเจ้าโสมมาลี และข้าวเจ้าแดง มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (251.80, 240.83 และ 217.52 mg/kg ตามลำดับ) ส่วนข้าวเจ้าดอก และข้าวเจ้าเหลือง มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำกว่าข้าวเจ้าพันธุ์อื่นๆ (195.51 และ 192.17 mg/kg ตามลำดับ)

Shokrzadeh and Ebadi (2006) ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเมล็ดข้าว จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ Neda, Khazar, Sadri และ Tarom พบว่าข้าว Tarom มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดเนื่องจากข้าว Tarom มีสีเข้มกล่าวคือข้าวที่มีสีเข้มมีแอนโทไซยานินในปริมาณที่สูงทำให้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ และ Sumczynski *et al.* (2016) ศึกษาการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของข้าวสีดำและข้าวสีแดงในประเทศต่างๆ ได้แก่ จีน อิตาลี ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส โคลัมเบีย ลาว และไทย พบว่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH อยู่ในช่วง 11.8-31.2 m mol TEAC/kg

Shao *et al.* (2018) ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของข้าว จำนวน 14 สายพันธุ์ แบ่งเป็นข้าวกล้อง 5 สายพันธุ์ (9311, Nipponbare, Tianyouhuazhan, II You 838 และ Yanfeng 47) ข้าวสีแดง 5 สายพันธุ์ (Jinggangshanhongmi, Xiangwanxian 12, Qianxiuhong, Changhong No.1 และ Hongmi 2) และข้าวสีดำ 4 สายพันธุ์ (D Youzino 161, Heimi No. 1, Heixiangnuo No. 3, Heinuomi และ Heimi 2420) พบว่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของข้าวทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.05-5.69  $\mu$ M TE/g โดยข้าวพันธุ์ Hongmi 2 ซึ่งเป็นข้าวสีแดงมีค่าสูงที่สุด (5.69  $\mu$ M TE/g)

ตารางที่ 4.3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ร่วมกับพันธุ์มาตรฐานข้าวหอมมะลิ (Mean  $\pm$  SD)

ตัวอย่างพันธุ์ข้าว และสารมาตรฐาน	DPPH radical scavenging activity IC <sub>50</sub> (%)	
	ข้าวดิบ	ข้าวหุงสุก
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A	ND	ND
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B	ND	ND
ข้าวขัดขาวสามเดือน	2.369 $\pm$ 0.13 <sup>F</sup>	8.561 $\pm$ 0.13 <sup>A</sup>
ข้าวกล้องสามเดือน	1.701 $\pm$ 0.10 <sup>H</sup>	5.338 $\pm$ 0.25 <sup>C</sup>
ข้าวกล้องนางคำ	1.983 $\pm$ 0.06 <sup>G</sup>	4.933 $\pm$ 0.45 <sup>D</sup>
ข้าวกล้องดอกข่า	1.088 $\pm$ 0.09 <sup>I</sup>	4.159 $\pm$ 0.19 <sup>E</sup>
ข้าวกล้องสังข์หยด	1.464 $\pm$ 0.13 <sup>J</sup>	6.748 $\pm$ 0.08 <sup>B</sup>
ข้าวกล้องดอกขาม	0.572 $\pm$ 0.04 <sup>K</sup>	2.097 $\pm$ 0.02 <sup>G</sup>
Butylated hydroxytoluene		0.0025 $\pm$ 0.00 <sup>L</sup>
Ascorbic acid		0.0003 $\pm$ 0.00 <sup>L</sup>

A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

IC<sub>50</sub> = ค่าความเข้มข้นของสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งได้ 50%

ND = Not detected (ไม่ตรวจพบที่ทำการสกัด 10%)

#### 4.2.1.2 ค่า 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical cation scavenging activity

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกด้วยวิธี ABTS radical cation scavenging activity ในการทดสอบใช้สารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เพื่อหา % การยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS ของสารสกัดข้าวที่ความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นคำนวณหา % การยับยั้งอนุมูลอิสระที่ความเข้มข้นมากขึ้น สารสกัดจะมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งรายงานผลเป็นค่า IC<sub>50</sub> (ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถดักจับอนุมูลอิสระ ABTS ให้มีปริมาณลดลง 50%) (ตารางที่ 4.4) พบว่าสารสกัดข้าวดิบของข้าวกล้องดอกขามมีฤทธิ์สูงที่สุด (IC<sub>50</sub>=2.389%) รองลงมาคือข้าวกล้องสังข์หยด ข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวขัดขาวสามเดือน และข้าวกล้องนางคำ (IC<sub>50</sub>= 3.354, 4.597, 5.082, 5.760 และ 8.309% ตามลำดับ) ส่วนสารสกัดของข้าวหุงสุกที่ทำการสกัด 10% ทุกสายพันธุ์ พบว่าไม่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และเมื่อเปรียบเทียบกับสาร

มาตรฐาน Butylated hydroxytoluene (BHT) และ Quercetin acid มีค่า  $IC_{50} = 0.0021$  และ  $0.0010\%$  ตามลำดับ

ผลการทดลองนี้มีความคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Iqbal (2005) พบว่าความสามารถในการขจัดอนุมูล ABTS ของสารที่สกัดได้จากข้าวในป่ากีสถานมีค่าสูงกว่าการใช้อนุมูล DPPH นอกจากนี้ยังพบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่วัดโดยวิธี ABTS radical cation scavenging activity ในข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์มีความแตกต่างกัน โดยข้าวกล้องดอกขาม มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS ได้สูงสุด ( $IC_{50}$  ต่ำ) เนื่องจากข้าวกล้องดอกขามมีสีเข้ม นั่นคือมีแอนโทไซยานินปริมาณที่สูงทำให้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวขาวหรือข้าวไม่มีสีพันธุ์อื่นๆ

สัจชัย ยอดมณี (2552) ศึกษาคุณภาพข้าวพื้นเมืองมีสีของภาคใต้ในประเทศไทย จำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กรมแดง เหนียวแดงรหัส กำหยาน สัจชัยคด หอมกระดังงา เหนียวดำรหัส 96025 เหนียวดำรหัส 96044 และชื่อไม่ใ้ 96060 พบว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS ของข้าวมีสีพันธุ์พื้นเมืองทั้ง 8 สายพันธุ์อยู่ในช่วง  $0.22-0.10$  m mol/g และนอกจากนี้ Sumczynski *et al.* (2016) ศึกษาความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ ABTS ของข้าวสีดำ และข้าวสีแดง ในประเทศต่างๆ ได้แก่ จีน อิตาลี ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส โคลัมเบีย ลาว และไทย พบว่าความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ ABTS อยู่ในช่วง  $8.9-23.6$  m mol TEAC/kg

Shao *et al.* (2018) ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของข้าวจำนวน 14 สายพันธุ์ แบ่งเป็นข้าวกล้อง 5 สายพันธุ์ (9311, Nippon bare, Tianyouhuazhan, II You 838 และ Yanfeng 47) ข้าวสีแดง 5 สายพันธุ์ (Jinggangshanhongmi, Xiangwanxian 12, Qianxiuhong, Changhong No.1 และ Hongmi 2) และข้าวสีดำ 4 สายพันธุ์ (D Youziniu 161, Heimi No. 1, Heixiangnuo No. 3, Heinuomi และ Heimi 2420) พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ของข้าวทั้งหมดอยู่ในช่วง  $0.11-8.86$   $\mu$ M TE/g โดยข้าวพันธุ์ Heinuomi และ Heixiangnuo NO. 3 ซึ่งเป็นข้าวสีดำมีค่าสูงที่สุด ( $8.86$  และ  $8.82$   $\mu$ M TE/g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกโดยวิธี ABTS radical cation scavenging activity ของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ร่วมกับพันธุ์มาตรฐานข้าวหอมมะลิ (Mean  $\pm$  SD)

ตัวอย่างพันธุ์ข้าว และสารมาตรฐาน	ABTS radical cation scavenging activity IC <sub>50</sub> (%)	
	ข้าวดิบ	ข้าวหุงสุก
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A	ND	ND
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B	ND	ND
ข้าวขัดขาวสามเดือน	5.760 $\pm$ 0.15 <sup>B</sup>	ND
ข้าวกล้องสามเดือน	5.082 $\pm$ 0.18 <sup>C</sup>	ND
ข้าวกล้องนางคำ	8.309 $\pm$ 0.14 <sup>A</sup>	ND
ข้าวกล้องดอกข่า	4.597 $\pm$ 0.30 <sup>D</sup>	ND
ข้าวกล้องสังข์หยด	3.354 $\pm$ 0.11 <sup>E</sup>	ND
ข้าวกล้องดอกขาม	2.389 $\pm$ 0.12 <sup>F</sup>	ND
Butylated hydroxytoluene		0.0021 $\pm$ 0.00 <sup>G</sup>
Quercetin acid		0.0010 $\pm$ 0.00 <sup>G</sup>

A,B,C,D,E,F,G ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

IC<sub>50</sub> = ค่าความเข้มข้นของสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งได้ 50%

ND = Not detected (ไม่ตรวจพบที่ทำการสกัด 10%)

#### 4.2.1.3 ค่า Reducing power

ความสามารถในการรีดิวซ์สาร โดยวิธี reducing power เป็นการทดสอบความสามารถของส่วนสกัดในการรีดิวซ์ Fe<sup>3+</sup> เป็น Fe<sup>2+</sup> ผลที่ได้จะแสดงถึงความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ดี ในการทดสอบใช้สารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุก แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการรีดิวซ์สารซึ่งรายงานผลเป็นค่า EC<sub>50</sub> (ความเข้มข้นของสารที่มีประสิทธิภาพกระตุ้นการต้านอนุมูลอิสระได้ 50% ของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด) (ตารางที่ 4.5) พบว่าสารสกัดข้าวดิบของข้าวกล้องดอกขามมีความสามารถในการรีดิวซ์มากกว่าพันธุ์อื่นๆ (9.676%) ส่วนสารสกัดของข้าวหุงสุกในทุกสายพันธุ์ไม่มีความสามารถในการรีดิวซ์สาร และเมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Ascorbic acid มีค่า EC<sub>50</sub> = 0.0046% โดยสารที่ต้องการทดสอบจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระแล้วทำให้เปลี่ยนเป็นสารที่คงตัว อีกทั้งยังสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระอีกด้วย โดยอาศัยจากการวัดปฏิกิริยา reduction ของ Fe<sup>3+</sup>(CN)<sub>6</sub> ไปเป็น Fe<sup>2+</sup>(CN)<sub>6</sub> ซึ่งจะให้มีสีน้ำเงินที่เข้มขึ้น (Vijayalakshmi and Ruckmani, 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.5** ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกโดยวิธี Reducing power ของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ร่วมกับพันธุ์มาตรฐานข้าวหอมมะลิ (Mean  $\pm$  SD)

ตัวอย่างพันธุ์ข้าว และสารมาตรฐาน	Reducing power EC <sub>50</sub> (%)	
	ข้าวดิบ	ข้าวหุงสุก
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A	ND	ND
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B	ND	ND
ข้าวขัดขาวสามเดือน	ND	ND
ข้าวกล้องสามเดือน	ND	ND
ข้าวกล้องนางคำ	ND	ND
ข้าวกล้องดอกข่า	ND	ND
ข้าวกล้องสังข์หยด	ND	ND
ข้าวกล้องดอกขาม	9.676 $\pm$ 0.22 <sup>A</sup>	ND
Ascorbic acid	0.0046 $\pm$ 0.01 <sup>B</sup>	

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

EC<sub>50</sub> = ค่าความเข้มข้นของสารที่ออกฤทธิ์กระตุ้นได้ 50%

ND = Not detected (ไม่ตรวจพบที่ทำการสกัด 10%)

#### 4.2.1.4 ค่า Total phenolic content

การทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุก สามารถคำนวณได้จากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก โดยสมการเส้นตรงที่ได้ คือ  $y = 11.462x + 0.1264$  และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9981 (ตารางที่ 4.6) พบว่าสารสกัดข้าวดิบมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 28.077–52.768 mg GAE/100g โดยสารสกัดข้าวดิบของข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 51.265 และ 52.768 mg GAE/100g ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวกล้องสังข์หยด ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวขัดขาวสามเดือน และข้าวกล้องนางคำ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 39.051, 37.975, 28.077 และ 27.438 mg GAE/100g ตามลำดับ จากการศึกษพบว่าข้าวกล้องดอกขามมีปริมาณฟีนอลิกที่สูงเนื่องจากเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวมีสีแดงซึ่งสีของเปลือกหุ้มเมล็ดดังกล่าวมีสารแอนโทไซยานินหรือสารฟลาโวนอยด์อื่นๆเป็นองค์ประกอบทำให้ค่าสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆที่มีเปลือกหุ้มสีขาว

ส่วนสารสกัดของข้าวหุงสุก พบว่าข้าวกล้องสามเดือน มีค่าสูงที่สุด (19.663 mg GAE/100g) รองลงมาคือข้าวกล้องดอกขาม ข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องสังข์

หยด และข้าวขัดขาวสามเดือน ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 17.269, 4.870, 3.872, 2.650 และ 1.090 mg GAE/100g นอกจากนี้สารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกของข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A และ B ที่ศึกษาครั้งนี้ไม่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดซึ่งค่าที่ลดลงของสารสกัดข้าวหุงสุก นั้นเป็นผลมาจากความร้อนในการหุงสุกทำให้สารเสื่อมสลาย โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ อุณหภูมิ และความเป็นกรดต่าง เป็นต้น (สร้อย ลากนิธิ พร และคณะ. 2555)

พงศธร ลือสุวรรณ และคณะ (2551); Luengthanaphol *et al.* (2004) รายงานว่า ตัวอย่างพืชที่ผ่านการใช้ความร้อนส่งผลให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกออกไป และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ DPPH ในสารสกัด กล่าวคือข้าวกล้องดอกขามมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง ทำให้มีความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงด้วย ผลการทดลองที่ได้มีความคล้ายกับการศึกษาของ Iqbal *et al.* (2005) รายงานว่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าว จำนวน 5 สาย พันธุ์ ได้แก่ RB-86, RB-bm, RB-sf, RB-kr และ RB-s2 พบว่า ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ DPPH แปรผันตรงกับปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดข้าวดิบและข้าวหุงสุกของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ร่วมกับพันธุ์มาตรฐานข้าวหอมมะลิ (Mean  $\pm$  SD)

ตัวอย่างพันธุ์ข้าว และสารมาตรฐาน	Total phenolic content (mg GAE/100g)	
	ข้าวดิบ	ข้าวหุงสุก
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A	ND	ND
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B	ND	ND
ข้าวขัดขาวสามเดือน	28.077 $\pm$ 0.01 <sup>C</sup>	1.090 $\pm$ 0.00 <sup>G</sup>
ข้าวกล้องสามเดือน	37.975 $\pm$ 0.01 <sup>B</sup>	19.663 $\pm$ 0.02 <sup>D</sup>
ข้าวกล้องนางคำ	27.438 $\pm$ 0.01 <sup>C</sup>	3.872 $\pm$ 0.01 <sup>F</sup>
ข้าวกล้องดอกข่า	51.265 $\pm$ 0.02 <sup>A</sup>	4.870 $\pm$ 0.01 <sup>F</sup>
ข้าวกล้องสังข์หยด	39.051 $\pm$ 0.01 <sup>B</sup>	2.650 $\pm$ 0.00 <sup>FG</sup>
ข้าวกล้องดอกขาม	52.768 $\pm$ 0.01 <sup>A</sup>	17.269 $\pm$ 0.01 <sup>E</sup>

A,B,C,D,E,F,G ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

EC<sub>50</sub> = ค่าความเข้มข้นของสารที่ออกฤทธิ์กระตุ้นได้ 50%

GAE = Gallic acid equivalent

ND = Not detected (ไม่ตรวจพบที่ทำการสกัด 10%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบในข้าวมีความสอดคล้องกันกับปริมาณการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้ใน 3 วิธี คือ DPPH radical scavenging activity, ABTS radical cation scavenging activity และ reducing power โดยข้าวที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้จากทั้ง 3 วิธีการทดสอบสูงด้วยเช่นกัน โดยสารประกอบฟีนอลเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำหน้าที่เป็น free radical terminators (Abdel-Hameed, 2009) ที่โครงสร้างหลักประกอบด้วย aromatic ring ที่ถูกแทนที่ด้วย hydroxyl group ที่สามารถใช้จับกับอนุมูลอิสระผ่านกระบวนการยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ (chain breaker) ซึ่งเป็นหลักการของ DPPH และ ABTS หรือการรีดิวซ์หรือให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระของไอออนของโลหะ ซึ่งเป็นหลักการของ reducing power ดังนั้นเมื่อสารสกัดจากข้าวที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมาก ทำให้มีฤทธิ์การต้านหรือสลายอนุมูลอิสระดังกล่าวสูงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้แสดงให้เห็นว่าข้าวกล้องในทุกสายพันธุ์ มีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวขัดขาวและข้าวขาว เนื่องจากข้าวขัดขาวและข้าวขาวมีการกะเทาะตอนขัดสีทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดข้าวและจมูกข้าวหลุดออกไปหมดได้เป็นเมล็ดข้าวสีขาว ทำให้มีค่าการต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าข้าวกล้อง

จากการทดสอบคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวทั้ง 4 วิธี พบว่าชนิดของข้าวอาจแสดงศักยภาพในการต้านออกซิเดชันได้แตกต่างกันหรือคล้ายคลึงกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของข้าวแต่ละชนิด เช่นข้าวกล้องดอกขามมีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด เนื่องจากเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวมีสีแดง เปลือกหุ้มเมล็ดดังกล่าวอาจมีสารแอนโทไซยานินหรือสารฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS มีค่า  $IC_{50}$  ก่อนข้างต่ำ แสดงว่ามีสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงเช่นเดียวกับวิธี reducing power ส่วนข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องนางคำ และข้าวกล้องสามเดือน มีค่าการต้านอนุมูลอิสระรองลงมาตามลำดับ และให้ผลไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 4 วิธี แสดงให้เห็นว่าข้าวไร่พื้นเมืองพันธุ์ดังกล่าวอาจเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่ช่วยในการเสริมสร้างสุขภาพและช่วยลดภาวะเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระ นอกจากนี้มีความเป็นไปได้สูงที่จะนำข้าวพื้นเมืองภาคใต้มาประยุกต์ใช้ในด้านอาหาร โดยทำเป็นไส้กรอกอีสานซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าให้แก่อาหารหมักเนื้อของไทยอีกด้วย

#### 4.2.2 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้จำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวขั้วขาวสามเดือน ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องสังข์หยด และข้าวกล้องดอกขาม เปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิ ซึ่งข้าวดังกล่าวถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (proximate composition) ที่บริษัท Betagro Science center ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ความชื้น ไขมัน เถ้า และพลังงาน ซึ่งข้าวทั้ง 7 สายพันธุ์ มีปริมาณคุณค่าทางโภชนาการที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.7) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่าข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์ มีค่าคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง 70.63-77.99% โดยข้าวกล้องดอกข่ามีค่าสูงที่สุด (77.99%) รองลงมาคือข้าวกล้องนางดำ และข้าวกล้องดอกขาม มีค่าเท่ากับ 75.52 และ 74.98% ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวหอมมะลิมีค่าสูงกว่าข้าวทุกพันธุ์มีค่าเท่ากับ 79.49% ซึ่งผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของสัญญาชัย ยอดมณี (2552) กล่าวว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตของข้าวพื้นเมืองมีสีที่พบในภาคใต้ จำนวน 8 สายพันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 78.95-83.55% และ Abubakar *et al.* (2018) กล่าวว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตของข้าวกล้องในประเทศไทยมีค่าอยู่ในช่วง 67.48-69.71%

ปริมาณโปรตีนของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์ มีค่าใกล้เคียงกันมีค่าอยู่ที่ 7.45-10.25 g/100g โดยข้าวขั้วขาวสามเดือน มีค่าสูงที่สุด (10.25 g/100g) รองลงมาคือข้าวกล้องสามเดือน และข้าวกล้องดอกขาม มีค่าเท่ากับ 9.64 และ 8.14 g/100g ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิ พบว่ามีค่าต่ำกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ มีค่าเท่ากับ 7.29 g/100g สอดคล้องกับการศึกษาของ Abubakar *et al.* (2018) รายงานว่าข้าวกล้องในประเทศไทยมีปริมาณโปรตีน 5.85-8.90 g/100g และสุพิศา สมโต (2547) ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี และความคงตัวของข้าวไทย พบว่าโปรตีนในข้าวส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนของรำ ซึ่งเป็นส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด และบางส่วนพบในเนื้อเมล็ด ส่งผลให้ข้าวกล้องเป็นข้าวที่ไม่ได้ผ่านการขัดสีเอารำออกและมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าข้าวขั้วขาว ดังนั้นการบริโภคข้าวกล้องจึงทำให้ผู้บริโภคได้รับปริมาณโปรตีนมากกว่าข้าวขั้วขาว และอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องมีค่าต่างกันคือข้าวแต่ละชนิดมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่เพาะปลูกด้วย ในขณะที่ก้านรงค์ ศรีรอด (2544) กล่าวว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงส่วนใหญ่จะมีกรดอะมิโนไลซีน

ปริมาณความชื้นของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์ อยู่ค่าในช่วง 12.49-14.44 g/100g โดยข้าวกล้องสามเดือนมีค่าสูงสุด (14.44 g/100g) และข้าวกล้องสังข์หยดมีค่าต่ำสุด (12.49 g/100g) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงข้าวหอมมะลิมีค่าเท่ากับ 12.69 g/100g สอดคล้องกับการศึกษาของ Abubakar *et al.* (2018) รายงานว่าข้าวกล้องในประเทศไทยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 12.33-12.44 g/100g

ปริมาณไขมันของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์ อยู่ที่ 1.25-2.75 g/100g โดยข้าวที่มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือข้าวชัคขาวสามเดือน (2.75 g/100g) รองลงมาคือข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องนางคำ มีค่าเท่ากับ 2.24 และ 2.14 g/100g ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าข้าวหอมมะลิ มีค่าต่ำกว่าข้าวพันธุ์อื่น (0.34 g/100g) ผลการทดลองใกล้เคียงกับการศึกษาของ Heinemann *et al.* (2005) กล่าวว่าข้าวกล้องมีปริมาณไขมันเท่ากับ 2.65 g/100g และศัญชัย ยอดมณี (2552) รายงานว่าปริมาณไขมันของข้าวไร่พื้นเมืองมีค่าที่พบในภาคใต้มีค่าอยู่ในช่วง 1.44-2.17 g/100g และสมทรง โชติชื่น (2559) รายงานว่าข้าวที่มีปริมาณไขมันสูงโดยส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงมีสมบัติช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลที่ไม่ดี

ปริมาณเถ้าของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์ มีค่าอยู่ที่ 0.77-1.55 g/100g โดยข้าวกล้องดอกขามมีปริมาณสูงสุด (1.55 g/100g) รองลงมาคือข้าวกล้องนางคำ ข้าวชัคขาวสามเดือน มีค่าเท่ากับ 1.14 และ 1.05 g/100g ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิที่ผ่านการขัดสี ทำให้มีปริมาณเถ้าต่ำกว่าข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์ มีค่าเท่ากับ 0.21 g/100g สอดคล้องกับการศึกษาของศศิธร ศิริอมพรพรณ (2547) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องพื้นเมืองในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่ามีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 1.34-1.63 g/100g โดยปริมาณเถ้าเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณเกลือแร่ที่มีในข้าวและปริมาณเถ้าจะพบมากในเยื่อหุ้มเมล็ดสูงถึง 61% ของเถ้าทั้งหมดในข้าว อีกทั้งปริมาณเถ้าของข้าวกล้องในประเทศไทยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.67-1.83 g/100g ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน (Abubakar *et al.* 2018)

ค่าพลังงานของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์ อยู่ในช่วง 327.29-353.01 Kcal/100g นอกจากนี้ข้าวหอมมะลิที่ทำการศึกษาร่วมกับองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น พบว่ามีค่าต่ำกว่าข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์ แต่มีค่าคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งค่าพลังงานให้ผลไปในทิศทางเดียวกับผาณิต รุจิรพิสิฐ และคณะ (2555) ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวในจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 9 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวสังข์หยด ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวเหนียวดำ ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวเจ้าแตก ข้าวสินเหล็ก ข้าวหอมอุบล ข้าวหอมกัญญา และข้าวหอมนิล โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร กากใย และพลังงาน ซึ่งข้าวทั้ง 9 สายพันธุ์ มีปริมาณความชื้น และคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกัน โดยพบว่าข้าวหอมอุบล มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด และข้าวหอมกัญญามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำสุด ซึ่งข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดคือข้าวเหนียวดำ ส่วนข้าวสินเหล็กมีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด ข้าวที่มีปริมาณไขมันมากที่สุดคือข้าวหอมกัญญา ขณะที่ข้าวเหนียวดำมีปริมาณไขมันต่ำที่สุด โดยกรดไขมันที่พบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ปริมาณเถ้าในข้าว พบว่าข้าวสินเหล็กมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด และข้าวเหนียวดำต่ำที่สุด ปริมาณกากใยอาหาร พบว่าข้าวหอมมะลิแดงมีปริมาณกากใยสูงที่สุด และข้าวสังข์หยดพัทลุงมีกากใยต่ำที่สุด ปริมาณใยอาหาร พบว่าข้าวหอมนิล มีปริมาณใยอาหารสูงสุด และข้าวสินเหล็ก มีใยอาหารต่ำสุด ส่วนค่าพลังงานของข้าวทั้ง 9 สายพันธุ์อยู่ในช่วง

350.47-361.83 Kcal/100g โดยข้าวหอมมะลิให้พลังงานสูงที่สุด และข้าวสังข์หยดให้พลังงานต่ำที่สุด

**ตารางที่ 4.7** คุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ และข้าวหอมมะลิ

พันธุ์ข้าว	คาร์โบไฮเดรต (%)	โปรตีน (g/100g)	ความชื้น (g/100g)	ไขมัน (g/100g)	เถ้า (g/100g)	พลังงาน (Kcal/100g)
ข้าวหอมมะลิ	79.49	7.29	12.69	0.34	0.21	350.10
ข้าวขัดขาวสามเดือน	71.72	10.25	14.23	2.75	1.05	352.63
ข้าวกล้องสามเดือน	73.04	9.64	14.44	2.11	0.77	349.71
ข้าวกล้องนางคำ	75.52	7.72	13.21	2.14	1.14	352.22
ข้าวกล้องดอกข่า	77.99	8.02	13.19	1.41	1.00	327.29
ข้าวกล้องสังข์หยด	70.63	7.45	12.49	1.25	0.82	353.01
ข้าวกล้องดอกขาม	74.98	8.14	13.09	2.24	1.55	352.64

จากการทดลองเมื่อพิจารณาผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.2) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการต่างๆ (ตารางที่ 4.3-4.6) และคุณค่าทางโภชนาการของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 6 สายพันธุ์ (ตารางที่ 4.7) พบว่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีคะแนนความชอบน้อยกว่ากลุ่มอื่นเล็กน้อย แต่ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging activity, ABTS radical cation scavenging activity, reducing power และ total phenolic content สูง รวมทั้งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวไร่พื้นเมืองพันธุ์อื่นๆ แสดงว่าข้าวกล้องดอกขามเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่ดีที่ช่วยในการเสริมสร้างสุขภาพและช่วยลดภาวะเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระ จึงได้คัดเลือกข้าวพันธุ์ดังกล่าวไปทำการศึกษาต่อร่วมกับข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องนางคำ ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่ผู้บริโภคชื่นชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส นอกจากนี้ยังมีค่าการต้านอนุมูลอิสระรองลงมาจากข้าวกล้องดอกขาม และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ใกล้เคียงกันจึงได้คัดเลือกข้าวพันธุ์ดังกล่าว จำนวน 3 สายพันธุ์ มาใช้ในการศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในไส้กรอกอีสานต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการหมัก และการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้บางสายพันธุ์ในการผลิตไส้กรอกอีสานต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในระหว่างกระบวนการหมัก และการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

ได้ทำการคัดเลือกข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ มาผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า จากผลการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการต่างๆ (ตารางที่ 4.3-4.6) ร่วมกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตของข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ (ตารางที่ 4.7) และการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.2) เปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป (ที่ทดลองจากการทดลองที่ 1) และไส้กรอกอีสานทางการค้า โดยแบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 5 กลุ่มทดลอง ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 4 วัน (วันที่ 0, 1, 2, 3 และ 4) โดยทำการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์

#### 4.3.1 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีในระหว่างกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์

##### 4.3.1.1 ค่าความเป็นกรดค้างและปริมาณกรดทั้งหมด

การศึกษาค่าความเป็นกรดค้างในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 4.8) พบว่าการใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า ในการผลิตไส้กรอกอีสานไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดค้างในวันแรกมีค่าเท่ากับ 6.29, 6.27, 6.20 และ 6.20 ตามลำดับ ( $P>0.05$ ) โดย Holmer *et al.* (2008) รายงานว่าค่าความเป็นกรดค้างของเนื้อสุกรมีค่าเท่ากับ 5.42-6.26 ใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรดค้างของไส้กรอกอีสานวันแรก ซึ่งยังไม่เกิดกระบวนการหมัก แต่หลังจากนั้นค่าความเป็นกรดค้างจะลดลงมากขึ้น ข้าวที่เป็นส่วนผสมของไส้กรอกอีสานนั้นจะเป็นสารอาหารหลักที่เหมาะสมแก่การเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอาหารอย่างรวดเร็วในเนื้อสัตว์หรือผลิตภัณฑ์ เมื่อกระบวนการหมักครบ 4 วัน ค่าความเป็นกรดค้างของไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางดำมีค่าต่ำสุด (4.32) ซึ่งไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องดอกขาม มีค่าเท่ากับ 4.34 และ 4.44 ตามลำดับ ( $P>0.05$ ) ในขณะที่กลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ

ที่มีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 4.47 ( $P < 0.05$ ) โดยค่าความเป็นกรดต่างที่ลดลงจะเพิ่มความปลอดภัยในการบริโภคมากขึ้น โดยไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ (ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องดอกข่า) และข้าวหอมมะลิ มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 4.6 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Salmonella* spp. และ *S. aureus* นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 4.5 มีผลทำให้เชื้อ Coliform และ *E. coli* ไม่สามารถทนสภาวะความเป็นกรดและตายไปในที่สุด

การศึกษาปริมาณกรดทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 4.8) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสาน การใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องดอกข่า มีปริมาณกรดทั้งหมดไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 0.41, 0.43, 0.46 และ 0.43% ตามลำดับ ( $P > 0.05$ ) แต่เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นด้วย โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมักไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางดำ มีค่าปริมาณกรดทั้งหมดสูงสุด มีค่าเท่ากับ 1.24% ซึ่งไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 1.16 และ 1.22% ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าปริมาณกรดทั้งหมดต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 1.13% ( $P < 0.05$ )

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างและปริมาณกรดทั้งหมดในระหว่างการหมักไส้กรอกอีสานพบว่าค่าความเป็นกรดต่างจะลดลงเรื่อยๆ และปริมาณกรดทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นในทุกๆกลุ่มทดสอบเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเอนไซม์ของเนื้อสัตว์เองในขณะการบ่มหรือเกิดจากแบคทีเรียกรดแลกติก (lactic acid bacteria) เชื้อแบคทีเรียกรดแลกติกพวก homofermentative และ heterofermentative จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในไส้กรอกอีสาน มีผลทำให้เกิดรสเปรี้ยวอันเนื่องมาจากกรดแลกติก และทำให้ค่าความเป็นกรดต่างลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Jindaprasert *et al.* (2014) กล่าวว่าค่าความเป็นกรดต่างในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานลดลงจาก 4.81 เป็น 4.22 และปริมาณกรดทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 0.16 เป็น 0.79% ภายหลังจากการหมัก 48 ชั่วโมง นอกจากนี้ Paukatong and Kunawasen (2001) รายงานว่าหลังจากการหมักไส้กรอกค่าความเป็นกรดต่างต้องต่ำกว่า 4.6 ผลิตภัณฑ์จะมีความปลอดภัย นอกจากนี้ Visessanguan *et al.* (2006) กล่าวว่าในผลิตภัณฑ์แฮมที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้สุกต้องมีค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 4.6 ถึงจะมีความปลอดภัย และ Chokesajjawatee *et al.* (2009); Holck *et al.* (2017) กล่าวว่า การลดลงของค่าความเป็นกรดต่างทำให้เปอร์เซ็นต์กรดเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการสร้างกรดจากแบคทีเรียแลกติกที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบทำให้มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำลงประมาณ 4.4-4.5 มีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิด เช่น *Salmonella* spp. *E. coli* และ *S. aureus* ไม่สามารถทนสภาวะความเป็นกรดและตายไปในที่สุด Phalakornkule and

Tanasupawat (2007) รายงานว่าไส้กรอกหมักที่มีค่าความเป็นกรดต่ำ ( $\text{pH} < 4.6$ ) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum* และ *S. aureus* ได้

#### 4.3.1.2 ค่าสี (CIE $L^*$ , $a^*$ และ $b^*$ )

การศึกษาค่าสี (CIE  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 4.9) พบว่าค่าความสว่าง (Lightness,  $L^*$ ) ในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสาน การใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า มีค่า  $L^*$  ไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 50.59, 50.51, 50.47 และ 50.61 ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นทำให้ค่า  $L^*$  เพิ่มขึ้นด้วย โดยวันที่ 4 ของการหมักไส้กรอกอีสานที่ใช้กล้องดอกขามมีค่าต่ำสุด (53.68) แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางดำ มีค่าเท่ากับ 54.84 ในขณะที่ไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่า  $L^*$  สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 58.16 ( $P < 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่า  $L^*$  ต่ำสุดหมายถึงสีของไส้กรอกอีสานซีดน้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจากเมล็ดของข้าวมีสีแดงอมน้ำตาลสอดคล้องกับการศึกษาของ Yim *et al.* (2015) รายงานว่าไส้กรอกหมักที่มีการเสริมลูโคโนแลคตาเล็กโทน (lucono- delta-lactone) มีค่าความสว่างสูงขึ้นจาก 50.51 เป็น 52.32 ในวันที่ 3 ของกระบวนการหมัก และ Cavalheiro *et al.* (2013) กล่าวว่าค่าความสว่างที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์เนื้อหมักเป็นผลมาจากโปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพ เนื่องจากมีการผลิตกรดออกมาในระหว่างกระบวนการหมัก

ส่วนค่าสีแดง (Redness,  $a^*$ ) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสาน การใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่าไม่มีผลต่อค่า  $a^*$  ( $P > 0.05$ ) มีค่าเท่ากับ 2.75, 3.31, 2.70 และ 3.22 ตามลำดับ จากนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่า  $a^*$  ลดลง และในวันที่ 4 ของกระบวนการหมักไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่า  $a^*$  สูงกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ โดยไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่า  $a^*$  สูงสุด (6.45) และไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 5.22 ( $P < 0.05$ ) ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Rai *et al.* (2010) รายงานว่าไส้กรอกหมักแห้งในกลุ่มควบคุมที่ไม่เติมเกลือ มีค่า  $a^*$  วันแรกของการหมักเพิ่มขึ้น จากนั้นมีค่าลดลงในวันที่ 3 ของกระบวนการหมัก

และค่าสีเหลือง (Yellowness,  $b^*$ ) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสาน การใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่าไม่มีผลต่อค่า  $b^*$  ( $P < 0.05$ ) มีค่าเท่ากับ 14.56, 14.04, 12.50 และ 13.07 ตามลำดับ จากนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่ม

ทำให้มีค่า  $b^*$  ลดลง โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมักทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 8.18-9.67 โดยไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าต่ำสุด (8.18) และไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่า  $b^*$  สูงสุด (9.67) ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของคมเขพิลาสมบัติ และอังคณา ทุมดี (2558) รายงานว่าค่าสีเหลืองลดลงตลอดระยะเวลาการหมักในไส้กรอกอีสานในกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเติมกรดแลกติกและสารแบคทีเรียโอซิน โดยมีกระบวนการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีค่าสีเหลืองลดลงจาก 11.91 เป็น 6.54 และ Mejit *et al.* (2017) รายงานว่าค่าสีเหลืองลดลงตามระยะเวลาการหมักในไส้กรอกเนื้ออุ้งหมูหมักแห้ง

#### 4.3.1.3 ค่าความสดสี (Chroma)

การศึกษาค่าความสดสีในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 4.10) โดยค่าความสดสีของสี หมายถึง ค่าความสดสีของสีเข้าใกล้ 0 หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีสีซีดจาง (เทา) และค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีสีเข้ม พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสาน การใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่าไม่มีผลต่อค่าความสดสี ( $P>0.05$ ) มีค่าเท่ากับ 14.84, 14.44, 12.81 และ 13.40 ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้นส่งผลให้ค่าความสดสีลดลง โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมัก กลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าสูงสุด (11.09) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำ และข้าวกล้องดอกขาม มีค่าเท่ากับ 10.83 และ 10.69 ( $P>0.05$ ) ในขณะที่กลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่ามีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ (10.29) ( $P<0.05$ ) จากผลการทดลองสอดคล้องกับค่าสีแดงในตารางที่ 4.9 ที่พบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้นส่งผลให้ค่าความ  $a^*$  ลดลงเช่นเดียวกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Nediani *et al.* (2017) กล่าวว่าค่าความสดสีของไส้กรอกเนื้อแพะลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้นจาก 25.73 เป็น 21.88 ในวันที่ 3 ของกระบวนการหมัก และ Bowser *et al.* (2014) กล่าวว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ไส้กรอกเนื้อแกะมีค่าความสดสีลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา

#### 4.3.1.4 ค่าองศาของสี (Hue angle)

การศึกษาค่าองศาของสีในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 4.10) ซึ่งค่าองศาของสีเป็นค่าที่แสดงถึงสีแท้จริงที่ปรากฏให้เห็นชัด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศาเซลเซียส โดยแต่ละช่วงแสดงสีแตกต่างกัน (แสดงในภาคผนวก ง) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสาน การใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) มีค่า

เท่ากับ 78.99, 76.44, 77.95 และ 76.02 ตามลำดับ แสดงถึงโทนีสัมแดงถึงสีเหลือง (มีแนวโน้มเข้าใกล้สีเหลือง) และเมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้นส่งผลให้ค่าองศาของสีลดลง ซึ่งในวันที่ 4 ของกระบวนการหมักในกลุ่มที่ใช้ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) โดยไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางคำมีค่าสูงสุด (56.09) รองลงมาคือกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า และดอกขามมีค่าต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 53.71 และ 51.22 ตามลำดับ แสดงถึงโทนีสัมแดงถึงสีเหลือง (มีแนวโน้มเข้าใกล้สีส้มแดง) และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าสูงกว่า มีค่าเท่ากับ 60.70 ซึ่งไส้กรอกอีสานดังกล่าวมีแนวโน้มของค่าองศาของสีเข้าใกล้ 90 มีแนวโน้มเข้าใกล้สีเหลือง บ่งบอกได้ว่ามีสีซีดมากกว่า ผลการทดลองคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Nediani *et al.* (2017) รายงานว่าค่าองศาของสีลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นในไส้กรอกเนื้อแพะหมักจาก 75.21 เป็น 68.45 เมื่อสิ้นสุดการหมัก แสดงถึงโทนีสัมแดงส้มถึงสีเหลืองเช่นเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าความเป็นกรดต่าง และปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์

(Mean ± SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
ค่าความเป็นกรดต่าง	0	5.16 ± 0.58	6.29 ± 0.03 <sup>a,A</sup>	6.27 ± 0.03 <sup>a,A</sup>	6.20 ± 0.11 <sup>a,A</sup>	6.20 ± 0.06 <sup>a,A</sup>
	1	4.70 ± 0.26	5.90 ± 0.04 <sup>b,A</sup>	5.90 ± 0.08 <sup>b,A</sup>	5.80 ± 0.10 <sup>b,A</sup>	5.87 ± 0.03 <sup>b,A</sup>
	2	4.68 ± 0.29	5.21 ± 0.08 <sup>c,A</sup>	5.38 ± 0.31 <sup>c,A</sup>	5.33 ± 0.29 <sup>c,A</sup>	5.27 ± 0.28 <sup>c,A</sup>
	3	4.65 ± 0.29	4.79 ± 0.10 <sup>d,A</sup>	4.71 ± 0.02 <sup>d,A</sup>	4.74 ± 0.07 <sup>d,A</sup>	4.73 ± 0.10 <sup>d,A</sup>
	4	4.68 ± 0.26	4.47 ± 0.13 <sup>c,A</sup>	4.32 ± 0.09 <sup>c,B</sup>	4.44 ± 0.18 <sup>c,AB</sup>	4.34 ± 0.09 <sup>c,B</sup>
ค่าปริมาณกรดทั้งหมด	0	0.77 ± 0.35	0.41 ± 0.03 <sup>c,A</sup>	0.43 ± 0.03 <sup>c,A</sup>	0.46 ± 0.04 <sup>c,A</sup>	0.43 ± 0.10 <sup>c,A</sup>
	1	0.86 ± 0.31	0.55 ± 0.06 <sup>c,A</sup>	0.52 ± 0.04 <sup>c,A</sup>	0.57 ± 0.03 <sup>c,A</sup>	0.56 ± 0.10 <sup>c,A</sup>
	2	0.93 ± 0.30	0.93 ± 0.00 <sup>b,A</sup>	0.81 ± 0.03 <sup>b,B</sup>	0.85 ± 0.05 <sup>b,AB</sup>	0.89 ± 0.01 <sup>b,AB</sup>
	3	1.01 ± 0.23	1.08 ± 0.07 <sup>ab,A</sup>	1.13 ± 0.03 <sup>a,A</sup>	1.07 ± 0.09 <sup>a,A</sup>	1.09 ± 0.11 <sup>ab,A</sup>
	4	0.93 ± 0.30	1.13 ± 0.08 <sup>a,B</sup>	1.24 ± 0.07 <sup>a,A</sup>	1.16 ± 0.09 <sup>a,AB</sup>	1.22 ± 0.07 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b,c,d,e</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

ตารางที่ 4.9 ค่าสี (CIE L\*, a\* และ b\*) ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
ค่าความสว่าง (Lightness; L*)	0	63.45 ± 1.08	50.59 ± 0.10 <sup>d,A</sup>	50.51 ± 0.17 <sup>b,A</sup>	50.47 ± 0.18 <sup>c,A</sup>	50.61 ± 0.17 <sup>c,A</sup>
	1	64.41 ± 0.04	52.05 ± 1.40 <sup>c,A</sup>	51.16 ± 0.46 <sup>b,A</sup>	50.69 ± 0.30 <sup>c,A</sup>	50.75 ± 0.67 <sup>c,A</sup>
	2	64.47 ± 1.62	53.01 ± 0.10 <sup>bc,C</sup>	53.88 ± 0.43 <sup>a,B</sup>	51.70 ± 0.33 <sup>b,D</sup>	55.52 ± 0.02 <sup>ab,A</sup>
	3	64.75 ± 0.26	53.85 ± 1.39 <sup>b,A</sup>	54.47 ± 0.52 <sup>a,A</sup>	52.00 ± 0.76 <sup>b,A</sup>	54.50 ± 2.84 <sup>b,A</sup>
	4	63.23 ± 1.26	58.16 ± 0.16 <sup>a,A</sup>	54.84 ± 2.87 <sup>a,BC</sup>	53.68 ± 0.34 <sup>a,C</sup>	57.35 ± 0.14 <sup>a,AB</sup>
ค่าสีแดง (Redness; a*)	0	4.07 ± 0.55	2.75 ± 0.28 <sup>c,A</sup>	3.31 ± 0.07 <sup>b,A</sup>	2.70 ± 0.79 <sup>c,A</sup>	3.22 ± 0.37 <sup>b,A</sup>
	1	4.12 ± 0.24	4.83 ± 0.42 <sup>b,C</sup>	6.12 ± 0.10 <sup>a,AB</sup>	5.13 ± 0.61 <sup>b,B</sup>	6.21 ± 0.57 <sup>a,A</sup>
	2	4.86 ± 0.79	5.63 ± 0.17 <sup>a,C</sup>	6.27 ± 0.27 <sup>a,AB</sup>	6.12 ± 0.34 <sup>a,B</sup>	6.71 ± 0.04 <sup>a,A</sup>
	3	4.35 ± 0.34	5.36 ± 0.07 <sup>a,B</sup>	6.00 ± 0.24 <sup>a,AB</sup>	5.73 ± 0.09 <sup>ab,AB</sup>	6.14 ± 0.63 <sup>a,A</sup>
	4	3.88 ± 0.20	5.22 ± 0.08 <sup>ab,B</sup>	5.97 ± 0.62 <sup>a,A</sup>	6.45 ± 0.06 <sup>a,A</sup>	6.09 ± 0.06 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C,D</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) ค่าสี (CIE L\*, a\* และ b\*) ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
ค่าสีเหลือง (Yellowness; b*)	0	16.44 ± 1.36	14.56 ± 0.69 <sup>a,A</sup>	14.04 ± 2.68 <sup>a,A</sup>	12.50 ± 0.91 <sup>a,A</sup>	13.07 ± 2.00 <sup>a,A</sup>
	1	14.29 ± 1.25	10.01 ± 0.77 <sup>b,A</sup>	10.74 ± 0.18 <sup>b,A</sup>	8.67 ± 0.18 <sup>b,B</sup>	10.63 ± 0.40 <sup>b,A</sup>
	2	13.19 ± 0.98	9.21 ± 0.09 <sup>b,A</sup>	9.59 ± 0.49 <sup>b,A</sup>	7.98 ± 0.42 <sup>b,B</sup>	7.72 ± 0.01 <sup>c,B</sup>
	3	14.14 ± 1.17	10.12 ± 1.30 <sup>b,A</sup>	8.66 ± 0.17 <sup>b,AB</sup>	7.64 ± 0.18 <sup>b,B</sup>	8.42 ± 0.93 <sup>c,AB</sup>
	4	14.56 ± 2.70	9.67 ± 0.14 <sup>b,A</sup>	8.98 ± 1.14 <sup>b,A</sup>	8.18 ± 0.61 <sup>b,A</sup>	8.36 ± 0.19 <sup>c,A</sup>

<sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

ตารางที่ 4.10 ค่าความสดสี และค่าองศาของสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
ค่าความสดสี (Chroma)	0	16.97 ± 1.18	14.84 ± 0.73 <sup>a,A</sup>	14.44 ± 2.60 <sup>a,A</sup>	12.81 ± 1.06 <sup>a,A</sup>	13.40 ± 1.95 <sup>a,A</sup>
	1	15.30 ± 1.07	11.15 ± 0.80 <sup>b,B</sup>	12.37 ± 0.11 <sup>ab,A</sup>	10.09 ± 0.47 <sup>bc,B</sup>	12.33 ± 0.60 <sup>a,A</sup>
	2	14.00 ± 1.00	10.80 ± 0.17 <sup>b,AB</sup>	11.47 ± 0.51 <sup>b,A</sup>	10.09 ± 0.50 <sup>bc,B</sup>	10.25 ± 0.00 <sup>b,B</sup>
	3	14.80 ± 1.22	12.27 ± 1.47 <sup>b,A</sup>	10.55 ± 0.26 <sup>b,AB</sup>	9.56 ± 0.15 <sup>c,B</sup>	10.45 ± 0.51 <sup>b,B</sup>
	4	15.34 ± 2.02	11.09 ± 0.04 <sup>b,A</sup>	10.83 ± 0.65 <sup>b,AB</sup>	10.69 ± 0.00 <sup>b,AB</sup>	10.29 ± 0.15 <sup>b,B</sup>
ค่าองศาของสี (Hue angle)	0	75.89 ± 2.93	78.99 ± 0.50 <sup>a,A</sup>	76.44 ± 2.62 <sup>a,A</sup>	77.95 ± 2.55 <sup>a,A</sup>	76.02 ± 0.49 <sup>a,A</sup>
	1	74.29 ± 1.34	64.60 ± 1.98 <sup>b,A</sup>	60.37 ± 0.77 <sup>b,AB</sup>	59.48 ± 2.43 <sup>b,B</sup>	59.78 ± 1.67 <sup>b,B</sup>
	2	69.67 ± 2.50	58.62 ± 0.56 <sup>c,A</sup>	56.72 ± 1.16 <sup>b,B</sup>	52.72 ± 0.37 <sup>c,C</sup>	48.88 ± 0.08 <sup>c,D</sup>
	3	72.89 ± 0.15	55.51 ± 0.75 <sup>d,A</sup>	55.76 ± 0.67 <sup>b,A</sup>	53.08 ± 0.76 <sup>c,A</sup>	53.72 ± 5.47 <sup>c,A</sup>
	4	75.22 ± 2.11	60.70 ± 1.27 <sup>c,A</sup>	56.09 ± 5.95 <sup>b,AB</sup>	51.22 ± 3.09 <sup>c,B</sup>	53.71 ± 0.31 <sup>c,AB</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C,D</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

#### 4.3.1.5 ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (% Weight loss)

การศึกษาค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 4.11) พบว่าการใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า มีค่าการสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 1 ของกระบวนการหมักใกล้เคียงกันมีค่าเท่ากับ 1.59, 1.60, 1.62 และ 1.51% ตามลำดับ ( $P>0.05$ ) เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการหมักต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักที่ออกมา พบว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นทุกกลุ่มทดลองโดยให้ผลไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ซึ่งไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการหมักสูงสุด (4.06%) และกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 3.64% แสดงให้เห็นว่าเมื่อไส้กรอกอีสานมีสถานะที่เป็นกรดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักออกมาในระหว่างการหมักของไส้กรอกอีสานเพิ่มขึ้นด้วยสอดคล้องกับค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น และความเป็นกรดต่างที่ลดลงของไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางคำ (ตารางที่ 4.8) ซึ่งผลการทดลองให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Visessanguan *et al.* (2006) กล่าวว่าเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำมากขึ้นเนื่องจากการสลายโปรตีน และการสูญเสียสภาพของแอมโมเนียในระหว่างการหมัก

ตารางที่ 4.11 ค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน				
	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องนางคำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
1	1.04 ± 0.37	1.59 ± 0.14 <sup>c,A</sup>	1.60 ± 0.07 <sup>d,A</sup>	1.62 ± 0.09 <sup>c,A</sup>	1.51 ± 0.25 <sup>c,A</sup>
2	1.24 ± 0.48	1.76 ± 0.06 <sup>c,A</sup>	1.86 ± 0.07 <sup>c,A</sup>	1.94 ± 0.06 <sup>c,A</sup>	1.83 ± 0.28 <sup>c,A</sup>
3	2.08 ± 0.62	2.46 ± 0.10 <sup>b,B</sup>	3.03 ± 0.12 <sup>b,A</sup>	2.46 ± 0.20 <sup>b,B</sup>	2.54 ± 0.14 <sup>b,B</sup>
4	2.45 ± 0.92	3.66 ± 0.08 <sup>a,A</sup>	4.06 ± 0.13 <sup>a,A</sup>	3.64 ± 0.20 <sup>a,A</sup>	4.01 ± 0.18 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

#### 4.3.1.6 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis)

การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 4.12) พบว่าค่าความแข็ง (Hardness, N) ในวันที่ 1 ของกระบวนการหมักไส้กรอกอีสานที่ใช้ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิดกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 2.01, 2.80, 2.32 และ 2.60 ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งสูงขึ้น โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมักทุกกลุ่มทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 8.80- 9.54 โดยไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำมีค่าสูงสุด (9.54) สอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำ (ตารางที่ 4.11) ทำให้มีค่าความแข็งสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Mejrj *et al.* (2017) กล่าวว่าผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์หมักแห้ง (dry fermented sausage) มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก และ Bagdatli and Kundakci (2016) รายงานว่าค่าความแข็งของไส้กรอกโปรไบโอติกของตุรกีมีค่าเท่ากับ 6.12, 6.29 และ 7.99 เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา

นอกจากนี้ มีนักวิจัยหลายท่านที่กล่าวว่าเมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย อาทิ Qui *et al.* (2012) กล่าวว่าค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมักเป็นผลมาจากค่าความเป็นกรดต่ำที่ลดลง และค่าความชื้นที่ลดลงในระหว่างการหมัก Wanangkarn *et al.* (2012) กล่าวว่าในผลิตภัณฑ์หมักมีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการหมัก Visessanguan *et al.* (2006) กล่าวว่าผลิตภัณฑ์แฮมมีความแข็งขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเหนียวของกรดการสูญเสียสภาพโปรตีน และการเกิดเจลลิตินของโปรตีนในเนื้อสัตว์ Fernandez *et al.* (2006); Spaziani *et al.* (2009); Hongthong *et al.* (2016) รายงานว่าการเติมน้ำตาลลงในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน และการลดลงของค่าความเป็นกรดต่ำที่ใกล้กับจุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric point) ของแอกทิน (actin) และไมโอซิน (myosin) ในเนื้อสัตว์เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งขึ้น

ค่าการเกาะตัวกัน (Cohesiveness, ratio) พบว่าในวันที่ 1 ของกระบวนการหมักไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวต่างชนิดกันมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 0.41, 0.40, 0.35 และ 0.38 ตามลำดับ ( $P>0.05$ ) โดยวันที่ 2-4 ของกระบวนการหมัก ไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า มีค่าการเกาะตัวกันเพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ในช่วง 0.47-0.54 ( $P>0.05$ ) ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Khem *et al.* (2013) ที่ศึกษาการใช้ปลา 3 ชนิด ได้แก่

Trevally, Kahawai และ Hoki ในการผลิตไส้กรอกปลาหมัก พบว่า มีค่าการเกาะตัวกันไม่แตกต่างกันทั้ง 3 กลุ่มทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.24-0.51 ใน 0-96 ชั่วโมงของกระบวนการหมัก

ค่าความเหนียวคล้ายยาง (Gumminess, N) พบว่าในวันที่ 1 ของกระบวนการหมัก ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวต่างชนิดกันในการผลิตไส้กรอกอีสานมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 0.54, 0.76, 0.48 และ 0.63 ตามลำดับ ( $P>0.05$ ) จากนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเหนียวคล้ายยางเพิ่มขึ้นด้วย โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมักทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วง 4.93-5.59 ( $P>0.05$ )

ค่าความยืดหยุ่น (Springiness, ratio) พบว่าไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ตั้งแต่วันที่ 1-4 ของกระบวนการหมักมีค่าอยู่ในช่วง 0.51-0.63 สอดคล้องกับการศึกษาของ Khem *et al.* (2013) กล่าวว่าไส้กรอกปลาหมักมีค่าความยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 0.31-0.91 ใน 0-96 ชั่วโมงของกระบวนการหมัก และ Olivares *et al.* (2010) รายงานว่าค่าความยืดหยุ่นของไส้กรอกหมัก (sucuk) มีค่าเท่ากับ 0.69-0.73 เมื่อสิ้นสุดการหมัก

และค่าความยากในการเคี้ยว (Chewiness, Nmm) พบว่าไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวต่างชนิดกันในการผลิตไส้กรอกอีสานในวันที่ 1 ของกระบวนการหมักมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 0.32, 0.40, 0.27 และ 0.32 ตามลำดับ จากนั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น โดยวันที่ 2-4 ของกระบวนการหมักทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 1.14-3.53 ซึ่งกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิมีค่าสูงสุด (3.53) นอกจากนี้ Ju *et al.* (2016) รายงานว่าเมื่อค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ( $A_w$ ) ค่าความชื้นลดลงส่งผลให้ค่าความแข็ง ค่าการเกาะตัวกัน ค่าความเหนียวคล้ายยาง และค่าความยากในการเคี้ยวสูงขึ้น

ตารางที่ 4.12 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis) ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean  $\pm$  SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องนางคำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
ค่าความแข็ง (Hardness, N)	1	11.36 $\pm$ 2.37	2.01 $\pm$ 0.23 <sup>d,A</sup>	2.80 $\pm$ 1.02 <sup>d,A</sup>	2.32 $\pm$ 0.59 <sup>d,A</sup>	2.60 $\pm$ 0.72 <sup>c,A</sup>
	2	15.75 $\pm$ 9.17	5.00 $\pm$ 0.79 <sup>c,A</sup>	4.75 $\pm$ 0.31 <sup>c,A</sup>	4.96 $\pm$ 0.58 <sup>c,A</sup>	5.39 $\pm$ 0.85 <sup>b,A</sup>
	3	15.36 $\pm$ 7.85	7.64 $\pm$ 0.98 <sup>b,A</sup>	6.46 $\pm$ 1.07 <sup>b,A</sup>	7.74 $\pm$ 0.18 <sup>b,A</sup>	6.20 $\pm$ 0.66 <sup>b,A</sup>
	4	17.29 $\pm$ 11.35	8.80 $\pm$ 0.75 <sup>a,A</sup>	9.54 $\pm$ 0.46 <sup>a,A</sup>	9.20 $\pm$ 0.70 <sup>a,A</sup>	9.36 $\pm$ 1.13 <sup>a,A</sup>
ค่าการเกาะตัวกัน (Cohesiveness, ratio)	1	0.58 $\pm$ 0.05	0.41 $\pm$ 0.10 <sup>b,A</sup>	0.40 $\pm$ 0.09 <sup>b,A</sup>	0.35 $\pm$ 0.04 <sup>b,A</sup>	0.38 $\pm$ 0.09 <sup>b,A</sup>
	2	0.55 $\pm$ 0.05	0.49 $\pm$ 0.13 <sup>a,A</sup>	0.53 $\pm$ 0.15 <sup>a,A</sup>	0.47 $\pm$ 0.12 <sup>a,A</sup>	0.51 $\pm$ 0.10 <sup>a,A</sup>
	3	0.57 $\pm$ 0.04	0.51 $\pm$ 0.07 <sup>a,A</sup>	0.52 $\pm$ 0.06 <sup>a,A</sup>	0.54 $\pm$ 0.07 <sup>a,A</sup>	0.54 $\pm$ 0.04 <sup>a,A</sup>
	4	0.55 $\pm$ 0.03	0.48 $\pm$ 0.08 <sup>a,A</sup>	0.49 $\pm$ 0.07 <sup>a,A</sup>	0.49 $\pm$ 0.09 <sup>a,A</sup>	0.49 $\pm$ 0.08 <sup>a,A</sup>
ค่าความเหนียวคล้ายยาง (Gumminess, N)	1	6.85 $\pm$ 0.05	0.54 $\pm$ 0.17 <sup>c,A</sup>	0.76 $\pm$ 0.16 <sup>c,A</sup>	0.48 $\pm$ 0.08 <sup>c,A</sup>	0.63 $\pm$ 0.13 <sup>c,A</sup>
	2	8.42 $\pm$ 0.06	1.77 $\pm$ 0.06 <sup>bc,A</sup>	2.47 $\pm$ 0.11 <sup>b,A</sup>	1.06 $\pm$ 0.09 <sup>c,A</sup>	1.97 $\pm$ 0.11 <sup>b,A</sup>
	3	7.92 $\pm$ 0.04	3.06 $\pm$ 0.13 <sup>b,A</sup>	3.58 $\pm$ 0.10 <sup>ab,A</sup>	3.09 $\pm$ 0.04 <sup>b,A</sup>	3.51 $\pm$ 0.10 <sup>ab,A</sup>
	4	8.53 $\pm$ 0.00	5.59 $\pm$ 0.11 <sup>a,A</sup>	5.19 $\pm$ 1.13 <sup>a,A</sup>	5.33 $\pm$ 0.11 <sup>a,A</sup>	4.93 $\pm$ 0.11 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับสถิติ

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis) ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean  $\pm$  SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาคำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
ค่าความยืดหยุ่น <sup>NS</sup> (Springiness, ratio)	1	0.62 $\pm$ 0.05	0.58 $\pm$ 0.17	0.57 $\pm$ 0.16	0.51 $\pm$ 0.08	0.52 $\pm$ 0.13
	2	0.59 $\pm$ 0.06	0.62 $\pm$ 0.16	0.62 $\pm$ 0.11	0.58 $\pm$ 0.09	0.63 $\pm$ 0.11
	3	0.61 $\pm$ 0.04	0.63 $\pm$ 0.13	0.59 $\pm$ 0.10	0.63 $\pm$ 0.04	0.61 $\pm$ 0.09
	4	0.60 $\pm$ 0.00	0.60 $\pm$ 0.11	0.56 $\pm$ 0.12	0.55 $\pm$ 0.11	0.55 $\pm$ 0.10
ค่าความยากในการเคี้ยว (Chewiness, Nmm)	1	4.34 $\pm$ 0.61	0.32 $\pm$ 0.15 <sup>c,A</sup>	0.40 $\pm$ 0.06 <sup>c,A</sup>	0.27 $\pm$ 0.06 <sup>b,A</sup>	0.32 $\pm$ 0.12 <sup>c,A</sup>
	2	4.84 $\pm$ 1.73	1.19 $\pm$ 1.19 <sup>b,A</sup>	1.60 $\pm$ 0.69 <sup>b,A</sup>	1.14 $\pm$ 0.89 <sup>b,A</sup>	1.22 $\pm$ 0.17 <sup>b,A</sup>
	3	5.15 $\pm$ 1.88	2.11 $\pm$ 1.66 <sup>ab,A</sup>	2.17 $\pm$ 0.82 <sup>ab,A</sup>	2.44 $\pm$ 0.88 <sup>a,A</sup>	2.15 $\pm$ 0.66 <sup>ab,A</sup>
	4	6.36 $\pm$ 3.74	3.53 $\pm$ 1.88 <sup>a,A</sup>	2.97 $\pm$ 1.13 <sup>a,A</sup>	2.96 $\pm$ 0.90 <sup>a,A</sup>	2.85 $\pm$ 1.42 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>NS</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

#### 4.3.1.7 ค่าการออกซิเดชันของไขมัน (Thio barbituric acid reactive substances)

การออกซิเดชันของไขมัน (Thio barbituric acid reactive substances; TBARS) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาเพราะอาจทำให้เกิดการหืน และมีผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์รวมทั้งสี และรสชาติ (Kim *et al.* 2017) จากการศึกษาค่าการออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 4.13) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสาน การใช้ข้าวต่างชนิดกันไม่ส่งผลต่อค่า TBARS ( $P>0.05$ ) โดยไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 0.20, 0.17, 0.21 และ 0.18 มิลลิกรัมมาโลนัสไฮด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยทั่วไปไส้กรอกอีสานมีการเติมไขมันลงในส่วนผสมประมาณ 30% เมื่อทำการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้มีการออกซิเดชันของไขมันทำให้เกิดการเหม็นหืน (rancidity) ส่งผลให้ค่า TBARS สูงขึ้นในทุกกลุ่มทดลอง โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมัก ไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำมีการออกซิเดชันของไขมันต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 0.53 มิลลิกรัมมาโลนัสไฮด์ต่อกิโลกรัม ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่หมักเสร็จแล้วมีอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุด เนื่องจากข้าวกล้องนางคำมีสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เมื่อนำมาผลิตไส้กรอกอีสาน สารดังกล่าวจะชะลอการเกิดอนุมูลอิสระที่ไปกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและมีค่าการออกซิเดชันของไขมันต่ำกว่ากลุ่มอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ พบว่ามีค่าสูงกว่า มีค่าเท่ากับ 0.66 มิลลิกรัมมาโลนัสไฮด์ต่อกิโลกรัม ( $P<0.05$ ) นอกจากนี้ค่าการออกซิเดชันของไขมัน (TBARS) ทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่เกิน 2 มิลลิกรัมมาโลนัสไฮด์ต่อกิโลกรัม สามารถยอมรับได้ โดย Shamberger *et al.* (1977) รายงานว่าในตัวอย่างอาหารทั่วไป ค่า TBARS ที่สามารถยอมรับได้คือปริมาณไม่เกิน 2 มิลลิกรัมมาโลนัสไฮด์ต่อกิโลกรัม และ Lohalaksanadech and Kachenpakdee (2011) รายงานว่าค่า TBARS ที่มีปริมาณมากกว่า 3 มิลลิกรัมมาโลนัสไฮด์ต่อกิโลกรัม ทำให้ผู้บริโภคสามารถรับรู้กลิ่นแปลกปลอมต่ออาหาร และถ้ามีค่าปริมาณมากกว่า 7 มิลลิกรัมมาโลนัสไฮด์ต่อกิโลกรัม ถือว่าไขมันเกิดการเสื่อมคุณภาพเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 4.13 ค่าการออกซิเดชันของไขมัน Thio barbituric acid reactive substances (TBARS: mg MDA/kg sample) ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และ ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD)

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน				
	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องนางคำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
0	0.65 ± 0.04	0.20 ± 0.03 <sup>b,A</sup>	0.17 ± 0.01 <sup>b,A</sup>	0.21 ± 0.01 <sup>b,A</sup>	0.18 ± 0.02 <sup>b,A</sup>
4	0.72 ± 0.06	0.66 ± 0.05 <sup>a,A</sup>	0.53 ± 0.05 <sup>a,B</sup>	0.64 ± 0.05 <sup>a,A</sup>	0.63 ± 0.02 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

## 4.3.2 คุณภาพทางชีวภาพในระหว่างกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์

### 4.3.2.1 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก

การศึกษาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 4.14) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวต่างชนิดกันมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) โดยกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 4.18, 4.26, 4.24 และ 4.20 log cfu/g ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาหมักเพิ่มขึ้นจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มขึ้นด้วย โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมัก การใช้ข้าวต่างชนิดกันมีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วง 8.81-9.07 log cfu/g โดยไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางคำมีค่าสูงสุด (9.07 log cfu/g) และกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิมีค่าต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 8.44 log cfu/g การที่จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อสิ้นสุดการหมักเนื่องจากจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกที่สูงขึ้นส่งผลต่อค่าความเป็นกรดต่ำที่ลดลง และปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักดังตารางที่ 4.8 ส่งผลให้ไส้กรอกอีสานมีความปลอดภัยในการบริโภคมากขึ้น

โดยทั่วไปอาหารหมักหลายชนิดแบคทีเรียกรดแลคติกนั้นมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการหมักเนื่องจากกรดแลคติกที่สร้างขึ้นทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคในผลิตภัณฑ์ จึงช่วยชะลอการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นเปรี้ยว (Pringsulaka *et al.* 2010) นอกจากนี้แบคทีเรียกรดแลคติกสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค และจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียในผลิตภัณฑ์ ผลผลิตของแบคทีเรียกรดแลคติกที่ได้จากกระบวนการหมัก เช่น กรดอินทรีย์ และแบคทีเรียโอซิน โดยสารทั้งสองเป็นสารต้านจุลชีพ (Cleveland *et al.* 2001; Ammor *et al.* 2006) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Sripchochanart and Skolpap (2011) กล่าวว่าในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักจาก 0-60 ชั่วโมง (4.40 เป็น 8.45 log cfu/g)

#### 4.3.2.2 จำนวนยีสต์ รา

การศึกษาจำนวนยีสต์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 4.14) พบว่าจำนวนยีสต์ในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 2.82-2.85 log cfu/g และมีจำนวนยีสต์ลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมักทุกกลุ่มทดลองมีจำนวนยีสต์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิมีค่าสูงสุด (2.54 log cfu/g) ส่วนจำนวนรา (ตารางที่ 4.15) ตรวจไม่พบในทุกกลุ่มทดลองมีค่าต่ำกว่าที่ตรวจนับได้ ( $<1$  log cfu/g) สาเหตุที่มีจำนวนยีสต์มีจำนวนลดลงภายหลังกระบวนการหมักเนื่องจากจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกที่มีจำนวนมากขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักจะผลิตกรดเกิดขึ้น ได้แก่ กรดอินทรีย์ กรดแลกติก และกรดอะซิติก โดยค่าความเป็นกรดต่าง ค่าการแตกตัว (pKa) และความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ส่งผลต่อเชื้อยีสต์และรา (De vuyst and Vandamme, 1994) ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกอีสานหมู (2546) กล่าวว่ายีสต์และราต้องน้อยกว่า 10 cfu/g

เนื่องด้วยจำนวนยีสต์ที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวต่างชนิด ในการผลิตไส้กรอกอีสานมีจำนวนเกินกว่ามาตรฐานกำหนด เป็นเพราะสภาวะการเจริญของยีสต์เจริญได้ดีที่ค่าความเป็นกรดต่ำกว่า 4.6 อีกประการอาจเนื่องด้วยจำนวนยีสต์เริ่มต้นมีการปนเปื้อนมาจากวัตถุดิบ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ และสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิตที่ไม่สะอาด จึงพบจำนวนยีสต์มากเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ในขณะที่เดียวกันข้าวที่เติมลงในส่วนผสมในการทำไส้กรอกอีสานนอกจากจะช่วยในการสร้างกรดแลกติกแล้วยังทำให้จุลินทรีย์อื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับการหมักเจริญได้โดยเฉพาะยีสต์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Sripchochanart and Skolpap (2011) รายงานว่าจำนวนยีสต์ในไส้กรอกอีสานในกลุ่มที่ไม่เติมกลูต้ามีจำนวนเพิ่มขึ้นในการหมักที่ 24 ชั่วโมง จากนั้นเมื่อการหมักผ่านไป 60 ชั่วโมง จำนวนยีสต์ลดลงเหลือ 5.2 log cfu/g ซึ่งยังตรวจพบจำนวนยีสต์อยู่เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ratanaburee *et al.* (2013) รายงานว่าหมกในกลุ่มควบคุมที่ไม่เติมกลูต้ามีจำนวนยีสต์เริ่มต้น 6 log cfu/g จากนั้นเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 96 ชั่วโมง จำนวนยีสต์ลดลงเหลือ 3 log cfu/g ซึ่งยังคงตรวจพบจำนวนยีสต์อยู่เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ Yongjin *et al.* (2006) รายงานว่ากรดสาเหตุหลักของการยับยั้งเชื้อ *staphylococci*, *micrococci* และยีสต์ ในไส้กรอกหมักแห้ง (dry fermented sausages) ซึ่งค่าความเป็นกรดที่ลดลงต่ำกว่า 4.5 ยีสต์หลายตัวมีความทนทานได้ ดังนั้นการทำให้เกิดกรดในผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถอธิบายได้ว่าสามารถลดจำนวนยีสต์ได้

#### 4.3.2.3 จำนวนเชื้อ *E. coli*, *Salmonella* spp. และ *S. aureus*

การศึกษาจำนวนเชื้อ *E. coli*, *Salmonella* spp. และ *S. aureus* ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใส่ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 4.15-4.16) พบว่าในระหว่างกระบวนการหมักเป็นระยะเวลา 4 วัน ตรวจไม่พบเชื้อ *E. coli* และ *S. aureus* ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มทดลอง มีค่าต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้ (<1 cfu/g) ส่วนเชื้อ *Salmonella* spp. ตรวจไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม เนื่องจากค่าความเป็นกรดต่างที่ลดลงต่ำกว่า 4.6 (ตารางที่ 4.8) สามารถฆ่าเชื้อ *Salmonella* spp. และ *S. aureus* ได้ และค่าความเป็นกรดต่างที่ต่ำกว่า 4.5 มีผลทำให้เชื้อ *E. coli* ไม่สามารถทนสภาวะความเป็นกรดและตายไปในที่สุด โดยกระบวนการหมักไส้กรอกอีสานเกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรียกรดแลคติกเมื่อจุลินทรีย์เกิดการหมักจะทำให้เนื้อหมักมีค่าความเป็นกรดต่างลดลง สามารถยับยั้งการเจริญ และการงอกของสปอร์ของจุลินทรีย์ก่อโรคได้ (Azam *et al.* 2017) จากผลการทดลองเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกอีสานหมู (2546) รายงานว่าต้องไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp. ในตัวอย่าง 25 กรัม และเชื้อ *S. aureus* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม

ตารางที่ 4.14 จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก และยีสต์ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์

(Mean ± SD)

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องนางคำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
Lactic acid bacteria (log cfu/g)	0	7.09 ± 0.81	4.18 ± 0.09 <sup>d,A</sup>	4.26 ± 0.05 <sup>d,A</sup>	4.24 ± 0.07 <sup>c,A</sup>	4.20 ± 0.06 <sup>d,A</sup>
	1	8.17 ± 0.15	7.52 ± 0.82 <sup>c,A</sup>	7.53 ± 0.82 <sup>c,A</sup>	7.45 ± 0.84 <sup>b,A</sup>	7.50 ± 0.79 <sup>c,A</sup>
	2	8.24 ± 0.16	7.97 ± 0.63 <sup>bc,A</sup>	8.01 ± 0.63 <sup>bc,A</sup>	8.04 ± 0.50 <sup>ab,A</sup>	8.01 ± 0.53 <sup>bc,A</sup>
	3	8.31 ± 0.17	8.66 ± 0.26 <sup>ab,AB</sup>	8.67 ± 0.26 <sup>ab,AB</sup>	8.51 ± 0.21 <sup>a,B</sup>	8.74 ± 0.26 <sup>ab,A</sup>
	4	8.44 ± 0.32	8.81 ± 0.31 <sup>a,A</sup>	9.07 ± 0.13 <sup>a,A</sup>	8.86 ± 0.25 <sup>a,A</sup>	9.05 ± 0.10 <sup>a,A</sup>
Yeast (log cfu/g)	0	2.90 ± 0.15	2.82 ± 0.24 <sup>b,A</sup>	2.84 ± 0.20 <sup>bc,A</sup>	2.85 ± 0.26 <sup>bc,A</sup>	2.85 ± 0.27 <sup>bc,A</sup>
	1	2.91 ± 0.15	4.17 ± 0.07 <sup>a,A</sup>	4.15 ± 0.05 <sup>a,A</sup>	4.17 ± 0.08 <sup>a,A</sup>	4.17 ± 0.06 <sup>a,A</sup>
	2	2.87 ± 0.25	3.98 ± 0.13 <sup>a,A</sup>	3.97 ± 0.03 <sup>a,A</sup>	3.99 ± 0.02 <sup>a,A</sup>	3.92 ± 0.04 <sup>a,A</sup>
	3	2.85 ± 0.22	2.83 ± 0.13 <sup>b,A</sup>	3.17 ± 0.34 <sup>b,A</sup>	3.17 ± 0.36 <sup>b,A</sup>	3.14 ± 0.32 <sup>b,A</sup>
	4	2.69 ± 0.15	2.54 ± 0.03 <sup>b,A</sup>	2.51 ± 0.01 <sup>c,A</sup>	2.52 ± 0.10 <sup>c,A</sup>	2.50 ± 0.07 <sup>c,A</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>†</sup> <1 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

ตารางที่ 4.15 จำนวนรา และเชื้อ *E.coli* ของไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องนางคำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
Mold (cfu/g)	0	<1	<1 <sup>‡</sup>	<1	<1	<1
	1	<1	<1	<1	<1	<1
	2	<1	<1	<1	<1	<1
	3	<1	<1	<1	<1	<1
	4	<1	<1	<1	<1	<1
<i>E. coli</i> (cfu/g)	0	<1	<1	<1	<1	<1
	1	<1	<1	<1	<1	<1
	2	<1	<1	<1	<1	<1
	3	<1	<1	<1	<1	<1
	4	<1	<1	<1	<1	<1

<sup>‡</sup> <1 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับสถิติ

ตารางที่ 4.16 จำนวนเชื้อ *S. aureus* และ *Salmonella* spp. ของไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
<i>S. aureus</i> (cfu/g)	0	<1	<1 <sup>‡</sup>	<1	<1	<1
	1	<1	<1	<1	<1	<1
	2	<1	<1	<1	<1	<1
	3	<1	<1	<1	<1	<1
	4	<1	<1	<1	<1	<1
<i>Salmonella</i> spp. (per 25 g)	0	ND	ND	ND	ND	ND
	1	ND	ND	ND	ND	ND
	2	ND	ND	ND	ND	ND
	3	ND	ND	ND	ND	ND
	4	ND	ND	ND	ND	ND

<sup>‡</sup> <1 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

ND = Not detected (ตรวจไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

### 4.3.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระหว่างกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์

#### 4.3.3.1 ค่า 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) radical scavenging activity

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ภายหลังจากทำให้สุก (ตารางที่ 4.17) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 69.20-70.10% โดยไส้กรอกอีสานที่ใช้กล้องดอกขามมีค่าสูงสุด (70.10%) จากนั้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยไส้กรอกอีสานที่ใช้กล้องดอกขามมีค่าสูงสุด (72.11%) ซึ่งไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 71.64% และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าที่ต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 70.34% ( $P<0.05$ ) การที่ไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงเนื่องจากข้าวกล้องดอกขามมีสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแอนโทไซยานินและโพรแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ Kusznierevicz *et al.* (2008) รายงานว่าค่าการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสิ้นสุดการหมัก เนื่องจากสารที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันจะจับกับอนุมูล DPPH ดังนั้นสารมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันจะลดการดูดกลืนแสงของ DPPH และการให้ความร้อนมีผลทำให้สารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มความร้อนของสารต้านอนุมูลอิสระอาจสามารถป้องกันการออกซิเดชันขององค์ประกอบอื่นๆ ในอาหาร

#### 4.3.3.2 ค่า 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical cation scavenging activity

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ภายหลังจากทำให้สุก (ตารางที่ 4.17) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสาน ไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขาม มีค่าสูงสุด (72.65%) และกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิที่มีค่าต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 70.53% ( $P<0.05$ ) จากนั้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุด (79.65%) เช่นเดียวกันแต่ไม่แตกต่างกับไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 78.88% และเมื่อเปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าที่ต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 74.61% ( $P<0.05$ ) ซึ่งการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ABTS เป็นวิธีใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อวัดความสามารถของ

สารต้านอนุมูลอิสระโดย ABTS จะถูกเปลี่ยนเป็น  $ABTS^{•+}$  โดยโซเดียมเพอร์ซัลเฟต ( $K_2O_8S_2$ ) เป็นตัวรีดิวซ์ ABTS ให้เป็น  $ABTS^{•+}$  และเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำเงิน (Re *et al.* 1999) จากนั้น  $ABTS^{•+}$  ทำปฏิกิริยากับ antioxidant (AOH) หรือสารสกัดถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็น  $ABTS + A^{\bullet}$  เกิดเป็นสีเทาทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียร (lipophilic radical) และหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระได้ Rizki *et al.* (2015)

#### 4.3.3.3 ค่า Reducing power

การทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์สาร ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ภายหลังจากทำให้สุก (ตารางที่ 4.17) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสาน ไส้กรอกอีสานที่ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.681 ( $P < 0.05$ ) จากนั้นเมื่อสิ้นสุดการหมักไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุด (0.951) ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 0.947 และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 0.927 ( $P < 0.05$ ) โดยไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุดแสดงว่าสามารถป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระที่มีผลต่อการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์สารสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับเปอร์ออกไซด์และป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระโดยการทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นบางชนิดซึ่งความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์สารเป็นการให้อิเล็กตรอนแก่สารอนุมูลอิสระเปลี่ยนเป็นสารที่คงตัว โดยวัดปฏิกิริยารีดักชันของ  $Fe^{3+}(CN)_6$  (ferric tripyridyltriazine) ไปเป็น  $Fe^{2+}(CN)_6$  ถ้าหากสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้มขึ้นจะแสดงถึงความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ดี (Vijayalakshmi and Ruckmani. 2016)

#### 4.3.3.4 ค่า Total phenolic content

การทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ภายหลังจากทำให้สุก (ตารางที่ 4.17) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 53.54 mg GAE/100g ซึ่งมีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ( $P < 0.05$ ) จากนั้นเมื่อสิ้นสุดการหมักไส้กรอกอีสานที่ข้าวข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ (ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า) มีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 78.99, 79.74 และ 79.37 mg GAE/100g ตามลำดับ โดยไส้กรอกอีสานที่ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุด (79.74 mg GAE/100g) และเมื่อเปรียบเทียบกับ

กลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิพบว่ามีความต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 73.32 mg GAE/100g ( $P < 0.05$ ) จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าข้าวกล้องดอกขามมีปริมาณฟีนอลิกที่สูงเนื่องมาจากเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวมีสีแดงซึ่งสีของเปลือกหุ้มเมล็ดดังกล่าวมีสารแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ และโปรแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ เมื่อนำมาผลิตเป็นไส้กรอกอีสานทำให้มีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใช้ข้าวหอมมะลิ และการทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไส้กรอกอีสาน มีความสอดคล้องกันกับการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้ทั้ง 3 วิธี โดยไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูงส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้จากทั้ง 3 วิธีการทดสอบสูงด้วยเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity, ABTS radical cation scavenging activity, Reducing power และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD)

วิธีการทดสอบ การต้านอนุมูลอิสระ	ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องนางคำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
DPPH radical scavenging activity (% inhibition)	0	63.50 ± 0.41	69.20 ± 0.36 <sup>a,A</sup>	69.67 ± 0.36 <sup>a,A</sup>	70.10 ± 0.37 <sup>a,A</sup>	69.86 ± 0.36 <sup>a,A</sup>
	4	61.10 ± 0.44	70.34 ± 0.35 <sup>a,C</sup>	70.80 ± 0.36 <sup>a,B</sup>	72.11 ± 0.34 <sup>a,A</sup>	71.64 ± 0.34 <sup>a,AB</sup>
ABTS radical cation scavenging activity (% inhibition)	0	60.36 ± 0.28	70.53 ± 0.26 <sup>a,B</sup>	70.91 ± 0.26 <sup>a,B</sup>	72.65 ± 0.24 <sup>a,A</sup>	71.63 ± 0.25 <sup>a,AB</sup>
	4	60.72 ± 0.28	74.61 ± 0.19 <sup>a,C</sup>	77.37 ± 0.17 <sup>a,B</sup>	79.65 ± 0.16 <sup>a,A</sup>	78.88 ± 0.17 <sup>a,AB</sup>
Reducing power (OD 700 nm)	0	0.591 ± 0.01	0.627 ± 0.00 <sup>b,B</sup>	0.642 ± 0.01 <sup>b,B</sup>	0.681 ± 0.01 <sup>b,A</sup>	0.643 ± 0.01 <sup>b,B</sup>
	4	0.587 ± 0.01	0.927 ± 0.00 <sup>a,C</sup>	0.942 ± 0.01 <sup>a,B</sup>	0.951 ± 0.01 <sup>a,A</sup>	0.947 ± 0.01 <sup>a,AB</sup>
Total phenolic content (mg GAE/100 g sausage)	0	35.16 ± 0.27	46.28 ± 0.37 <sup>b,C</sup>	47.33 ± 0.91 <sup>b,BC</sup>	53.54 ± 0.14 <sup>b,A</sup>	48.37 ± 0.32 <sup>b,B</sup>
	4	33.43 ± 1.20	73.32 ± 1.05 <sup>a,B</sup>	78.99 ± 0.84 <sup>a,A</sup>	79.74 ± 1.22 <sup>a,A</sup>	79.37 ± 0.59 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับสถิติ

#### 4.3.4 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์

##### 4.3.4.1 ค่าความเป็นกรดต่าง และปริมาณกรดทั้งหมด

การศึกษาค่าความเป็นกรดต่างในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.18) พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ซึ่งค่าความเป็นกรดต่างมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และในสัปดาห์ที่ 4 ไ้สรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางดำ และข้าวกล้องดอกข่า มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำสุด คือ 4.17 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวขัดแย้งกับการศึกษาของ Wójciak *et al.* (2011) รายงานว่าค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้นในไส้กรอกหมักตามธรรมชาติเมื่อมีการเก็บรักษานานขึ้นอันเนื่องมาจากการเกิด proterolysis ที่มากขึ้นจากเปปไทด์ และกรดอะมิโน เป็นผลทำให้มีค่าความเป็นกรดต่างสูงขึ้น

การศึกษปริมาณกรดทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.18) พบว่าในสัปดาห์แรกไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องนางดำ มีค่าสูงสุด (1.22% และ 1.21%) และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิพบว่ามีค่าต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 1.13% ( $P<0.05$ ) จากนั้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ค่าปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยสัปดาห์ที่ 4 ไ้สรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางดำมีค่าสูงสุด (1.49%) และกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 1.30% ( $P<0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดต่าง (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.18 ค่าความเป็นกรดต่างและปริมาณกรดทั้งหมดต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน				
		ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องนางดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
ค่าความเป็นกรดต่าง	0 <sup>†</sup>	4.68 ± 0.29	4.47 ± 0.13 <sup>a,A</sup>	4.32 ± 0.09 <sup>a,B</sup>	4.44 ± 0.18 <sup>a,AB</sup>	4.34 ± 0.09 <sup>a,B</sup>
	2	4.40 ± 0.05	4.40 ± 0.11 <sup>ab,A</sup>	4.28 ± 0.07 <sup>a,AB</sup>	4.39 ± 0.18 <sup>a,AB</sup>	4.25 ± 0.10 <sup>ab,B</sup>
	4	4.37 ± 0.14	4.35 ± 0.08 <sup>b,A</sup>	4.17 ± 0.08 <sup>b,B</sup>	4.32 ± 0.10 <sup>a,A</sup>	4.17 ± 0.02 <sup>b,B</sup>
ค่าปริมาณกรดทั้งหมด	0	0.93 ± 0.30	1.13 ± 0.08 <sup>b,B</sup>	1.21 ± 0.07 <sup>a,A</sup>	1.12 ± 0.09 <sup>b,B</sup>	1.22 ± 0.07 <sup>b,A</sup>
	2	1.01 ± 0.15	1.18 ± 0.03 <sup>ab,A</sup>	1.25 ± 0.09 <sup>a,A</sup>	1.20 ± 0.07 <sup>b,A</sup>	1.26 ± 0.02 <sup>ab,A</sup>
	4	1.10 ± 0.12	1.30 ± 0.12 <sup>a,B</sup>	1.49 ± 0.18 <sup>a,A</sup>	1.32 ± 0.09 <sup>a,B</sup>	1.47 ± 0.13 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>†</sup> สัปดาห์ที่ 0 คือ สิ้นสุดกระบวนการหมัก (วันที่ 4)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

#### 4.3.4.2 ค่าสี (CIE L\*, a\* และ b\*)

การศึกษาค่าสี (CIE L\*, a\* และ b\*) ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.19) พบว่าค่าความสว่าง (Lightness, L\*) ในสัปดาห์แรก ไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าต่ำสุด (53.68) ซึ่งแตกต่างกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ข้าวกล้องนางคำ และข้าวกล้องดอกข่า ที่มีค่าสูงกว่า จากนั้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้ค่า L\* สูงขึ้น และในสัปดาห์ที่ 4 ทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 57.65 และกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำมีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 59.18 ผลการทดลองสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดและปริมาณกรดทั้งหมดในตารางที่ 4.18 ที่พบว่าไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำมีค่าความเป็นกรดต่ำสุด และปริมาณกรดทั้งหมดสูงสุด ทำให้มีการสร้างกรดออกมาส่งผลให้โปรตีนในเนื้อเกิดการสูญเสียสภาพ ส่งผลให้ไส้กรอกอีสานมีค่า L\* สูงขึ้น และในระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงค่าสี โดยค่า L\* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าสีในระหว่างการเก็บรักษาอาหารนั้นเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือการสลายตัวของรงควัตถุ (Dias *et al.* 1994) สอดคล้องกับ Sucu *et al.* (2018) รายงานว่าไส้กรอกเนื้อวัวหมัก Turkish fermented beef sausage (sucuk) มีค่า L\* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) และมีค่า a\* และ b\* ลดลงในระยะเวลาการเก็บรักษา 84 วัน

โดยค่าสีแดง (Redness, a\*) พบว่าในสัปดาห์แรก ไส้กรอกอีสานที่ผลิตใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ( $P < 0.05$ ) โดยกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 5.97, 6.45 และ 6.09 ตามลำดับ จากนั้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า a\* ลดลง โดยในสัปดาห์ที่ 2 ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิดกันมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) และในสัปดาห์ที่ 4 ไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า มีค่าสูงสุด (4.99) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำ และข้าวหอมมะลิ ( $P > 0.05$ ) สอดคล้องกับการศึกษาของ Mejić *et al.* (2017) รายงานว่าค่า a\* ในไส้กรอกเนื้ออูฐหมักแห้งลดลงเมื่อเก็บรักษาที่ 28 วัน

และค่าสีเหลือง (Yellowness, b\*) พบว่าการใช้ข้าวต่างชนิดกันในการผลิตไส้กรอกอีสาน มีค่า b\* คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มีค่าอยู่ในช่วง 8.18-10.36 ( $P > 0.05$ )

#### 4.3.4.3 ค่าความสดสี (Chroma)

การศึกษาค่าความสดสีในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.20) โดยค่าความสดสี แสดงถึงค่าสี 0-60 โดย 0 ผลิตภัณฑ์มีสีซีดจาง (เทา) และ 60 มีสีเข้ม พบว่าในสัปดาห์แรกไส้กรอก อีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วง 10.29-10.83 โดยกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่ามีค่าต่ำสุด ซึ่งแตกต่างกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ที่มีค่าสูงกว่า มีค่าเท่ากับ 11.09 ( $P < 0.05$ ) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ค่าความสดสีคงที่ และใน สัปดาห์ที่ 4 ทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 9.82-11.11 แสดงให้เห็นว่าทุก กลุ่มทดลองมีสีที่ซีดขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

#### 4.3.4.4 ค่าองศาของสี (Hue angle)

การศึกษาค่าองศาของสีในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าว กล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.20) ค่าองศาของสีเป็นค่าที่ แสดงถึงสีแท้จริงที่ปรากฏให้เห็นชัด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศาเซลเซียส โดยแต่ละช่วงแสดงสี ต่างกัน (แสดงในภาคผนวก ง) พบว่าในสัปดาห์แรกไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวกล้องดอก ขามมีค่าต่ำสุด (51.22) แสดงถึงโทนสีส้มแดงถึงเหลือง (มีแนวโน้มเข้าใกล้สีส้มแดง) ซึ่งแตกต่าง กับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิที่มีค่าสูงกว่า มีค่าเท่ากับ 60.70 ( $P < 0.05$ ) และในสัปดาห์ที่ 4 ไส้กรอก อีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวกล้องดอกข่ามีค่าต่ำสุด (62.08) แสดงถึง โทนสีส้มแดงถึงเหลือง (มีแนวโน้ม เข้าใกล้สีส้มแดง) ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำ และข้าวหอมมะลิ มีค่าเท่ากับ 64.90 และ 66.27 ตามลำดับ ( $P > 0.05$ ) โดยไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำ และดอกข่า สามารถนำมา ใช้ในเชิงการค้าได้เพราะมีสีที่ซีดน้อยกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ซึ่งไส้กรอกอีสานดังกล่าวแสดงถึง โทนสีส้มแดงของตัวผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ผู้บริโภคมีการตัดสินใจเลือกซื้อมากกว่า

ตารางที่ 4.19 ค่าสี (CIE L\*, a\* และ b\*) ต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และ  
ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน				
		ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องนางคำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
ค่าความสว่าง (Lightness; L*)	0 <sup>†</sup>	63.24 ± 0.64	58.16 ± 0.13 <sup>a,A</sup>	54.84 ± 0.13 <sup>b,B</sup>	53.68 ± 0.28 <sup>b,C</sup>	57.35 ± 0.11 <sup>a,AB</sup>
	2	65.70 ± 0.26	57.63 ± 0.87 <sup>a,AB</sup>	59.13 ± 0.38 <sup>a,A</sup>	56.37 ± 0.40 <sup>a,B</sup>	57.37 ± 0.86 <sup>a,AB</sup>
	4	64.79 ± 0.66	58.37 ± 0.37 <sup>a,A</sup>	59.18 ± 0.83 <sup>a,A</sup>	57.65 ± 0.84 <sup>a,A</sup>	58.56 ± 0.32 <sup>a,A</sup>
ค่าสีแดง (Redness; a*)	0	3.88 ± 0.16	5.22 ± 0.07 <sup>a,B</sup>	5.97 ± 0.51 <sup>a,A</sup>	6.45 ± 0.04 <sup>a,A</sup>	6.09 ± 0.05 <sup>a,A</sup>
	2	3.70 ± 0.73	4.75 ± 0.10 <sup>b,A</sup>	4.99 ± 0.33 <sup>ab,A</sup>	4.75 ± 0.17 <sup>b,A</sup>	5.41 ± 0.37 <sup>b,A</sup>
	4	3.29 ± 0.69	4.47 ± 0.27 <sup>b,AB</sup>	4.47 ± 0.33 <sup>b,AB</sup>	3.93 ± 0.44 <sup>c,B</sup>	4.99 ± 0.34 <sup>b,A</sup>
ค่าสีเหลือง (Yellowness; b*)	0	14.56 ± 0.78	9.67 ± 0.12 <sup>b,A</sup>	8.98 ± 0.93 <sup>b,A</sup>	8.18 ± 0.50 <sup>b,A</sup>	8.36 ± 0.16 <sup>b,A</sup>
	2	13.40 ± 0.27	10.27 ± 0.34 <sup>a,A</sup>	10.36 ± 0.27 <sup>a,A</sup>	9.54 ± 0.11 <sup>a,A</sup>	8.98 ± 0.60 <sup>ab,A</sup>
	4	14.25 ± 0.53	10.16 ± 0.13 <sup>a,A</sup>	8.62 ± 0.19 <sup>b,A</sup>	8.99 ± 0.56 <sup>a,A</sup>	9.41 ± 0.41 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>†</sup> สัปดาห์ที่ 0 คือ สิ้นสุดกระบวนการหมัก (วันที่ 4)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับสถิติ

ตารางที่ 4.20 ค่าความสดสี และค่าองศาของสีต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean  $\pm$  SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน				
		ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องนางคำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
ค่าความสดสี (Chroma)	0 <sup>†</sup>	15.34 $\pm$ 0.72	11.09 $\pm$ 0.04 <sup>a,A</sup>	10.83 $\pm$ 0.53 <sup>a,AB</sup>	10.69 $\pm$ 0.00 <sup>a,AB</sup>	10.29 $\pm$ 0.12 <sup>a,B</sup>
	2	13.91 $\pm$ 0.29	11.32 $\pm$ 0.29 <sup>a,A</sup>	11.51 $\pm$ 0.09 <sup>a,A</sup>	10.69 $\pm$ 0.18 <sup>a,A</sup>	10.49 $\pm$ 0.65 <sup>a,A</sup>
	4	14.64 $\pm$ 0.37	11.11 $\pm$ 0.04 <sup>a,A</sup>	10.61 $\pm$ 0.08 <sup>a,A</sup>	9.82 $\pm$ 0.67 <sup>a,A</sup>	10.65 $\pm$ 0.50 <sup>a,A</sup>
ค่าองศาของสี (Hue angle)	0	75.22 $\pm$ 0.04	60.70 $\pm$ 0.32 <sup>b,A</sup>	56.09 $\pm$ 1.35 <sup>b,AB</sup>	51.22 $\pm$ 0.15 <sup>b,B</sup>	53.71 $\pm$ 0.25 <sup>c,AB</sup>
	2	74.68 $\pm$ 0.28	65.16 $\pm$ 0.95 <sup>a,A</sup>	64.27 $\pm$ 0.49 <sup>a,AB</sup>	63.08 $\pm$ 0.65 <sup>a,AB</sup>	58.88 $\pm$ 0.15 <sup>b,B</sup>
	4	76.91 $\pm$ 1.40	66.27 $\pm$ 0.67 <sup>a,AB</sup>	64.90 $\pm$ 0.41 <sup>a,AB</sup>	66.43 $\pm$ 0.30 <sup>a,A</sup>	62.08 $\pm$ 0.44 <sup>a,B</sup>

<sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>†</sup> สัปดาห์ที่ 0 คือ สิ้นสุดกระบวนการหมัก (วันที่ 4)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

#### 4.3.4.5 ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (% Weight loss)

การศึกษาค่าการสูญเสียน้ำหนักในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.21) พบว่าในสัปดาห์แรกและสัปดาห์ที่ 2 ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ และกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าการสูญเสียน้ำหนักใกล้เคียงกันและเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย ( $P>0.05$ ) โดยสัปดาห์ที่ 4 ไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ไร่พื้นเมืองภาคใต้ (ข้าวกล้องดอกขาม) มีค่าต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 5.34 ซึ่งเป็นผลดีในเชิงการค้า สอดคล้องกับ *Visessanguan et al.* (2006) รายงานว่าในสภาวะความเป็นกรดต่ำ ส่งผลให้โปรตีนในเนื้อสัตว์ไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้จึงมีปริมาณน้ำซึมออกมาในปริมาณมาก ซึ่งเมื่อเกิดกระบวนการหมักสมบูรณ์ทำให้ค่าความเป็นกรดต่ำลดลงเป็นสาเหตุทำให้สูญเสียน้ำหนักในผลิตภัณฑ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ค่าการสูญเสียน้ำหนักต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และ ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD)

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน				
	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงา	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
0 <sup>†</sup>	2.45 ± 0.69	3.66 ± 0.08 <sup>b,A</sup>	4.06 ± 0.14 <sup>b,A</sup>	3.64 ± 0.26 <sup>b,A</sup>	4.01 ± 0.18 <sup>b,A</sup>
2	2.96 ± 0.71	4.72 ± 0.59 <sup>ab,A</sup>	5.08 ± 0.59 <sup>a,A</sup>	4.96 ± 0.767 <sup>ab,A</sup>	4.64 ± 0.34 <sup>b,A</sup>
4	3.74 ± 1.00	5.12 ± 0.70 <sup>a,B</sup>	5.63 ± 0.83 <sup>a,A</sup>	5.34 ± 0.67 <sup>a,B</sup>	5.66 ± 0.83 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>†</sup> สัปดาห์ที่ 0 คือ สิ้นสุดกระบวนการหมัก (วันที่ 4)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

#### 4.3.4.6 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis)

การศึกษาค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.22) พบว่าค่าความแข็ง (Hardness, N) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาของไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ และกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 8.80-9.66

ค่าการเกาะตัวกัน (Cohesiveness, ratio) พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 0.47-0.53 โดยไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิมีค่าสูงสุด (0.53) และกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าต่ำสุด (0.47)

ค่าความเหนียวคล้ายยาง (Gumminess, N) พบว่าในสัปดาห์แรกและสัปดาห์ที่ 2 ไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 3.58-5.95 ในขณะที่สัปดาห์ที่ 4 พบว่าไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่ามีค่าต่ำสุด (3.66) และกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำที่มีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 5.03 ( $P<0.05$ )

ค่าความยืดหยุ่น (Springiness, ratio) พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 0.53-0.61 โดยกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิมีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ

และค่าความยากในการเคี้ยว (Chewiness, Nmm) พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วง 2.17-3.73 สอดคล้องกับ Sucu *et al.* (2018) รายงานว่าไส้กรอกเนื้อวัวหมัก Turkish fermented beef sausage (sucuk) มีค่าความแข็ง ค่าความเหนียวคล้ายยาง ค่าความยากในการเคี้ยว ค่าความยืดหยุ่น และค่าการเกาะตัวกันไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 84 วัน

ตารางที่ 4.22 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis) ต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean  $\pm$  SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
ค่าความแข็ง <sup>NS</sup> (Hardness, N)	0 <sup>†</sup>	17.29 $\pm$ 11.35	8.80 $\pm$ 0.75	9.48 $\pm$ 0.36	9.45 $\pm$ 0.70	9.66 $\pm$ 0.84
	2	14.58 $\pm$ 1.23	8.44 $\pm$ 0.20	8.84 $\pm$ 0.64	8.74 $\pm$ 0.67	8.81 $\pm$ 0.16
	4	15.43 $\pm$ 0.33	8.84 $\pm$ 0.82	9.31 $\pm$ 0.45	8.85 $\pm$ 0.61	8.87 $\pm$ 0.34
ค่าการเกาะตัวกัน <sup>NS</sup> (Cohesiveness, ratio)	0	0.55 $\pm$ 0.02	0.48 $\pm$ 0.08	0.49 $\pm$ 0.07	0.49 $\pm$ 0.09	0.49 $\pm$ 0.08
	2	0.57 $\pm$ 0.03	0.50 $\pm$ 0.04	0.49 $\pm$ 0.02	0.50 $\pm$ 0.04	0.49 $\pm$ 0.03
	4	0.59 $\pm$ 0.05	0.53 $\pm$ 0.06	0.51 $\pm$ 0.05	0.47 $\pm$ 0.07	0.48 $\pm$ 0.04
ค่าความเหนียวคล้ายยาง (Gumminess, N)	0	10.57 $\pm$ 0.26	5.95 $\pm$ 1.73 <sup>a,A</sup>	5.20 $\pm$ 1.08 <sup>a,A</sup>	5.32 $\pm$ 0.85 <sup>a,A</sup>	5.06 $\pm$ 1.49 <sup>a,A</sup>
	2	9.00 $\pm$ 1.43	3.58 $\pm$ 0.44 <sup>a,A</sup>	4.03 $\pm$ 0.06 <sup>a,A</sup>	3.93 $\pm$ 1.06 <sup>a,A</sup>	4.05 $\pm$ 0.38 <sup>a,A</sup>
	4	9.20 $\pm$ 0.73	4.60 $\pm$ 0.94 <sup>a,AB</sup>	5.03 $\pm$ 1.21 <sup>a,A</sup>	3.88 $\pm$ 0.15 <sup>a,AB</sup>	3.66 $\pm$ 0.20 <sup>a,B</sup>

<sup>NS</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

<sup>a</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>a,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>†</sup> สัปดาห์ที่ 0 คือ สิ้นสุดกระบวนการหมัก (วันที่ 4)

<sup>‡</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับสถิติ

ตารางที่ 4.22 (ต่อ) ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis) ต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean  $\pm$  SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
ค่าความยืดหยุ่น <sup>NS</sup> (Springiness, ratio)	0 <sup>†</sup>	0.60 $\pm$ 0.01	0.60 $\pm$ 0.11	0.56 $\pm$ 0.13	0.55 $\pm$ 0.11	0.55 $\pm$ 0.11
	2	0.62 $\pm$ 0.07	0.61 $\pm$ 0.06	0.57 $\pm$ 0.05	0.57 $\pm$ 0.08	0.56 $\pm$ 0.05
	4	0.65 $\pm$ 0.03	0.60 $\pm$ 0.14	0.56 $\pm$ 0.08	0.56 $\pm$ 0.09	0.53 $\pm$ 0.06
ค่าความยากในการเคี้ยว <sup>NS</sup> (Chewiness, Nmm)	0	6.39 $\pm$ 0.80	3.73 $\pm$ 1.55	2.98 $\pm$ 1.13	2.97 $\pm$ 0.93	2.85 $\pm$ 1.42
	2	5.67 $\pm$ 1.13	2.38 $\pm$ 0.23	2.34 $\pm$ 0.21	2.62 $\pm$ 0.76	2.26 $\pm$ 0.37
	4	6.00 $\pm$ 0.77	2.85 $\pm$ 1.29	2.86 $\pm$ 0.62	2.23 $\pm$ 1.07	2.17 $\pm$ 0.58

<sup>NS</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

<sup>†</sup> สัปดาห์ที่ 0 คือ สิ้นสุดกระบวนการหมัก (วันที่ 4)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

#### 4.3.4.7 ค่าการออกซิเดชันของไขมัน (Thio barbituric acid reactive substances)

การศึกษาค่าการออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0,2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.23) พบว่าในสัปดาห์แรกไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำมีค่าการออกซิเดชันของไขมันต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 0.53 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ( $P < 0.05$ ) และเมื่อการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้มีความการออกซิเดชันของไขมันเพิ่มสูงขึ้น โดยสัปดาห์ที่ 4 ไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวพื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่า TBARS ไม่แตกต่างกัน มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ โดยไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางคำ มีค่าต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 1.54 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิที่มีค่าสูงกว่า มีค่าเท่ากับ 1.64 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ( $P < 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ (ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า) มีสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ และโพรแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ สารดังกล่าวจะออกฤทธิ์ในการช่วยชะลอการเกิดอนุมูลอิสระที่ไปกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้

ค่าการออกซิเดชันของไขมันเป็นดัชนีวัดการเปลี่ยนแปลงของอาหารตามระยะเวลาการเก็บรักษาบ่งบอกถึงคุณภาพของอาหารได้ (Picamcla, 2004) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS ในระหว่างการเก็บรักษาเกิดขึ้นเนื่องจากกลุ่มคาร์บอนิล ได้แก่ มาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde) ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันทำปฏิกิริยากับสาร Thiobarbituric acid ส่งผลให้ค่า TBARS เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Obanu *et al.* 1976) จากผลการทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า TBARS มีค่าอยู่ในช่วง 0.53-1.64 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม แสดงว่าผลิตภัณฑ์ยังไม่หืนสามารถบริโภคได้ ซึ่งค่า TBARS ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม สามารถยอมรับได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Van Ba *et al.* (2017) รายงานว่าไส้กรอกหมูหมักในกลุ่มควบคุมมีค่า TBARS เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มีค่าเท่ากับ 1.13, 2.55 และ 3.83 มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ในวันที่ 1, 20 และ 40 ของการเก็บรักษา และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่น รส และความชอบโดยรวม พบว่า มีคะแนนที่ต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ มีคะแนนอยู่ในช่วง 4.00-4.57 จากคะแนนเต็ม 7

**ตารางที่ 4.23** ค่าการออกซิเดชันของไขมัน Thio barbituric acid reactive substances (TBARS: mg MDA/kg sample) ต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean  $\pm$  SD)

ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
0 <sup>†</sup>	0.72 $\pm$ 0.07	0.66 $\pm$ 0.05 <sup>c,A</sup>	0.53 $\pm$ 0.06 <sup>c,B</sup>	0.64 $\pm$ 0.05 <sup>c,A</sup>	0.63 $\pm$ 0.01 <sup>c,A</sup>
2	0.77 $\pm$ 0.04	0.97 $\pm$ 0.02 <sup>b,A</sup>	1.00 $\pm$ 0.08 <sup>b,A</sup>	0.95 $\pm$ 0.01 <sup>b,A</sup>	1.04 $\pm$ 0.04 <sup>b,A</sup>
4	1.04 $\pm$ 0.10	1.64 $\pm$ 0.03 <sup>a,A</sup>	1.54 $\pm$ 0.05 <sup>a,B</sup>	1.58 $\pm$ 0.04 <sup>a,AB</sup>	1.57 $\pm$ 0.01 <sup>a,AB</sup>

<sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>†</sup> สัปดาห์ที่ 0 คือ สิ้นสุดกระบวนการหมัก (วันที่ 4)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

### 4.3.5 คุณภาพทางชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์

#### 4.3.5.1 จำนวนแบคทีเรียกรดแลกติก

การศึกษาจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.24) พบว่าไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยสัปดาห์ที่ 4 ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่ามีค่าสูงสุด (9.30 log cfu/g) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางดำ และข้าวกล้องดอกขาม ( $P > 0.05$ ) ในขณะที่กลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิมีค่าต่ำสุด (9.01 log cfu/g) ( $P < 0.05$ ) โดยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่างมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มทดลอง (ตารางที่ 4.18) เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ต่ำมีผลต่อการเจริญของแบคทีเรียกรดแลกติกสร้างกรดอินทรีย์ออกมาน้อย ทำให้มีจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Hussein *et al.* 2017) สอดคล้องกับการศึกษาของ Sucu *et al.* (2018) รายงานว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีจำนวนแบคทีเรียกรดแลกติกคงที่และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 8.0 log cfu/g เป็น 8.5 log cfu/g ของไส้กรอกหมักในกลุ่มควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน

#### 4.3.5.2 จำนวนยีสต์ รา

การศึกษาจำนวนยีสต์ ราในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.24) พบว่าจำนวนยีสต์มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกกลุ่มทดลอง ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 2.50-3.19 log cfu/g ส่วนจำนวนราตรวจไม่พบในไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มทดลอง มีค่าต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้ ( $< 1$  cfu/g) Sriphochoanart and Skolap (2011) รายงานว่าค่าความเป็นกรดต่างที่ลดลงต่ำกว่า 4.5 เหมาะแก่การเจริญของยีสต์หลายชนิด ดังนั้นการเกิดกรดในผลิตภัณฑ์

ไส้กรอกอีสานอย่างเดียวจึงไม่สามารถลดจำนวนยีสต์ได้ และผลการทดลองให้ผลไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Hussein *et al.* (2017) รายงานว่าไส้กรอกหมักกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเติมกลูตาเมต มีจำนวนยีสต์อยู่ในช่วง 4.17-3.22 log cfu/g โดยมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยในในช่วงของระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 45 วัน

#### 4.3.5.3 จำนวนเชื้อ *E. coli*, *S. aureus* และ *Salmonella* spp.

การศึกษาเชื้อ *E. coli*, *S. aureus* และ *Salmonella* spp. ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.25) พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาตรวจไม่ตรวจพบเชื้อ *E. coli* และ *S. aureus* ในไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มทดลองมีค่าต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้ (<1 cfu/g) และเชื้อ *Salmonella* spp. ตรวจไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกอีสานหมู (2546) รายงานว่าต้องไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp. ในตัวอย่าง 25 กรัม และเชื้อ *S. aureus* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม

ตารางที่ 4.24 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก ยีสต์และรา ต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean ± SD)

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
Lactic acid bacteria (log cfu/g)	0 <sup>†</sup>	8.44 ± 0.32	8.81 ± 0.31 <sup>a,A</sup>	9.07 ± 0.13 <sup>b,A</sup>	8.86 ± 0.25 <sup>b,A</sup>	9.05 ± 0.10 <sup>b,A</sup>
	2	8.51 ± 0.21	8.85 ± 0.32 <sup>a,A</sup>	9.13 ± 0.16 <sup>ab,A</sup>	9.08 ± 0.13 <sup>ab,A</sup>	9.14 ± 0.15 <sup>ab,A</sup>
	4	8.76 ± 0.17	9.01 ± 0.19 <sup>a,B</sup>	9.21 ± 0.10 <sup>a,AB</sup>	9.16 ± 0.10 <sup>a,AB</sup>	9.30 ± 0.20 <sup>a,A</sup>
Yeast (log cfu/g)	0	2.69 ± 0.15	2.54 ± 0.03 <sup>b,A</sup>	2.51 ± 0.01 <sup>b,A</sup>	2.50 ± 0.07 <sup>c,A</sup>	2.50 ± 0.07 <sup>c,A</sup>
	2	2.50 ± 0.79	2.88 ± 0.05 <sup>ab,A</sup>	2.86 ± 0.11 <sup>ab,A</sup>	2.93 ± 0.03 <sup>b,A</sup>	2.86 ± 0.10 <sup>b,A</sup>
	4	3.31 ± 0.05	3.13 ± 0.03 <sup>a,A</sup>	3.06 ± 0.28 <sup>a,A</sup>	3.19 ± 0.08 <sup>a,A</sup>	3.15 ± 0.14 <sup>a,A</sup>
Mold (cfu/g)	0	<1	<1 <sup>‡</sup>	<1	<1	<1
	2	<1	<1	<1	<1	<1
	4	<1	<1	<1	<1	<1

<sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>‡</sup> <1 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

<sup>†</sup> สัปดาห์ที่ 0 คือ สิ้นสุดกระบวนการหมัก (วันที่ 4)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

ตารางที่ 4.25 จำนวนเชื้อ *E. coli*, *S. aureus* และ *Salmonella* spp. ต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>1</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
<i>E. coli</i> (cfu/g)	0 <sup>†</sup>	<1	<1 <sup>‡</sup>	<1	<1	<1
	2	<1	<1	<1	<1	<1
	4	<1	<1	<1	<1	<1
<i>S. aureus</i> (cfu/g)	0	<1	<1	<1	<1	<1
	2	<1	<1	<1	<1	<1
	4	<1	<1	<1	<1	<1
<i>Salmonella</i> spp. (per 25 g)	0	ND	ND	ND	ND	ND
	2	ND	ND	ND	ND	ND
	4	ND	ND	ND	ND	ND

<sup>†</sup> <1 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

ND = Not detected (ตรวจไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม)

<sup>1</sup> สัปดาห์ที่ 0 คือ สิ้นสุดกระบวนการหมัก (วันที่ 4)

#### 4.3.6 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์

##### 4.3.6.1 ค่า 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) radical scavenging activity

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ภายหลังจากทำให้สุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.26) พบว่าในสัปดาห์แรก ไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 69.54-71.25% ซึ่งกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิมีก่าต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ ในขณะที่สัปดาห์ที่ 2 ไส้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขาม มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 70.29% ( $P < 0.05$ ) และในสัปดาห์ที่ 4 ทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) โดยกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขาม มีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 67.45% รองลงมาคือกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องนางคำ และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 67.26, 66.24 และ 66.05% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ (ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า) มีสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์ และโพรแอนโทไซยานิน เป็นองค์ประกอบทำให้มีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ

##### 4.3.6.2 ค่า 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical cation scavenging activity

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตไส้กรอกอีสาน ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ภายหลังจากทำให้สุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.26) พบว่าในสัปดาห์แรก ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 79.02% รองลงมาคือกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า มีค่าเท่ากับ 77.94% ( $P > 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิมีก่าต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 74.23% ( $P < 0.05$ ) จากนั้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระลดลงซึ่งในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) และมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ( $P < 0.05$ ) โดยได้

กรอกอีसानกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 74.52% รองลงมาคือกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องนางดำ มีค่าเท่ากับ 74.10 และ 73.21% ตามลำดับ เนื่องจากข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และโพรแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูงทำให้มีค่าการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS สูงกว่าข้าวหอมมะลิ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity และ ABTS radical cation scavenging activity ของใ้สกัดกรอกอีसानแต่ละกลุ่มพบว่าให้ผลไปในทิศทางเดียวกันโดยวิธีการต้านอนุมูลอิสระ ABTS มีค่าสูงกว่า DPPH เป็นเพราะอนุมูลของ ABTS เป็นอนุมูลที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับเปปไทด์ที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มากกว่านั้นวิธี ABTS เป็นอนุมูลที่ทำปฏิกิริยาในระบบที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายเช่นเดียวกับวิธีการสกัดตัวอย่างที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด ดังนั้นค่าที่วัดได้โดยวิธี ABTS จึงสูงกว่า เนื่องจากวิธี DPPH เป็นอนุมูลที่ทำปฏิกิริยาในสารละลายอินทรีย์จึงมีค่าต่ำกว่า (Moniruzzaman *et al.* 2012)

#### 4.3.6.3 ค่า Reducing power

การทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์สารในผลิตภัณฑ์ใ้สกัดกรอกอีसानที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตใ้สกัดกรอกอีसान ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ภายหลังจากทำให้สุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.26) พบว่าในสัปดาห์แรก ใ้สกัดกรอกอีसानที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.964-0.966 และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 0.958 ( $P>0.05$ ) จากนั้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการรีดิวซ์สารลดลง โดยสัปดาห์ที่ 2 ใ้สกัดกรอกอีसानกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องนางดำ มีค่าสูงสุด (0.869) ซึ่งมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ( $P<0.05$ ) และในสัปดาห์ที่ 4 ใ้สกัดกรอกอีसानใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ และกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ มีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 0.750-0.772 ซึ่งใ้สกัดกรอกอีसानที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุด (0.772)

#### 4.3.6.4 ค่า Total phenolic content

การทดสอบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ใ้สกัดกรอกอีसानที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ ในการผลิตใ้สกัดกรอกอีसान ได้แก่ ข้าวกล้องนางดำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ ภายหลังจากทำให้สุก ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.27) พบว่าในสัปดาห์แรก ใ้สกัด

อีสานที่ใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าไม่แตกต่างกันมีค่าอยู่ในช่วง 80.55-81.61 mg GAE/100g โดยได้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุด (81.61) เนื่องจากเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวกล้องดอกขามมีสีแดงเปลือกหุ้มเมล็ดดังกล่าวมีสารแอนโทไซยานิน และโปรแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ ซึ่งแตกต่างกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิที่มีค่าต่ำกว่า ( $P<0.05$ ) จากนั้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกลดลง โดยสัปดาห์ที่ 2 ได้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่นๆมีค่าเท่ากับ 72.08 mg GAE/100g ( $P<0.05$ ) และในสัปดาห์ที่ 4 ได้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน มีค่าเท่ากับ 67.25 mg GAE/100g เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิมีค่าต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 54.65 mg GAE/100g ( $P<0.05$ ) นอกจากนี้ Rizki *et al.* (2015) กล่าวว่าสารประกอบฟีนอลิกจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent ซึ่งประกอบด้วย phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents สารดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์โดย phenolic hydroxyl groups ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเกิดเป็น phosphotungstic-phosphomolybdic complex ซึ่งมีสีน้ำเงินเข้มซ้อน

จากการทดลองเมื่อพิจารณาผลของการใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า ในการผลิตได้กรอกอีสาน ต่อการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการหมัก และการเปลี่ยนแปลงของการเก็บรักษาพบว่าข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณกรดทั้งหมด ค่าการสูญเสียน้ำหนัก ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม ค่าการออกซิเดชันของไขมัน จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก ยีสต์ ไม่แตกต่างกัน (มีค่าใกล้เคียงกัน) แต่การทดสอบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในได้กรอกอีสานที่ผ่านกระบวนการทำให้สุกพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ซึ่งได้กรอกอีสานกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกขาม มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธีกำจัดอนุมูลอิสระชนิดเปอร์ออกซิในวิธี ABTS radical cation scavenging activity ที่สูงสุดแล้ว ยังมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยอาศัยการวัดปฏิกิริยา reduction จากวิธี reducing power อีกทั้งวิธีการต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกที่สูงอีกด้วย เนื่องจากเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวกล้องดอกขามมีสีแดง เปลือกหุ้มเมล็ดดังกล่าวมีสารแอนโทไซยานินและโปรแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ข้าวกล้องดอกขามมีแนวโน้มการเก็บรักษาได้นานกว่ากลุ่มอื่น และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยสามารถนำข้าวกล้องดอกขามไปใช้ในทางการค้าได้ ในขณะที่ข้าวกล้องดอกขามอาจเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่ช่วยในการเสริมสร้างสุขภาพ และช่วยลดภาวะเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระ หรือภาวะเครียดออกซิเดชันในมนุษย์เราได้ และเมื่อนำข้าวกล้องดอกขามมาทำเป็นได้กรอกอีสานมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงเมื่อรับประทานจึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงคัดเลือกข้าวกล้องดอกขามไปทำการศึกษการเปรียบเทียบวิธีการหมักได้กรอกอีสานที่เหมาะสมต่อคุณภาพและความปลอดภัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging activity, ABTS radical cation scavenging activity และ Reducing power ต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean  $\pm$  SD)

วิธีการทดสอบ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน				
		ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องนางดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
DPPH radical scavenging activity (% inhibition)	0 <sup>†</sup>	60.74 $\pm$ 0.44	69.54 $\pm$ 0.36 <sup>a,A</sup>	71.11 $\pm$ 0.34 <sup>a,A</sup>	71.25 $\pm$ 0.35 <sup>a,A</sup>	69.41 $\pm$ 0.36 <sup>a,A</sup>
	2	54.59 $\pm$ 0.50	67.09 $\pm$ 0.38 <sup>ab,B</sup>	67.25 $\pm$ 0.38 <sup>b,B</sup>	70.29 $\pm$ 0.36 <sup>b,A</sup>	67.45 $\pm$ 0.38 <sup>b,B</sup>
	4	53.67 $\pm$ 0.51	66.05 $\pm$ 0.36 <sup>a,A</sup>	66.24 $\pm$ 0.39 <sup>b,A</sup>	67.45 $\pm$ 0.38 <sup>b,A</sup>	67.26 $\pm$ 0.39 <sup>b,A</sup>
ABTS radical cation scavenging activity (% inhibition)	0	60.14 $\pm$ 0.28	74.23 $\pm$ 0.19 <sup>a,C</sup>	77.34 $\pm$ 0.17 <sup>a,B</sup>	79.02 $\pm$ 0.16 <sup>a,A</sup>	77.94 $\pm$ 0.15 <sup>a,AB</sup>
	2	58.00 $\pm$ 0.30	71.68 $\pm$ 0.21 <sup>ab,B</sup>	74.91 $\pm$ 0.18 <sup>b,A</sup>	75.95 $\pm$ 0.18 <sup>b,A</sup>	75.29 $\pm$ 0.17 <sup>b,A</sup>
	4	56.10 $\pm$ 0.31	68.31 $\pm$ 0.22 <sup>b,B</sup>	73.21 $\pm$ 0.19 <sup>b,A</sup>	74.52 $\pm$ 0.17 <sup>b,A</sup>	74.10 $\pm$ 0.19 <sup>b,A</sup>
Reducing power (OD 700 nm)	0	0.582 $\pm$ 0.00	0.958 $\pm$ 0.01 <sup>a,A</sup>	0.966 $\pm$ 0.01 <sup>a,A</sup>	0.964 $\pm$ 0.02 <sup>a,A</sup>	0.966 $\pm$ 0.01 <sup>a,A</sup>
	2	0.563 $\pm$ 0.01	0.848 $\pm$ 0.01 <sup>b,B</sup>	0.869 $\pm$ 0.01 <sup>b,A</sup>	0.866 $\pm$ 0.02 <sup>b,B</sup>	0.864 $\pm$ 0.00 <sup>b,B</sup>
	4	0.505 $\pm$ 0.00	0.760 $\pm$ 0.01 <sup>c,A</sup>	0.750 $\pm$ 0.01 <sup>c,A</sup>	0.772 $\pm$ 0.02 <sup>c,A</sup>	0.758 $\pm$ 0.03 <sup>c,A</sup>

<sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>†</sup> สัปดาห์ที่ 0 คือ สิ้นสุดกระบวนการหมัก (วันที่ 4)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

ตารางที่ 4.27 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทางการค้า และไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด จำนวน 4 สายพันธุ์ (Mean  $\pm$  SD)

วิธีการทดสอบ	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน				
		ไส้กรอกอีสานทางการค้า <sup>§</sup>	ข้าวหอมมะลิ	ข้าวกล้องงาดำ	ข้าวกล้องดอกขาม	ข้าวกล้องดอกข่า
การต้านอนุมูลอิสระ  Total phenolic content (mg GAE/100 g)	0 <sup>†</sup>	34.48 $\pm$ 0.11	73.06 $\pm$ 0.16 <sup>a,B</sup>	80.72 $\pm$ 0.40 <sup>a,A</sup>	81.61 $\pm$ 0.09 <sup>a,A</sup>	80.55 $\pm$ 0.03 <sup>a,A</sup>
	2	36.63 $\pm$ 0.31	62.79 $\pm$ 0.92 <sup>b,C</sup>	70.38 $\pm$ 0.36 <sup>b,B</sup>	72.08 $\pm$ 0.15 <sup>b,A</sup>	70.30 $\pm$ 0.24 <sup>b,B</sup>
	4	34.45 $\pm$ 0.54	54.65 $\pm$ 0.45 <sup>c,C</sup>	60.02 $\pm$ 0.23 <sup>c,B</sup>	67.25 $\pm$ 0.19 <sup>c,A</sup>	66.84 $\pm$ 0.73 <sup>c,B</sup>

<sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>†</sup> สัปดาห์ที่ 0 คือ สิ้นสุดกระบวนการหมัก (วันที่ 4)

<sup>§</sup> ไส้กรอกอีสานทางการค้าไม่ได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบทางสถิติ

#### 4.4 การเปรียบเทียบวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่เหมาะสมต่อคุณภาพและความปลอดภัย

จากผลการศึกษาข้างต้นได้ทำการคัดเลือกข้าวกล้องดอกขามมาใช้ในการศึกษาวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่เหมาะสมต่อคุณภาพและความปลอดภัย โดยแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน วิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ ในระหว่างกระบวนการหมัก และทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ดังนี้

##### 4.4.1 คุณภาพด้านกายภาพ และเคมีต่อวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธี

###### 4.4.1.1 ค่าความเป็นกรดต่าง และปริมาณกรดทั้งหมด

การศึกษาค่าความเป็นกรดต่างของไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (ตารางที่ 4.28) พบว่าค่าความเป็นกรดต่างในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานมีค่าใกล้เคียงกัน ( $P>0.05$ ) มีค่าเท่ากับ 6.32, 6.30 และ 6.29 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความเป็นกรดต่างลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมักไส้กรอกอีสานแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีอัตราการลดลงของค่าความเป็นกรดต่างมากที่สุด (4.44) ซึ่งมีความแตกต่างกันกับวิธีการหมักอีก 2 วิธี โดยไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีอัตราการลดลงของค่าความเป็นกรดต่างน้อยที่สุด คือ 4.85 ( $P<0.05$ ) ในขณะเดียวกันวิธีการหมักไส้กรอกอีสานแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน ใช้ระยะเวลาในการหมักที่สั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสานในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือผู้ประกอบการรายย่อยได้ นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดต่างที่ต่ำกว่า 4.6 สามารถฆ่าเชื้อก่อโรคได้

การศึกษ ปริมาณกรดทั้งหมดของไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (ตารางที่ 4.28) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานทุกวิธีการหมักมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) มีค่าเท่ากับ 0.40, 0.43 และ 0.45% ตามลำดับ ในขณะเดียวกันทุกกลุ่มทดลองมีปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมักไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มี

ค่าสูงสุด (1.25%) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการหมักวิธีที่ 2 ( $P>0.05$ ) ในขณะที่วิธีการหมักวิธีที่ 1 มีค่าปริมาณกรดทั้งหมดน้อยที่สุด (0.96%) ( $P<0.05$ ) สอดคล้องกับค่าความเป็นกรดต่าง (ตารางที่ 4.28) และผลการทดลองคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Doungkhwan *et al.* (2017) รายงานว่าวิธีการหมักใส่กรอกีสานแบบแขวนที่อุณหภูมิห้องมีค่าความเป็นกรดต่างสูงสุดและปริมาณกรดทั้งหมดต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก

นอกจากนี้ยังมีกระบวนการหมักแบบอื่นที่นอกเหนือจากการทดลองโดยกฤษณา ประภัสสรวัฒนา และคณะ (2552) รายงานว่าวิธีการหมักใส่กรอกีสานแบบบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง มีค่าความเป็นกรดต่างลดลงอย่างต่อเนื่องในวันที่ 0, 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 5.95, 4.93 และ 4.67 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน ซึ่งการลดลงของค่าความเป็นกรดต่างเป็นผลมาจากผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหมักคือ กรดอินทรีย์ กรดแลกติก และกรดอะซิติก เพื่อให้เกิดกรดแลกติกในไส้กรอกีสาน (Bozkurt and Bayram, 2006; Saithong *et al.* 2010) ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียกรดแลกติกที่ย่อยวัตถุดิบ คือข้าวซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตหลักในการเปลี่ยนเป็นไพรูเวต (pyruvate) และกรดแลกติกโดยใช้เอนไซม์ lactate dehydrogenase (ดวงพร คันธโชติ. 2536)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อค่าความเป็นกรดต่าง และปริมาณกรดทั้งหมด (Mean  $\pm$  SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	วิธีการหมักที่แตกต่างกัน		
		จำนวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน	จำนวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 3 วัน	บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน
ค่าความเป็นกรดต่าง	0	6.32 $\pm$ 0.01 <sup>a,A</sup>	6.30 $\pm$ 0.02 <sup>a,A</sup>	6.29 $\pm$ 0.01 <sup>a,A</sup>
	1	5.94 $\pm$ 0.01 <sup>b,A</sup>	5.94 $\pm$ 0.02 <sup>b,A</sup>	5.55 $\pm$ 0.01 <sup>b,B</sup>
	2	5.56 $\pm$ 0.01 <sup>c,A</sup>	5.10 $\pm$ 0.00 <sup>c,B</sup>	4.90 $\pm$ 0.02 <sup>c,C</sup>
	3	5.11 $\pm$ 0.01 <sup>d,A</sup>	4.74 $\pm$ 0.01 <sup>d,B</sup>	4.63 $\pm$ 0.04 <sup>d,C</sup>
	4	4.85 $\pm$ 0.01 <sup>e,A</sup>	4.56 $\pm$ 0.01 <sup>e,B</sup>	4.44 $\pm$ 0.01 <sup>e,C</sup>
ค่าปริมาณกรดทั้งหมด	0	0.40 $\pm$ 0.03 <sup>c,A</sup>	0.43 $\pm$ 0.05 <sup>c,A</sup>	0.45 $\pm$ 0.03 <sup>c,A</sup>
	1	0.59 $\pm$ 0.04 <sup>d,B</sup>	0.63 $\pm$ 0.04 <sup>d,AB</sup>	0.70 $\pm$ 0.05 <sup>d,A</sup>
	2	0.67 $\pm$ 0.02 <sup>e,C</sup>	0.79 $\pm$ 0.02 <sup>e,B</sup>	0.86 $\pm$ 0.04 <sup>e,A</sup>
	3	0.89 $\pm$ 0.06 <sup>b,B</sup>	1.05 $\pm$ 0.03 <sup>b,A</sup>	1.11 $\pm$ 0.02 <sup>b,A</sup>
	4	0.96 $\pm$ 0.01 <sup>a,B</sup>	1.18 $\pm$ 0.02 <sup>a,A</sup>	1.25 $\pm$ 0.07 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b,c,d,e</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

#### 4.4.1.2 ค่าสี (CIE L\*, a\* และ b\*)

การศึกษาค่าสี (CIE L\*, a\* และ b\*) ของไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ที่ผิวสัมผัสด้านนอก (ตารางที่ 4.29) พบว่าค่าความสว่าง (Lightness, L\*) ในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานของวิธีการหมักทั้ง 3 วิธี มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 50.56, 50.62 และ 50.52 ตามลำดับ จากนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลให้วิธีการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีค่า L\* ลดลงตามระยะเวลาการหมัก และวิธีการหมักวิธีที่ 2 และ 3 มีค่า L\* เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ( $P < 0.05$ )

โดยค่าสีแดง (Redness, a\*) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานทั้ง 3 วิธีการหมัก มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) มีค่าเท่ากับ 3.82, 3.87 และ 3.77 ตามลำดับ จากนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลให้วิธีการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีค่า a\* เพิ่มขึ้น ในขณะที่วิธีการหมักวิธีที่ 2 และ 3 มีค่า a\* ลดลงตลอดระยะเวลาการหมัก ( $P < 0.05$ ) จากผลการทดลองพบว่าค่า a\* ของวิธีการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีค่าสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการหมักส่งผลให้เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค (ตารางที่ 4.36) แสดงว่าวิธีการหมักดังกล่าวช่วยในเรื่องของสีส่งผลให้มีความน่ารับประทานมากขึ้น

และค่าสีเหลือง (Yellowness, b\*) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานวิธีการหมักทั้ง 3 วิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) มีค่าเท่ากับ 11.63, 11.71 และ 11.29 ตามลำดับ จากนั้นในวันที่ 1-4 ของทุกวิธีการหมัก มีค่า b\* ลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมักวิธีที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน ( $P > 0.05$ ) ในขณะที่เดียวกันวิธีการหมักวิธีที่ 3 มีค่า b\* ต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 7.40 ( $P < 0.05$ ) สอดคล้องกับการศึกษาของคมแห พิลาสสมบัติ และอังคนา ทุมดี (2558) รายงานว่าค่าสีที่ตรวจพบในไส้กรอกอีสานที่ทำให้เกิดกระบวนการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ มีค่าความสว่าง (L\*) ของทุกกลุ่มมีค่าเพิ่มขึ้นจากวันเริ่มต้น ค่าสีแดง (a\*) ลดลงตลอดระยะเวลาการหมัก ส่วนค่าสีที่ตรวจพบในไส้กรอกอีสานที่ทำให้เกิดกระบวนการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง มีค่าความสว่าง (L\*) ในกลุ่มควบคุมลดลงจากวันเริ่มต้น ค่าสีแดง (a\*) มีค่าเพิ่มขึ้นทุกวัน และค่าสีเหลือง (b\*) มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการหมัก นอกจากนี้ Bowser *et al.* (2014) รายงานว่าค่าสีแดง (a\*) ที่สูงขึ้นเป็นผลมาจากการก่อตัวของ nitrosylmyoglobin ที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่มีกรดอ่อนที่ทำปฏิกิริยากับ myoglobin กับไนไตรท์

#### 4.4.1.3 ค่าความสดสี (Chroma)

การศึกษาค่าความสดสีของไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน 3 วิธี 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ค่าความสดสีเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความอิ่มตัวของสี มีค่าอยู่ในช่วง 0-60 แสดงดังภาคผนวก ง (ตารางที่ 4.30) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานมีค่าไม่แตกต่างกันทั้ง 3 วิธี มีค่าเท่ากับ 12.24, 12.34 และ 11.91 ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการหมักวิธีการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก แต่วิธีการหมักอีก 2 วิธี มีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีค่าต่ำสุด (9.80) หมายความว่าไส้กรอกอีสานมีสีซีดจาง (เทา) ( $P < 0.05$ ) สอดคล้องกับการศึกษาของ Bowser *et al.* (2014) กล่าวว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นทำให้ไส้กรอกเนื้อแคะมีค่าความสดสีลดลง โดย Sanchez-Escalante *et al.* (2003) รายงานว่า myoglobin และ oxymyoglobin มีการออกซิเดชันและนำไปสู่การเกิดสีน้ำตาลของ metmyoglobin ทำให้มีค่าสีลดลง (ค่า chroma ต่ำ) และ Hernandez-Hernandez *et al.* (2009) รายงานว่าค่าสีแดงในเม็ดสีของเนื้อเกิดการออกซิไดซ์ทำให้ค่า chroma ลดลง

#### 4.4.1.4 ค่าองศาของสี (Hue angle)

การศึกษาค่าองศาของสีของไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (ตารางที่ 4.30) ซึ่งค่าองศาของสีเป็นค่าที่แสดงถึงสีแท้จริงที่ปรากฏให้เห็นชัด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศาเซลเซียส โดยแต่ละช่วงแสดงสีแตกต่างกัน (แสดงในภาคผนวก ง) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้ง 3 วิธี ( $P > 0.05$ ) มีค่าเท่ากับ 71.79, 71.74 และ 71.47 ตามลำดับ แสดงว่าไส้กรอกอีสานแสดงถึงสีส้มแดงถึงเหลือง (มีเนวโน้มเข้าใกล้สีเหลือง) จากนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าองศาของสีลดลงทั้ง 3 วิธีการหมัก โดยวันที่ 4 ของวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศมีค่าองศาของสีต่ำสุดคือ 48.90 แสดงว่าไส้กรอกอีสานแสดงถึงสีส้มแดงถึงเหลือง (มีเนวโน้มเข้าใกล้สีส้มแดง) ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีแดงและสีเหลืองที่มีค่าต่ำสุดในวันที่ 4 ของกระบวนการหมัก (ตารางที่ 4.30) มีค่าเท่ากับ 6.33 และ 7.40 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.29 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อค่าสี (CIE L\*, a\* และ b\*) (Mean ± SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	วิธีการหมักที่แตกต่างกัน		
		แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน	แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 3 วัน	บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน
ค่าความสว่าง (Lightness; L*)	0	50.56 ± 0.06 <sup>a,A</sup>	50.62 ± 0.08 <sup>b,A</sup>	50.52 ± 0.06 <sup>c,A</sup>
	1	49.46 ± 0.16 <sup>ab,B</sup>	49.50 ± 0.15 <sup>c,B</sup>	51.44 ± 0.49 <sup>d,A</sup>
	2	48.92 ± 0.70 <sup>b,C</sup>	51.19 ± 0.95 <sup>b,B</sup>	54.14 ± 0.45 <sup>c,A</sup>
	3	44.08 ± 0.72 <sup>c,C</sup>	51.00 ± 0.34 <sup>b,B</sup>	55.31 ± 0.15 <sup>b,A</sup>
	4	43.66 ± 1.25 <sup>c,C</sup>	54.48 ± 0.54 <sup>a,B</sup>	56.33 ± 0.25 <sup>a,A</sup>
ค่าสีแดง (Redness; a*)	0	3.82 ± 0.15 <sup>c,A</sup>	3.87 ± 0.09 <sup>d,A</sup>	3.77 ± 0.06 <sup>b,A</sup>
	1	9.46 ± 0.21 <sup>b,A</sup>	8.93 ± 0.68 <sup>a,A</sup>	6.67 ± 0.47 <sup>a,B</sup>
	2	9.53 ± 0.23 <sup>b,A</sup>	7.89 ± 0.09 <sup>b,B</sup>	6.65 ± 0.07 <sup>a,C</sup>
	3	9.56 ± 0.12 <sup>b,A</sup>	7.60 ± 0.19 <sup>b,B</sup>	6.60 ± 0.26 <sup>a,C</sup>
	4	10.18 ± 0.32 <sup>a,A</sup>	6.50 ± 0.05 <sup>c,B</sup>	6.33 ± 0.34 <sup>a,B</sup>

<sup>a,b,c,d,e</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.29 (ต่อ) ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อค่าสี (CIE L\*, a\* และ b\*) (Mean ± SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	วิธีการหมักที่แตกต่างกัน		
		แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน	แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 3 วัน	บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน
ค่าสีเหลือง (Yellowness; b*)	0	11.63 ± 0.14 <sup>c,AB</sup>	11.71 ± 0.23 <sup>b,A</sup>	11.29 ± 0.10 <sup>a,B</sup>
	1	14.14 ± 0.61 <sup>a,A</sup>	14.23 ± 0.45 <sup>a,A</sup>	10.52 ± 0.85 <sup>a,B</sup>
	2	12.94 ± 0.24 <sup>b,A</sup>	11.57 ± 0.13 <sup>b,B</sup>	8.59 ± 0.20 <sup>b,C</sup>
	3	12.75 ± 0.49 <sup>b,A</sup>	11.22 ± 0.17 <sup>bc,B</sup>	8.40 ± 0.30 <sup>b,C</sup>
	4	12.59 ± 0.95 <sup>bc,A</sup>	10.83 ± 0.18 <sup>c,A</sup>	7.40 ± 1.64 <sup>b,B</sup>

<sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.30 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อค่าความสดสี และค่าองศาของสี (Mean ± SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	วิธีการหมักที่แตกต่างกัน		
		แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน	แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 3 วัน	บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน
ค่าความสดสี (Chroma)	0	12.24 ± 0.09 <sup>c,A</sup>	12.34 ± 0.22 <sup>c,A</sup>	11.91 ± 0.11 <sup>b,A</sup>
	1	17.02 ± 0.58 <sup>a,A</sup>	16.81 ± 0.74 <sup>a,A</sup>	12.47 ± 0.95 <sup>a,B</sup>
	2	16.07 ± 0.31 <sup>ab,A</sup>	14.01 ± 0.15 <sup>b,B</sup>	10.86 ± 0.18 <sup>bc,C</sup>
	3	15.94 ± 0.34 <sup>b,A</sup>	13.56 ± 0.11 <sup>b,B</sup>	10.69 ± 0.24 <sup>bc,C</sup>
	4	16.21 ± 0.87 <sup>ab,A</sup>	12.63 ± 0.15 <sup>c,B</sup>	9.80 ± 1.09 <sup>c,C</sup>
ค่าองศาของสี (Hue angle)	0	71.79 ± 0.85 <sup>a,A</sup>	71.74 ± 0.43 <sup>a,A</sup>	71.47 ± 0.19 <sup>a,A</sup>
	1	56.22 ± 0.96 <sup>b,A</sup>	57.93 ± 1.22 <sup>b,A</sup>	57.57 ± 1.09 <sup>b,A</sup>
	2	53.62 ± 0.39 <sup>c,B</sup>	55.61 ± 0.07 <sup>c,A</sup>	52.26 ± 0.54 <sup>bc,C</sup>
	3	53.08 ± 1.36 <sup>cd,B</sup>	55.89 ± 0.99 <sup>c,A</sup>	51.80 ± 1.73 <sup>bc,B</sup>
	4	50.94 ± 2.20 <sup>d,AB</sup>	59.05 ± 0.51 <sup>b,A</sup>	48.90 ± 1.69 <sup>c,B</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

#### 4.4.1.5 ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (% Weight loss)

การศึกษาค่าการสูญเสียน้ำหนักของไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (ตารางที่ 4.31) พบว่าในวันที่ 1 ของการหมักไส้กรอกอีสาน วิธีการหมักวิธีที่ 1 และ 2 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 5.43 และ 5.90% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน ที่มีค่าต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 0.24% ( $P < 0.05$ ) จากนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยวันที่ 4 ของวิธีการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีค่าการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด (15.11%) และวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด (3.68%) ( $P < 0.05$ ) ซึ่งวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน ส่งผลดีต่อการผลิตเชิงการค้า เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เหมาะสมต่อผู้ประกอบการรายเล็ก และรายย่อยในการผลิตไส้กรอกอีสานต่อไป ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Dounghwan *et al.* (2017) กล่าวว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักของการหมักไส้กรอกอีสานแบบแขนง มีค่าการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด คือ 8.20, 11.28 และ 14.93% ตามลำดับ ในวันที่ 1, 2 และ 3 ของกระบวนการหมัก และ Visessanguan *et al.* (2004) รายงานว่าค่าความเป็นกรดค้างที่ต่ำมีผลต่อการย่อยสลายของโปรตีนในเนื้อจึงไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้เป็นผลทำให้น้ำเยิ้มออกมาเป็นปริมาณมาก

ตารางที่ 4.31 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการหมัก (Mean ± SD)

ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	วิธีการหมักที่แตกต่างกัน		
	แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน	แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 3 วัน	บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน
1	5.43 ± 0.30 <sup>d,A</sup>	5.90 ± 0.16 <sup>b,A</sup>	0.24 ± 0.24 <sup>b,B</sup>
2	8.26 ± 0.50 <sup>c,A</sup>	6.59 ± 0.41 <sup>ab,B</sup>	1.77 ± 0.81 <sup>b,C</sup>
3	11.15 ± 0.24 <sup>b,A</sup>	7.44 ± 0.46 <sup>a,B</sup>	2.02 ± 0.09 <sup>ab,C</sup>
4	15.11 ± 1.02 <sup>a,A</sup>	7.20 ± 0.62 <sup>a,B</sup>	3.68 ± 1.33 <sup>a,C</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

#### 4.4.1.6 ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis)

การศึกษาค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (ตารางที่ 4.32) พบว่าค่าความแข็ง (Hardness, N) ในวันที่ 1 และ 4 ของกระบวนการหมักทุกวิธีมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยวิธีการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีความแข็งมากที่สุด โดยวันที่ 1 มีค่าเท่ากับ 10.91 และวันที่ 4 มีค่าเท่ากับ 21.67 รองลงมาวิธีการหมักที่ 2 และ 3 มีค่าความแข็งต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนักในตารางที่ 4.31 พบว่าวิธีการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งขึ้น

ค่าการเกาะตัวกัน (Cohesiveness, ratio) พบว่าวันที่ 1 ของวิธีการหมักของไส้กรอกอีสานทุกกลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วง 0.46-0.48 ( $P > 0.05$ ) และในวันที่ 4 ทุกวิธีการหมักมีค่าสูงขึ้น โดยวิธีการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีค่าสูงสุด (0.54) และวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีค่าต่ำสุด (0.48) ( $P < 0.05$ )

ค่าความเหนียวคล้ายยาง (Gumminess, N) พบว่าวันที่ 1 ของกระบวนการหมักไส้กรอกอีสานวิธีที่ 1 และ 2 มีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 5.22 และ 4.61 แต่แตกต่างกับวิธีการหมักวิธีที่ 3 ที่มีค่าต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 8.56 ( $P < 0.05$ ) จากนั้นเมื่อสิ้นสุดการหมัก (วันที่ 4) วิธีการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีค่าสูงสุด (11.14) และวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีค่าต่ำสุด (5.36) ( $P < 0.05$ )

ค่าความยืดหยุ่น (Springiness, ratio) พบว่าวันที่ 1 และ 4 ของกระบวนการหมักทั้ง 3 วิธี มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 0.55-0.60

และค่าความยากในการเคี้ยว (Chewiness, Nmm) พบว่าในวันที่ 1 ของกระบวนการหมักไส้กรอกอีสานวิธีที่ 1 และ 2 มีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 2.89 และ 2.68 แต่แตกต่างกับวิธีการหมักวิธีที่ 3 ที่มีค่าต่ำกว่า มีค่าเท่ากับ 1.84 โดยวันที่ 4 ของทุกวิธีการหมักมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งวิธีการหมักแบบแขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีค่าสูงสุด (6.73) และวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีค่าต่ำสุด (3.09) ( $P < 0.05$ ) ซึ่งวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมใกล้เคียงกันกับตารางที่ 4.12 ของไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.32 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture profile analysis) (Mean  $\pm$  SD)

ลักษณะที่ศึกษา	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	วิธีการหมักที่แตกต่างกัน		
		แวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน	แวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 3 วัน	บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน
ค่าความแข็ง (Hardness, N)	1	10.91 $\pm$ 0.20 <sup>b,A</sup>	10.31 $\pm$ 0.34 <sup>b,B</sup>	6.24 $\pm$ 0.37 <sup>b,C</sup>
	4	21.67 $\pm$ 0.20 <sup>a,A</sup>	17.10 $\pm$ 0.27 <sup>a,B</sup>	11.27 $\pm$ 0.80 <sup>a,C</sup>
ค่าการเกาะตัวกัน (Cohesiveness, ratio)	1	0.48 $\pm$ 0.01 <sup>b,A</sup>	0.46 $\pm$ 0.03 <sup>b,A</sup>	0.48 $\pm$ 0.01 <sup>a,A</sup>
	4	0.54 $\pm$ 0.01 <sup>a,A</sup>	0.50 $\pm$ 0.01 <sup>a,B</sup>	0.48 $\pm$ 0.01 <sup>a,C</sup>
ค่าความเหนียวคล้ายยาง (Gumminess, N)	1	5.22 $\pm$ 0.17 <sup>b,A</sup>	4.61 $\pm$ 0.54 <sup>b,A</sup>	8.56 $\pm$ 0.13 <sup>b,B</sup>
	4	11.14 $\pm$ 0.78 <sup>a,A</sup>	8.56 $\pm$ 0.13 <sup>a,B</sup>	5.36 $\pm$ 0.60 <sup>a,C</sup>
ค่าความยืดหยุ่น (Springiness, ratio)	1	0.55 $\pm$ 0.04 <sup>a,A</sup>	0.56 $\pm$ 0.03 <sup>a,A</sup>	0.60 $\pm$ 0.03 <sup>a,A</sup>
	4	0.60 $\pm$ 0.02 <sup>a,A</sup>	0.57 $\pm$ 0.01 <sup>a,A</sup>	0.57 $\pm$ 0.02 <sup>a,A</sup>
ค่าความยากในการเคี้ยว (Chewiness, Nmm)	1	2.89 $\pm$ 0.26 <sup>b,A</sup>	2.68 $\pm$ 0.51 <sup>b,A</sup>	1.84 $\pm$ 0.19 <sup>b,B</sup>
	4	6.73 $\pm$ 0.62 <sup>a,A</sup>	4.89 $\pm$ 0.08 <sup>a,B</sup>	3.09 $\pm$ 0.44 <sup>a,C</sup>

<sup>a,b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

#### 4.4.2 คุณภาพด้านชีวภาพต่อวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธี

##### 4.4.2.1 จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก

การศึกษาจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกของไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (ตารางที่ 4.33) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานวิธีการหมักทั้ง 3 วิธี มีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วง 4.08-4.14 log cfu/g โดยวิธีการหมักวิธีที่ 2 และ 3 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าสูงกว่ากระบวนการหมักวิธีที่ 1 ( $P < 0.05$ ) สอดคล้องกับค่าความเป็นกรดต่าง และปริมาณกรดทั้งหมดในตารางที่ 4.28 จากนั้นในวันที่ 1 ของทุกวิธีการหมักมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกเพิ่มสูงขึ้นอย่างน้อย 2 log cfu/g หลังจากนั้นมีความเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในทุกวิธีการหมัก จากนั้นเมื่อสิ้นสุดการหมัก (วันที่ 4) วิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีค่าสูงสุด (8.79 log cfu/g) และวิธีการหมักแบบแขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีค่าต่ำสุด (8.32 log cfu/g) ( $P < 0.05$ ) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกตลอดระยะเวลาการหมัก 4 วัน เนื่องจากไส้กรอกอีสานเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบหมักเปรี้ยวที่เกิดจากการหมักตามธรรมชาติ เมื่อจุลินทรีย์เกิดการหมักจะทำให้มีค่าความเป็นกรดต่างลดลง ได้แก่ กลุ่ม homofermentative cocci เช่น *P. cerevisiae*, *P. pentosaceus* และ *P. acidilactici* เติบโตไปพร้อมกับ heterofermentative lactobacilli ได้แก่ *L. bravis* และ *L. plantarum* สามารถยับยั้งการเจริญและการออกของสปอร์ของจุลินทรีย์ก่อโรคได้ (วารุณี ประดิษฐ์ศรีกุล, 2545; Azam et al. 2017)

##### 4.4.2.2 จำนวนยีสต์ รา

การศึกษาจำนวนยีสต์ของไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (ภาพที่ 4.1) พบว่าจำนวนยีสต์ในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานทุกวิธีการหมักมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) จากนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นทุกวิธีการหมักมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยวิธีการหมักแบบแขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีจำนวนยีสต์เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก จาก 2.53 เป็น 3.34 log cfu/g อันเนื่องมาจากยีสต์เจริญได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจน ในขณะที่วิธีการหมักวิธีที่ 2 มีจำนวนยีสต์เพิ่มสูงขึ้น จาก 2.61 เป็น 3.07 log cfu/g ในวันแรกจนถึงวันที่ 2 ของกระบวนการหมัก และลดลงในวันที่ 3 แต่วันที่ 4 ยังตรวจพบจำนวนยีสต์อยู่ (2.77 log cfu/g) อันเนื่องมาจากวิธีการหมักวิธีนี้มีการนำไส้กรอกไปแขวนเป็นเวลา

1 วัน ทำให้มีจำนวนยีสต์สูงอยู่ถึงแม้จะไปบรรจุถุงสุญญากาศแล้วก็ตาม ส่วนวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีจำนวนยีสต์สูงขึ้น และค่อยๆลดลง โดยวันที่ 4 ของกระบวนการหมักตรวจไม่พบจำนวนยีสต์ มีค่าต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้ ( $<1$  cfu/g) ส่วนรา (ตารางที่ 4.34) ตรวจไม่พบในทุกวิธีการหมัก ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกอีสาน (2546) รายงานว่ายีสต์และราต้องน้อยกว่า  $10$  cfu/g

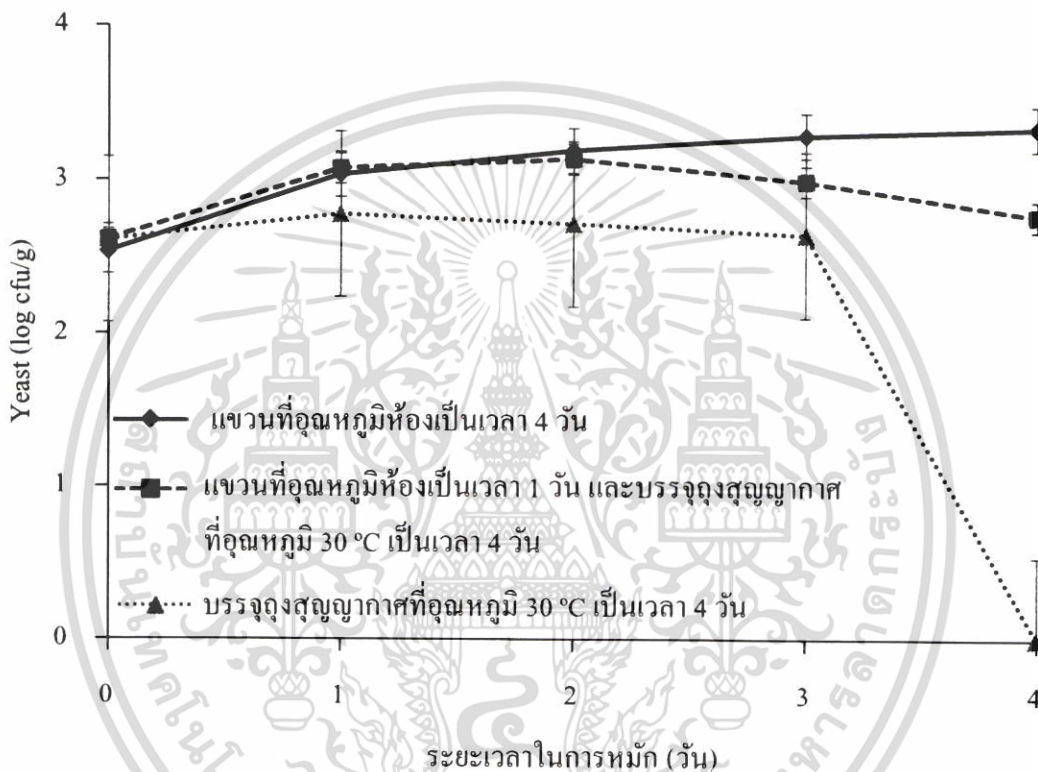
นอกจากนี้การทดลองของกฤษณา ประภัสสรวัฒนา และคณะ (2552) รายงานว่าจำนวนยีสต์จากการหมักไส้กรอกอีสานแบบบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง มีจำนวนเพิ่มขึ้นจากวันแรก  $1 \log$  cfu/g เป็น  $2 \log$  cfu/g หลังการหมัก 2 วัน โดยยีสต์เพิ่มจำนวนขึ้นได้เนื่องจากเจริญในสภาวะที่ความเป็นกรดต่างดีกว่าแบคทีเรียเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการทดลองการเปรียบเทียบวิธีการหมักไส้กรอกอีสานทั้ง 3 วิธี พบว่าไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแบบแขวน เป็นเวลา 4 วัน มีจำนวนยีสต์มากกว่าไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักโดยการบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน เหตุผลเนื่องจากยีสต์และราชอบเจริญในสภาวะที่มีออกซิเจน สอดคล้องกับการศึกษาของคม แฉ พิลาสสมบัติ และอังคณา ทุมดี (2558) กล่าวว่าวิธีการหมักไส้กรอกอีสานแบบแขวน เป็นเวลา 4 วัน ในกลุ่มควบคุมมีจำนวนยีสต์มากที่สุด คือ  $4.78 \log$  cfu/g และวิธีการหมักไส้กรอกอีสานแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน จำนวนยีสต์ที่ตรวจพบน้อยกว่า  $1$  cfu/g ในวันที่ 3 และ 4 ของกระบวนการหมัก เช่นเดียวกับการศึกษาของ Doungkhwan *et al.* (2017) รายงานว่าวิธีการหมักไส้กรอกอีสานแบบแขวนมีจำนวนยีสต์เพิ่มสูงขึ้นจาก  $3.05$  เป็น  $3.93 \log$  cfu/g เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก

#### 4.4.2.3 จำนวน Coliform

การศึกษาจำนวน Coliform ของไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (ภาพที่ 4.2) พบว่าในวันแรกของการผลิตไส้กรอกอีสานทุกวิธีการหมักมีจำนวน Coliform ใกล้เคียงกัน แต่วิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีจำนวนมากกว่ากระบวนการหมักวิธีที่ 1 ( $P < 0.05$ ) มีค่าเท่ากับ  $4.34 \log$  cfu/g จากนั้นวันที่ 1 ของทุกวิธีการหมักมีจำนวน Coliform ลดลงอย่างน้อย  $2 \log$  cfu/g ( $P > 0.05$ ) มีค่าเท่ากับ 2.78, 2.79 และ  $2.77 \log$  cfu/g โดยวันที่ 2-4 ของกระบวนการหมักตรวจไม่พบจำนวน Coliform ซึ่งมีค่าต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้ ( $<1$  cfu/g) เป็นผลมาจากค่าความเป็นกรดต่างลดลง และมีปริมาณกรดที่เพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 4.28) รวมทั้งการเจริญของแบคทีเรียกรดแลกติกที่เพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 4.33) ทำให้มีการสร้างกรดออกมาเพื่อยังยั้งจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ โดย Chevallier *et al.* (2006)

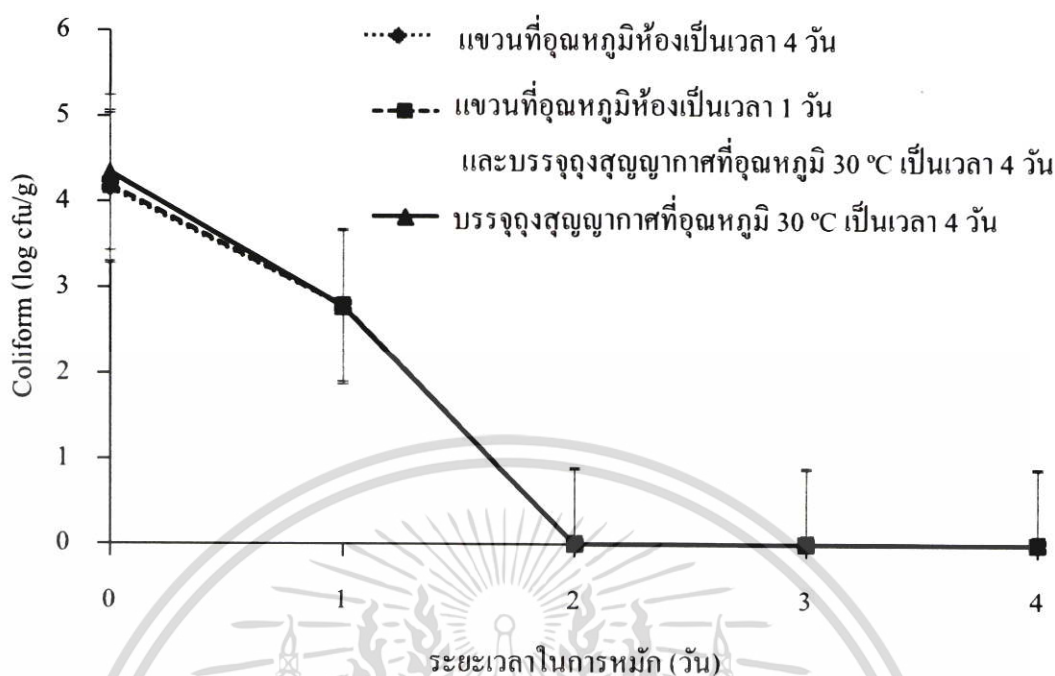
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานว่าในวันแรกที่มีจำนวน Coliform ก่อนข้างสูงอาจเป็นเพราะเชื้อเหล่านี้ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ ใ้สบรรจุ สอดคล้องกับการศึกษาของ Doungkhwan *et al.* (2017) รายงานว่าวิธีการหมักแบบแฉวน และวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ มีจำนวน Coliform เริ่มต้น 3.33-3.42 log cfu/g จากนั้นเมื่อกระบวนการหมักผ่านไป 1 วัน มีจำนวนลดลง 1 log cfu/g และวันที่ 2 ของกระบวนการหมักตรวจไม่พบเชื้อดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าตรวจนับได้ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 cfu/g



ภาพที่ 4.1 ผลของวิธีการหมักได้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อจำนวนยีสต์ (log cfu/g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อจำนวน Coliform (log cfu/g)

#### 4.4.2.4 จำนวน *E. coli*, *Salmonella* spp. และ *S. aureus*

การศึกษาวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธี 1) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แขนงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ต่อจำนวนเชื้อ *E. coli* (ตารางที่ 4.34) และจำนวนเชื้อ *S. aureus* (ตารางที่ 4.35) พบว่าตลอดระยะเวลาการหมักตรวจไม่พบเชื้อดังกล่าว ซึ่งมีค่าต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้ (<1 cfu/g) และจำนวนเชื้อ *Salmonella* spp. ตรวจไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม (ตารางที่ 4.35) นอกจากนี้ Visessanguan *et al.* (2006); Chokesajjawatee *et al.* (2009) รายงานว่ามีการตรวจพบเชื้อ *Salmonella* spp. และ *S. aureus* ในไส้กรอกอีสาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อ *S. aureus* เป็นเชื้อที่ทนต่อเกลือไนไตรท์สามารถสร้างสารพิษที่ทนความร้อนออกมาในอาหารในระหว่างการเจริญเติบโต (González-Fandos *et al.* 1999; Schelin *et al.* 2011; Holck *et al.* 2017) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกอีสานหมู (2546) รายงานว่าต้องไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp. ในตัวอย่าง 25 กรัม และเชื้อ *S. aureus* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติก (Mean  $\pm$  SD)

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	วิธีการหมักที่แตกต่างกัน		
		จำนวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน	จำนวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 3 วัน	บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน
Lactic acid bacteria (log cfu/g)	0	4.08 $\pm$ 0.01 <sup>c,B</sup>	4.12 $\pm$ 0.01 <sup>c,A</sup>	4.14 $\pm$ 0.01 <sup>c,A</sup>
	1	6.24 $\pm$ 0.01 <sup>d,B</sup>	6.26 $\pm$ 0.02 <sup>d,B</sup>	7.01 $\pm$ 0.02 <sup>d,A</sup>
	2	7.94 $\pm$ 0.03 <sup>c,B</sup>	8.13 $\pm$ 0.11 <sup>c,A</sup>	8.28 $\pm$ 0.01 <sup>c,A</sup>
	3	8.24 $\pm$ 0.02 <sup>b,B</sup>	8.35 $\pm$ 0.04 <sup>b,A</sup>	8.38 $\pm$ 0.02 <sup>b,A</sup>
	4	8.32 $\pm$ 0.01 <sup>a,C</sup>	8.57 $\pm$ 0.03 <sup>a,B</sup>	8.79 $\pm$ 0.05 <sup>a,A</sup>

<sup>a,b,c,d,e</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.34 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อจำนวนรา และเชื้อ *E. coli*

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	วิธีการหมักที่แตกต่างกัน		
		จำนวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน	จำนวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 3 วัน	บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน
Mold (cfu/g)	0	<1 <sup>‡</sup>	<1	<1
	1	<1	<1	<1
	2	<1	<1	<1
	3	<1	<1	<1
	4	<1	<1	<1
<i>E. coli</i> (cfu/g)	0	<1	<1	<1
	1	<1	<1	<1
	2	<1	<1	<1
	3	<1	<1	<1
	4	<1	<1	<1

<sup>‡</sup> <1 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

ตารางที่ 4.35 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อจำนวนเชื้อ *S. aureus* และ *Salmonella* spp.

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	วิธีการหมักที่แตกต่างกัน		
		แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน	แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 3 วัน	บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน
<i>S. aureus</i> (cfu/g)	0	<1 <sup>ย</sup>	<1	<1
	1	<1	<1	<1
	2	<1	<1	<1
	3	<1	<1	<1
	4	<1	<1	<1
<i>Salmonella</i> spp. (per 25 g)	0	ND	ND	ND
	1	ND	ND	ND
	2	ND	ND	ND
	3	ND	ND	ND
	4	ND	ND	ND

<sup>ย</sup><1 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

ND = Not detected (ตรวจไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม)

#### 4.4.3 คุณภาพด้านประสาทสัมผัสต่อวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธี

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แฉวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน 2) แฉวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน และ 3) บรรจุถุงสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน โดยทดสอบ 6 ลักษณะ ได้แก่ สี ลักษณะปรากฏ กลิ่นเปรี้ยว รสชาติเปรี้ยว ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ทำการประเมินโดยวิธี Consumer test ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 7 ระดับ (7-Point hedonic scale) โดยใช้ผู้ทดสอบ จำนวน 50 คน (ตารางที่ 4.36) พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่อไส้กรอกอีสานในด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นเปรี้ยว รสชาติเปรี้ยว ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของทุกวิธีการหมักไม่แตกต่างกันทางสถิติ อาจเนื่องมาจากค่าความเป็นกรดค้างของไส้กรอกอีสานทุกวิธีการหมักไม่แตกต่างกันมากนัก ทำให้ผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างกันออกได้ ดังนั้นการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกันส่งผลให้วิธีการหมักแบบแฉวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น รวมถึงค่าความยากในการเคี้ยว และความเหนียวคล้ายยาง ส่วนด้านสีของไส้กรอกอีสานแต่ละกลุ่มมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่าสีแดง ( $a^*$ ) แตกต่างกันของไส้กรอกอีสานก่อนนำมาอบ แต่เมื่อนำมาทำให้สุกด้วยวิธีการอบ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยกลุ่มที่มีวิธีการหมักแบบแฉวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน มีคะแนนความชอบสูงกว่า คือ 5.35 แสดงว่าผู้บริโภคชอบและมีแนวโน้มถึงชอบมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีแดง ( $a^*$ ) ที่มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูน่ารับประทานมากขึ้น และกลุ่มที่มีวิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน มีสีซีดกว่า มีคะแนนความชอบเท่ากับ 5.02 แสดงว่าผู้บริโภคชอบและมีแนวโน้มถึงชอบมากเช่นเดียวกัน แต่วิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ เป็นเวลา 4 วัน ให้ผลดีในด้านการสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่ากลุ่มอื่น อีกทั้งความเปรี้ยว รสชาติเปรี้ยว มีความสม่ำเสมอ โดยทุกวิธีการหมักเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ตารางที่ 4.36 ผลของวิธีการหมักไส้กรอกอีสานที่แตกต่างกัน 3 วิธีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Mean  $\pm$  SD)

คุณลักษณะที่ประเมิน	วิธีการหมักที่แตกต่างกัน		
	แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน	แขวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน และบรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 3 วัน	บรรจุถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 วัน
สี <sup>NS</sup>	5.38 $\pm$ 0.91	5.24 $\pm$ 0.80	5.02 $\pm$ 0.87
ลักษณะปรากฏ <sup>NS</sup>	5.31 $\pm$ 0.87	5.11 $\pm$ 0.78	5.09 $\pm$ 0.85
กลิ่นเปรี้ยว <sup>NS</sup>	5.22 $\pm$ 1.11	5.04 $\pm$ 0.90	5.07 $\pm$ 0.99
รสชาติเปรี้ยว <sup>NS</sup>	5.33 $\pm$ 1.22	5.09 $\pm$ 0.85	5.11 $\pm$ 0.98
ลักษณะเนื้อสัมผัส <sup>NS</sup>	5.33 $\pm$ 0.93	5.13 $\pm$ 0.97	5.29 $\pm$ 0.79
ความชอบโดยรวม <sup>NS</sup>	5.51 $\pm$ 1.01	5.31 $\pm$ 0.67	5.49 $\pm$ 0.59

<sup>NS</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ระดับคะแนนความชอบ โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบ 4 = เฉยๆ 5 = ชอบ 6 = ชอบมาก และ 7 = ชอบมากที่สุด

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวขัดขาวสามเดือน ข้าวกล้องสามเดือน ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกข่า ข้าวกล้องสังข์หยด และข้าวกล้องดอกขาม เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิในท้องตลาดทั่วไป 2 ยี่ห้อ และไส้กรอกอีสานทางการค้า 2 ยี่ห้อ พบว่าการทดสอบไส้กรอกอีสานดิบผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมต่อไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางคำสูงสุด ส่วนในไส้กรอกอีสานสุกผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมต่อไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องนางคำมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องสังข์หยด ตามลำดับ

5.1.2 สำหรับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดข้าวคิบบและข้าวหุงสุกของข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 6 สายพันธุ์ พบว่าข้าวกล้องดอกขามมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH, ABTS, Reducing power และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูง อีกทั้งมีความสามารถในการทนต่อความร้อนเป็นผลทำให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเป็นข้าวหุงสุก ส่วนข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องนางคำ มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระรองลงมาตามลำดับ ซึ่งข้าวพันธุ์ดังกล่าวเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่ดี ช่วยในการเสริมสร้างสุขภาพและช่วยลดภาวะเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระเหมาะสมสำหรับในการนำไปใช้ประโยชน์ร่วมกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยทำเป็นอาหารหมักเนื้อเพื่อสุขภาพ

5.1.3 คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ จำนวน 3 สายพันธุ์ (ข้าวกล้องนางคำ ข้าวกล้องดอกขาม และข้าวกล้องดอกข่า) เปรียบเทียบกับการใช้ข้าวหอมมะลิ พบว่าไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ ไม่แตกต่างกัน (มีค่าใกล้เคียงกัน) ซึ่งข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ให้ผลดีกว่ากลุ่มที่ใช้ข้าวหอมมะลิ ส่วนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในไส้กรอกอีสานสุกส่งผลให้ไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีค่าสูงสุด รองลงมาเป็นกลุ่มที่ใช้ข้าวกล้องดอกข่า และข้าวกล้องนางคำ ซึ่งมีค่าสูงกว่าไส้กรอกอีสานกลุ่มใช้ข้าวหอมมะลิ ทั้งในระหว่างกระบวนการหมักและการเก็บรักษา ( $P < 0.05$ ) โดยไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวกล้องดอกขามมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสามารถทำเป็นอาหารหมักเนื้อเพื่อสุขภาพ อีกทั้งให้สีแดงจากรงควัตถุจากธรรมชาติสามารถนำข้าวกล้องดอกขามมาทดแทนการใช้ไนโตรที่ที่เป็นวัตถุเจือปนอาหาร ในผลิตภัณฑ์อาหารหมักได้

5.1.4 ในด้านความปลอดภัยและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้กรอกอีสานที่ผลิตโดยข้าวกล้องดอกขามที่มีวิธีการหมักแตกต่างกัน ส่งผลให้วิธีการหมักแบบบรรจุถุงสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วันให้ผลดีที่สุด เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการหมักสั้น ผลิตภัณฑ์มีความเปรี้ยวเร็ว เหมาะสำหรั้นำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือผู้ประกอบการรายย่อยต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การศึกษาครั้งนี้พบว่าการใช้ข้าวต่างชนิดกันในการผลิตได้กรอกอีสานต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ มีค่าไม่แตกต่างกัน มีเพียงแต่คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระเท่านั้นที่บ่งบอกได้ว่ามีคุณประโยชน์มากขึ้นเพียงใด ดังนั้นควรมีการศึกษาต่อไปในรูปแบบของการนำข้าวมาใช้ในรูปแบบใหม่ โดยผ่านกระบวนการเป็นข้าวกล้องงอกและนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ได้กรอกอีสาน เนื่องจากมีสาร gamma amino butyric acid (GABA) ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพซึ่งเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ

5.2.2 สามารถส่งเสริมเกษตรกรที่ปลูกข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงกลยุทธ์ด้านการผลิตข้าวไร่อินทรีย์ซึ่งเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการตลาดให้มีความยั่งยืนและมั่นคงในอาชีพ

5.2.3 สามารถนำข้อมูลไปประกอบในการพัฒนาการใช้ข้าวไร่พื้นเมืองภาคใต้ร่วมกับผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ในรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นการปรับเปลี่ยนสินค้าเกษตรเป็นสินค้าที่มีศักยภาพยิ่งขึ้น

## บรรณานุกรม

- กฤษณา ประภัสสรวัฒนา, สาวิตรี วัฒนุญไพศาล และจันทร์พร ผลากรกุล. 2552. “การใช้แบคทีเรียกรดแลกติกที่สร้างสารแบคทีเรียโอซินเป็นหัวเชื้อในการทำไส้กรอกเปรี้ยว.” ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. หน้า 516-523. กรุงเทพฯ.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด, รุ่งทิวา วันสุขศรี, สุนีย์ โชติณีนานาท, และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2544. “การเตรียมและคุณสมบัติของโปรตีนในแป้งข้าว.” ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39. หน้า 584-589. กรุงเทพฯ.
- กอบเกียรติ แสงนิล. 2553. **กิจกรรมด้านออกซิเดชันและปริมาณ สารต้านออกซิเดชันบางชนิดในผลไม้เนื้อ.** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- กานต์ เหมวิหค และสุปรียา ห่องแสง. 2556. **อาหารอีสาน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. แสงแดด.
- คณิต วิจิตพันธุ์ และลักขณา เหล่าไพบูลย์. 2551. **การศึกษาวิธีการเก็บรักษาและการบรรจุหม้าและไส้กรอกอีสานเพื่อขยายเวลาในการเก็บและคงคุณภาพหม้าและไส้กรอกอีสาน.** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- คมแข พิลาสมบัติ และอังคณา ทুমดี. 2558. **การใช้สารแบคทีเรียโอซินและกรดแลกติกร่วมกับการบรรจุสุญญากาศเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการผลิตไส้กรอกอีสาน.** รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- คมแข พิลาสมบัติ. 2550. **จุลินทรีย์เนื้อสัตว์.** เอกสารประกอบการสอน. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- คมแข พิลาสมบัติ. 2556. “จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารหมักเนื้อพื้นเมืองของไทย.” ใน เอกสารการอบรมการแปรรูปเนื้อสัตว์ครั้งที่ 5. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- คมแข พิลาสมบัติ. 2560. “ผลิตภัณฑ์เนื้อหมักเปรี้ยวของไทย.” ใน เอกสารการอบรมการสร้างมูลค่าเพิ่มเนื้อโค. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จันทนา ไพรบูรณ์ และ อดิศักดิ์ จีระภัทร์. 2558. **ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่ายทะเลบางชนิดในประเทศไทย.** รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุฬารัตน์ เศรษฐกุล และพรรณิภา ศิวะพิรุฬห์เทพ. 2555. “การผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ” ใน เอกสารประกอบการอบรมการแปรรูปเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 4. ศูนย์เครือข่ายการวิจัยเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เขาวนิพร ชีพประสพ, ฤทัยทิพย์ อโนมุณี และหาสันต์ สาเหล็กม. 2559. องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณอะไมโนส ในข้าวพันธุ์พื้นเมือง จังหวัดพัทลุง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- ณิชากร ปทุมรังสรรค์. 2558. “ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมในข้าวไร่ภาคตะวันตกของไทย.” ใน การประชุมสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. หน้า 395-399. กรุงเทพฯ.
- ดวงพร กันธโชติ. 2536. การเปรียบเทียบวิธีการผลิตไส้กรอกอีสานด้วยวิธีธรรมชาติและการเติมสารการหมัก. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- ประดิษฐ์ คำหนองไผ่, สุภาพร ร่มโพธิ์ไทร และจิระเดช มณีรัตน์. 2555. แนวทางใหม่ในการลดปริมาณมันหมูแข็งในไส้กรอกเปรี้ยว. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.
- ประพุดดี พรหมสมบูรณ์, ทรงศักดิ์ จันทร์อุดม, อนุสรณ์ วิเศษสิงห์, สุทธัญญา พรหมสมบูรณ์ และกัชชา กาญจนจันทร์. 2559. “การรวบรวมพันธุ์และศึกษาลักษณะทางการเกษตรของข้าว (*Oryza sativa* L.) พันธุ์พื้นเมืองไทย.” วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 34(3): 126-132.
- ประสงค์ เทียนบุญ. 2553. “บทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระกับสุขภาพ.” วารสารคลินิกอาหารและโภชนาการ. 4(2): 69-76.
- ผาณิต รุจิรพิสิฐ, วิชชุดา สังข์แก้ว และเสาวนีย์ เอี้ยวสกุลรัตน์. 2555. “คุณค่าทางโภชนาการของข้าว 9 สายพันธุ์.” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(2): 173-176.
- พงศธร ล้อสุวรรณ, จิตศิริ รัชตนพันธุ์ และศศิธร จันทนวางกูร. 2551. “สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลินทรีย์ของเปลือกผลไม้.” ใน การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พรพิมล กิจวิษา. 2558. “การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบพอลิแซ็กคาไรด์จากเส้นใยของเชื้อเห็ดตับเต่า.” ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะศิลปศาสตร์ และวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ร่วมจิตร นกเขา, ธีรายุทธ์ วิจิตรภาพ, อภิชาติ คุรุสุวรรณ และสุวัฒน์ ไกรมาก. 2550. การรวบรวมพันธุ์ การคัดเลือกพันธุ์ และการอนุรักษ์พันธุ์ข้าวไร่ของจังหวัดชุมพร. รายงานการวิจัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ร่วมจิตร นกเขา. 2559. ข้าวไร่. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <http://upland-rice.blogspot.com/?m=1>. [สืบค้นวันที่ 21 กรกฎาคม 2559].
- รัชฎาพร อุ่นศิริไฉย, จิรวรรณ อุ่นเมตตาอารี และจิตรา สิงห์ทอง. 2554. **ฤทธิ์ทางชีวภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสารสกัดย่านาง เครื่องหมายน้อย และรางจืด**. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- รัชณี คงกาญจฉาย, ริญญ เจริญศิริ, อรพรรณ กริ่งเกษมศรี, อภิชาติ วรณวิจิตร และศิริพัทธ์ เรืองพยัคฆ์. 2551. “ปริมาณธาตุเหล็ก สังกะสี ทองแดง วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และลูทีน ในข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทย.” วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 40(2): 13-32.
- รุจริน ลิ่มสุกวานิช และ จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2555. **ผลิตภัณฑ์เนื้อประเภทต่าง ๆ**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: [http://extension.dld.go.th/th1/index.php?option=com\\_content&view=article&id=219:2012-03-12-08-54-01&catid=49:2012-03-05-10-24-38&Itemid=40](http://extension.dld.go.th/th1/index.php?option=com_content&view=article&id=219:2012-03-12-08-54-01&catid=49:2012-03-05-10-24-38&Itemid=40). [สืบค้นวันที่ 8 กันยายน 2559].
- วันวิสาข์ คำทวี, เอนก ศรีสุวรรณ และ วาสนา ภานุรักษ์. 2558. “ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการอนุรักษ์ข้าวไร่พันธุ์พื้นเมืองพื้นที่อำเภอห้วยแถลง จังหวัดนครราชสีมา.” ใน การประชุมวิชาการนิสิตนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและภูมิสารสนเทศศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. นครราชสีมา.
- วาณี ใจวิเสน. 2555. “การประเมินการต้านการเหินของพืชพื้นบ้านที่บริโภคได้ในแพดตี้หมู.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสุขภาพโภชนาการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วาริน แสงกิติโกมล, เทวิน เทนคำเนาวิ และอชิตยา โรจนสโรส. 2551. “การเปรียบเทียบปริมาณรวมสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวแดง ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ.” วารสารโภชนาการ. 43(2): 25-34.
- วารุณี ประดิษฐ์ศรีกุล. 2545. **เทคโนโลยีการหมักดอง**. คณะวิชาเทคโนโลยีการอาหาร วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยาหน้ตรา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. พระนครศรีอยุธยา.
- ศรัณย์ ลากนิธิพร, ณัฐภา เลหากุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. 2555. “องค์ประกอบทางเคมี ภายภาพและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมะม่วงหิมพานต์.” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(2): 409-412.
- ศศิธร ศิริอมรพรรณ. 2547. **การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ภายภาพ และคุณสมบัติของแป้งของข้าวตัวอย่างในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**. รายงานการวิจัย. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารและโภชนศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศศิวิมล ชื่นอิม อาเหม็ด และ อติสร เสวตวิวัฒน์. 2555. “การใช้ประโยชน์และการตรวจหาแบคทีเรียแลคติกในอาหาร.” *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*. 23(1): 88-101.
- ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. 2557. *สารต้านอนุมูลอิสระในข้าว*. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.
- สมทรง โชติชื่น, อัจฉราพร ณ ลำปาง เนินพลับ, สกฤต มูลคำ, จรัญจิต เพ็งรัตน์, นิธิศ แสงอรุณ และ สำเริง แซ่ตัน. 2559. “คุณค่าทางโภชนาการของข้าวพื้นเมืองไทยบางพันธุ์.” ใน *การประชุมวิชาการข้าว กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคกลางและตะวันตก และกลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคตะวันออก*. ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี กรมการข้าว กองวิจัยและพัฒนาข้าว. สุพรรณบุรี.
- ตัณษชัย ยอดมณี. 2552. “คุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีภาคใต้ของประเทศไทย.” *วิทยานิพนธ์ระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2546. *ไส้กรอกอีสาน*. กรุงเทพมหานคร. สำนักงานมาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สุนันทา ทองทา. 2552. *การพัฒนาข้าวขึ้นรูปกึ่งสำเร็จรูปเพื่ออาหารสุขภาพ*. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุพิศา สมโต. 2547. “ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี และความคงตัวของข้าวไทย.” *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร*.
- สุเมธชา วัฒนสินธุ์. 2545. *จุลชีววิทยาทางอาหาร*. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สุรางค์รัตน์ แดงจระ. 2558. “องค์ประกอบทางเคมี การต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของบอนหอม.” *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*.
- ไสว ประดิษ ณ ถลาง. 2559. *ข้อมูลข้าวอ่อนไร้ดอกข่า*. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <http://dokkha.lnws-hop.com/article>. [สืบค้นวันที่ 8 เมษายน 2559].
- อนันต์ สกฤตกิม. 2551. “อนุมูลอิสระ สารอันตรายต่อสุขภาพและร่างกาย.” *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา*. 8(1): 28-33.
- อมรรัตน์ ถนนแก้ว, อัจฉรัตน์ สุวรรณภักดี และสุริยา เทพหนู. 2558. *หมู่บ้านผลิตข้าวสังข์หยดแบบครบวงจรสู่ความยั่งยืน*. รายงานฉบับสมบูรณ์. คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง พัทลุง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัจฉรา นิยมเฉชา และ มงคล กงเสน. 2557. “วิตามินและแร่ธาตุต่อบทบาทการเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์และการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันโรคสำหรับสัตว์.” **วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์**. 6(1): 120-131.
- อัจฉรา เพิ่ม. 2550. **แบคทีเรียแลกติก**. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : ภาพพิมพ์.
- โอภา วัชรกุลต์. 2550. **สารต้านอนุมูลอิสระ**. กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์.
- Abdel-Hameed, E.S. 2009. “Total phenolic contents and free radical scavenging activity of certain egyptian *figus* species leaf samples.” **Food Chemistry**. 114(4): 1271-1277.
- Abubakar, B., Yakasai, H.M., Zawawi, N. and Ismail, M. 2018. “Compositional analyses of white, brown and germinated forms of popular malaysian rice to offer insight into the growing diet-related diseases.” **Journal of food and drug analysis**. 26: 706-715.
- Ahmed, D., Khan, M.M. and Saeed, R. 2015. “Comparative analysis of phenolics, flavonoids, and antioxidant and antibacterial potential of methanolic, hexanic and aqueous extracts from *Adiantum caudatum* leaves.” **OPEN ACCESS antioxidant**. 4: 394-409.
- Ajit, G. and Yadav, S. 2017. “Antioxidant and antimicrobial profile of chicken sausages prepared after fermentation of minced chicken meat with *Lactobacillus plantarum* and with additional dextrose and starch.” **LWT- Food Science and Technology**. 77:249-258.
- Akcan, T., Mario, E.E. and Serdaroglu, M. 2017. “Antioxidant protection of cooked meatballs during frozen storage by whey protein edible films with phytochemicals from *Laurus nobilis* L. and *Salvia officinalis*.” **LWT- Food Science and Technology**. 77:323-331.
- Alvarez-Parrilla, E., Mercado-Mercado, G., De La Rosa, L.A., López Díaz, J.A., Wall-Medrano, A. and González-Aguilar G.A. 2014. “Antioxidant activity and prevention of pork meat lipid oxidation using traditional mexican condiments (pasilla dry pepper, *achiote*, and mole sauce).” **Food Science and Technology**. 34(2): 371-378.
- Ammor, S., Tauveron, G., Duforu, E. and Chevallier, I. 2006. “Antibacterial activity of lactic acid bacteria against spoilage and pathogenic bacteria isolated from the same meat small-scale facility: 1-screening and characterization of the antibacterial compounds.” **Food Control**. 17: 454-461.
- AOAC. 1984. AOAC Official Methods of Analysis. **Association of Official Analytical Chemists. AOAC international**. 14<sup>th</sup> Ed. Wasington DC: AOAC international.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- AOAC. 2005. Chapter 17 AOAC Official Method 940.36B. p. 2. *In* Horwitz, W. and Latimer, G.W. **Official methods of analysis of AOAC international**. USA: AOAC international.
- AOAC. 2006. Chapter 17 AOAC Official Method 966.23c-24. p. 5-6. *In* Horwitz, W. and Latimer, G.W. **Official methods of analysis of AOAC international**. Maryland: AOAC international.
- Apak, R. Ozyurck, M., Guçlu, K. and Çapanoglu, E. 2016. "Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (et)-based assays." **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 64: 997-1027.
- Axelsson, L., Rud, I., Naterstad, K., Blom, H., Renckens, B., Boekhorst, J., Kleerebezem, M., Hijum, H.V. and Siezen, R.J. 2012. "Genome sequence of the naturally plasmid-free *Lactobacillus plantarum* strain NC8 (CCUG61730)." **Journal of Bacteriology**. 194(9): 2391-2392.
- Azam, M., Mohsin, M., Ijaz, H., Tulain, U.R., Ashraf, M.A., Fayyaz, A., Abadeen, Z. and Kamran, Q. 2017. "Lactic acid bacteria in traditional fermented Asian foods." **Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences**. 30(5): 1803-1814.
- Bagdatli, A. and Kundakci, A. 2016. "Optimization of compositional and structural properties in probiotic sausage production." **Journal of Food Science and Technology**. 53(3): 1679-1689.
- BAM. 2007. Bacteriological Analytical Manual online, Chapter 5 *Salmonella*. [Online]. Available <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm070149.htm>. [23/07/2017].
- BAM. 2016. Bacteriological Analytical Manual online, Chapter 12 *Staphylococcus aureus*. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071429.htm>. [23/07/2017].
- Bowser, T.J., Mwavita, M., Al-sakini, A., Mcglynn, W. and Maness, N.O. 2014. "Quality and shelf life of fermented lamb meat sausage with rosemary extract." **The Open Food Science Journal**. 8: 22-31.
- Bozkurt, H. and Bayram, M. 2006. "Color and textural attributes of sucuk during ripening." **Meat Science**. 73(2): 344-350.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., and Berset, C. 1995. "Use of free radical method to evaluate antioxidant activity." **LWT - Food Science and Technology**. 28(1): 25-30.
- Capaldo, L. and Ravelli, D. 2017. "Hydrogen atom transfer (HAT): A versatile strategy for substrate activation in photocatalyzed organic synthesis." **European Journal of Organic Chemistry**. 10: 2056-2071.
- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M.D.L., Páez-Hernández, M.E., Rodríguez, J.A. and Gálan-Vidal, C.A. 2009. "Chemical studies of anthocyanins." **Food Chemistry**. 113: 859-871.
- Cavalheiro, C.P., Piovesa, N., Terra, L.D.M., Lovato, M., Terra, N.N. and Fries, L.L.M. 2013. "Colorimetric and sensory characteristics of fermented cured sausage with Brazilian ostrich meat addition." **Food Science and Technology**. 33(4): 660-665.
- Chattopadhyay, K. and Chattopadhyay, B.D. 2008. "Effect of nicotine on lipid profile, peroxidation & antioxidant enzymes in female rats with restricted dietary protein." **Indian Journal of Medical Research**. 127: 571-576.
- Chen, Q., Kong, B., Sun, Q., Dong, F. and Liu, Q. 2015. "Antioxidant potential of a unique LAB culture isolated from Harbin dry sausage: *In vitro* and in a sausage model." **Meat Science**. 110:180-188
- Chen, X.Q., Nagao, N., Itani, T. and Irifune, K. 2012. "Anti-oxidative analysis, and identification and quantification of anthocyanin pigments in different color red rice." **Food Chemistry**. 135: 2783-2788.
- Chevallier, I., Ammor, S., Laguët, A., Labayle, S., Castanet, V., Dufour, E. and Talon, R. 2006. "Microbial ecology of a small-scale facility producing traditional dry sausage." **Food Control**. 17(6): 446-453.
- Choi, Y., Jeong, H.S. and Lee, J. 2007. "Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea." **Food Chemistry**. 103(1): 130-138.
- Chokesajjawatee, N., Pornaem, S., Young-Gun Zo, Kamdee, S., Luxananil, P. Wanasen, S. and Valyasevi, R. 2009. "Incidence of *Staphylococcus aureus* and associated risk factors in Nham, a Thai fermented pork product." **Food Microbiol**. 26: 547-551.
- Choola-aied, O., Nokkoul, R. and Dejmanee, S. 2012. "Alpha-tocopherol in Thai rice from chumphon province using high performance liquid chromatography." **Pure and Applied Chemistry International Conference 2012 (PACCON 2012)**. 738-740.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cleveland, J., Montville, T.J., Nes, I.F. and Chikindas, M.L. 2001. "Bacteriocins: safe, natural antimicrobials for food preservation." **International Journal of Food Microbiology**. 71: 1-20.
- De Oliveiraa, S., De Souzaa, G.A., Eckerta, C.R., Silvaa, T.A., Sobralb, E.S., Fáverob, O.A., Ferreirab, M.S.P., Romoffb, P. and Baadera, W. J. 2014. "Evaluation of antiradical assays used in determining the antioxidant capacity of pure compounds and plant extracts." **Química Nova**. 37(3):497-503.
- De Vuyst, L. and Vandamme, E. 1994. "Bacteriocins of Lactic Acid Bacteria: Microbiology." *In* De Vuyst, L. and Vandamme, E. J. (Eds.). **Bacteriocins of lactic acid bacteria: microbiology, genetics and applications**. Blackie Academic and Profession. London. England.
- Deming, D.M., Boileau, T.W. M., Heintz, K.H., Atkinson, C.A. and Erdman, J.W. 2005. Carotenoids in human health and disease *In* Handbook of antioxidants, revised and expanded. 2<sup>nd</sup> (Ed.). Cadenas, E. and Packer, L. Marcel Dekker. Inc. New York.
- Dinis, T.C.P., Madeira, V.M.C. and Almeida, L.M. 1994. "Action of phenolic deriveatives (aceta minophen, salicylate, and 5-aminosalicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxy radical scavengers." **Archives of Biochemistry and Biophysics**. 315: 161-169.
- Doungkhwan, P., Tavitchasri, P., Laosinwattana, C., Ngamyeesoon, N. and Pilasombut, K. 2017. "Comparison of fermentation process in Thai fermented pork sausage (I-san sausage) on quality and safety." **International Journal of Agricultural Technology**. 13(7.3): 2205-2217.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. 1956. "Calorimetric method for determination of sugars and related substances." **Analytical Chemistry**. 28: 350-356.
- Ebrahimzadeh, M.A., Nabavi, S.F., Nabavi, S.M., Eslami, B. and Asgarirad, H. 2010. "Antioxidant and antihemolytic activity of allium paradoxum." **Central European Journal of Biology**. 5(3): 338-345.
- Ebrahimzadeh, M.A., Pourmorad, F. and Hafezi, S. 2008. "Antioxidant activities of Iranian corn silk." **Turkish Journal of Biology**. 32: 43-49.
- Escribano-Bailón, M.T., Santos-Buelga, C. and Rivas-Gonzalo, J.C. 2004. "Anthocyanins in cereals". **Journal of Chromatography A**. 1054: 129-141.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Fratianni, F., De Martino, L., Melone, A., De Feo, V., Coppola, R. and Nazzaro, F. 2010. "Preservation chicken breast meat treated with thyme and balm essential oils." **Journal of Food Science**. 75(8): 528-535.
- Friedrich, J.E. 2001. "Titratable Activity of Acid Tastants." Current Protocols in Food Analytical Chemistry. John Wiley and sons, Tnc, Cargill Incorporated Minneapolis, Minesota.
- Fugelsang, K.C. and Edwards, C.G. 2007. Wine microbiology practical applications and procedures: Chapter 2 lactic acid bacteria. Springer Science+Business Media. New York. USA.
- Ghani, M.A., Barril, C., Danny, R., Bedgood, J. and Prenzler, P.D. 2017. "Measurement of antioxidant activity with the thiobarbituric acid reactive substances assay." **Food Chemistry**. 230: 195-207.
- Gharibzahedi, S.M.T. and Mohammadnabi, S. 2017. "Effect of novel bioactive edible coatings based on jujube gum and nettle oil-loaded nano emulsions on the shelf-life of Beluga sturgeon fillets." **International Journal of Biological Macromolecules**. 95:769-777.
- Gil, M.I., Tomas-Barberan, F.A., Hess-Pierce, B. and Kader, A.A. 2002. "Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin c contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California." **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50(17): 4976-4982.
- González-Fandos, M.E., Sierra, M., García-lopez, M.L., García-fernández, M.C. and Otero, A. 1999. "The influence of manufacturing and drying conditions on the survival and toxinogenesis of *Staphylococcus aureus* in two Spanish dry sausages (chorizo and salchichón)." **Meat Science**. 52(4): 411-419.
- Gülçin, I. 2012. "Antioxidant activity of food constituents: an overview." **Archives of Toxicology**. 86: 345-391.
- Halliwell, B. 2009. "The wanderings of a free radical." **Free Radical Biology and Medicine**. 46: 531-542.
- Heinemann, R.J.B., Fagundes, P. L., Pinto, E. A., Penteadó, M. V. C. and Lanfer-Marquez, U. M. 2005. "Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil." **Journal of Food Composition and Analysis**. 18: 287-296.

- Hernandez-Hernandez, E., Ponce-Alquicira, E., Jaramillo-Flores, M.E. and Guerrero Legarreta, I. 2009 “Antioxidant effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and oregano (*Origanum vulgare* L.) extracts on TBARS and color of model raw pork batters.” **Meat Science**. 81(2): 410-417.
- Hidayat, M.A., Fitri, A. and Kuswand, B. 2017. “Scanometry as microplate reader for high throughput method based on DPPH dry reagent for antioxidant assay.” **Acta Pharmaceutica Sinica B**. 7(3): 395-400.
- Holck, A., Axelsson, L., McLeod, A., Mari Rode, T. and Heir E. 2017. “Health and safety considerations of fermented sausages.” **Journal of Food Quality**. Article ID 9753894.
- Holmer, S., McKeith, R.O., Boler, D.D., Dilger, A. Eggert, J. M., Petry, D., McKeith, F.K., Jones, K. L. and Killefer, J. 2008. “The effect of pH on shelf-life of pork during aging and simulated retail display.” **Meat Science**. 82(1):86-93.
- Hongthong, N., Chumngoen, W. and Tan, F.J. 2016. “Influence of sucrose level and inoculation of *Lactobacillus plantarum* on the physicochemical, textural, microbiological, and sensory characteristics of Isan sausage (Thai fermented pork sausage).” **Animal Science Journal**. 1-22.
- Huang, B., He, J., Ban, X., Zeng, H., Yao, X. and Wang, Y. 2011. “Antioxidant activity of bovine and porcine meat treated with extracts from edible lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizome knot and leaf.” **Meat Science**. 87: 46-53.
- Hui, Y. H., Meunier-Goddik, L., Josephsen, J., Nip, W.K., and Stanfield, P.S. 2004. **Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology**. New York: Marcel Dekker.
- Hussein, F.H., Razavi, S.H. and Djomeh, Z. E. 2017. “Physicochemical properties and sensory evaluation of reduced fat fermented functional beef sausage.” **Applied Food Biotechnology**. 4(2): 93-102.
- Iqbal, S., Bhangar, M.I. and Anwar, F. 2005. “Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan.” **Food Chemistry**. 93: 265-272.
- Jiang, J. and Xiong, Y.L. 2016. “Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review.” **Meat Science**. 120: 107-117.
- Jindaprasert, A., Jirajaroenrat, K. and Swetwivathana. 2014. “Chang in physico-chemical properties of Thai fermented sausage (Isan sausage) inoculated with *Weissellacibaria* SI

- 21.” processing of the 5<sup>th</sup> meat science and technology 25-26 July, Faculty of agricultural technology, KMITL.
- Ju, M.G., Kim, J.H., Jang, H.J., Yeon, S.J., Hong, G.E., Park, W., Seo, H.G. and Lee, C.H. 2016. “Changes of physicochemical and sensory properties of fermented sausage from sulfur-fed pork.” **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**. 36(6): 729-736.
- Juárez, M., Failla, S., Ficco, A., Peña, F., Avilés, C. and Polvillo, O. 2010. “Buffalo meat composition as affected by different cooking methods.” **Food and Bioproducts Processing**. 88(2): 145-148.
- Jung, S., Choe, J.H., Kim, B., Yun, H., Kruk., Z.A. and Jo, C. 2010. “Effect of dietary mixture of gallic acid and linoleic acid on antioxidative potential and quality of breast meat from broilers.” **Meat Science**. 86: 520–526.
- Keawpeng, I. and Meenune, M. 2012. “Physicochemical properties of organic and inorganic Phatthalung Sungyod rice.” **International Food Research Journal**. 3: 857-861.
- Khalid, K. 2011. “An overview of lactic acid bacteria.” **International Journal of Biosciences**. 1(3): 1-13.
- Khem, S., Young, O.A., Robertson, J. D. and Brooks, J.D. 2013. “Development of model fermented fish sausage from marine species: A pilot physicochemical study.” **Food and Nutrition Sciences**. 4: 1229-1238.
- Kim, T.K., Kim, Y.B., Jeon, K.H., Park, J.D., Sung, J.M., Choi, H.W. and Choi, Y.S. 2017. “Effect of fermented spinach as sources of pre-converted nitrite on color development of cured pork loin.” **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**. 37(1):105-113.
- Komprda, T., Smelá, D., Pechová, P., Kalhotka, L., Štencl, J. and Klejdus, B. 2004. “Effect of starter culture, spice mix and storage time and temperature on biogenic amine content of dry fermented sausages.” **Meat Science**. 67(4): 607-616.
- Kukongviriyapan, V. 2014. “Essential role of antioxidant network of vitamins and enzymes.” **Srinagarind Medical Journal**. 29(1): 59-70.
- Kumar, R.S., Kanmani, P., Yuvaraj, N., Paari, K. A., Pattukumar, V. and A rul, V. 2013. “Traditional Indian fermented foods: a rich source of lactic acid bacteria” **International Journal of Food Sciences and Nutrition**. 64(4): 415-428.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Kusznierewicz, B., Smiechowska, A., Bartoszek, A. and Namiesnik, J. 2008. "The effect of heating and fermenting in antioxidant properties of white callage." **Food Chemistry**. 108(3): 853-861.
- Ledesma, E., Laca, A., Rendueles, M., and Díaz, M. 2016. "Texture, color and optical characteristics of a meat product depending on smoking time and casing type." **LWT- Food Science and Technology**. 65: 164-172.
- Lee, B., Seo, J.D., Rhee, J.K. and Kim, C.Y. 2016. "Heated apple juice supplemented with onion has greatly improved nutritional quality and browning index." **Food Chemistry**. 201: 315-319.
- Liang, J., Han, B.Z., Nout, M.J.R. and Hamer, R.J. 2008. "Effects of soaking, germination and fermentation on phytic acid, total and *in vitro* soluble zinc in brown rice. **Food Chemistry** 110: 821-828.
- Liu, L., Guo, J., Zhang, R., Wei, Z., Deng, Y., Guo, J. and Zhang, M. 2015. "Effect of degree of milling on phenolic profiles and cellular antioxidant activity of whole brown rice." **Food Chemistry**. 185: 318-325.
- Lohalaksanadech, S. and Kachenpakdee, N. 2011. "Study on shelf life of fried soft shell crab." **Journal of Fisheries Technology Research**. 5(2): 105-110.
- Loypimai, P., Moongngarm, A. and Naksawat, S. 2017. "Application of natural colorant from black rice bran for fermented Thai pork sausage-Sai Krok Isan." **International Food Research Journal**. 24(4): 1529-1537.
- Luegthanaphol, S., Mongkholkhajornsilp, D., Douglas, S., Douglas, P., Pongsopa L. and Pongamphai, S. 2004. "Extraction of antioxidants from sweet Thai tamarind seed coat preliminary experiments." **Journal Food Engineering**. 63: 247-252.
- Martinez, F.A.C., Balciunas, E.M., Salgado, J.M., Gonzalez, J.M.D., Converti, A. and Oliveira, R.P.S. 2013. "Lactic acid properties, applications and production: A review." **Trends in Food Science and Technology**. 30:70-83.
- Masuzaki, H., Kozuka, C., Okamoto, S., Yonamine, M., Tanaka, H. and Shimabukuro, Michio. 2018. "Brown rice-specific  $\gamma$ -oryzanol as a promising prophylactic avenue to protect against diabetes mellitus and obesity in humans." **Journal of Diabetes Investigation**. 1-8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mau, J.L., Lee, C.C., Chen, Y.P. and Lin, S.D. 2017. "Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of chiffon cake prepared with black rice as replacement for wheat flour." **LWT - Food Science and Technology**. 75: 434-439.
- Meilgaard, M., Civille, G.V. and Carr, B.T. 1987. **Sensory evaluation techniques**. Florida. CRC Press.
- Mejri, L., Vásquez-Villanueva, R., Hassouna, M., Marina, M.L. and García, M.C. 2017. "Identification of peptides with antioxidant and antihypertensive capacities by RP-HPLC-Q-TOF-MS in dry fermented camel sausages inoculated with different starter cultures and ripening times." **Food Research International**. 100: 708-716.
- Mielnik, M.B., Olsen, E., Vogt, G., Adeline, D. and Skrede, G. 2006. "Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored turkey meat." **LWT- Food Science and Technology**. 39: 191-198.
- Miller, G.L. 1959. "Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar." **Analytical Chemistry**. 31:426-428.
- Mira, L., Fernandez, M.T., Santos, M., Rocha, R., Florancio, M.H. and K.R. Jennings. 2002. "Interactions of flavonoids with iron and copper ion: A mechanism for their antioxidant activity." **Free Radical Research**. 36: 1199-1208.
- Moniruzzaman, M., Khalil, M.I., Sulaiman, S.A. and Gan, S.H. 2012. "Advances in the analytical methods for determining the antioxidant properties of honey: A review." **African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines**. 9(1): 36-42.
- Nabavi, S.M., Ebrahimzadeh, M.A., Nabavi, S.F., Hamidinia, A. and Bekhradnia, A.R. 2008. "Determination of antioxidant activity, phenol and flavonoids content of *Parrotia persica* Mey." **Pharmacology online**. 2:560-567.
- Nakao, Y., Konno, A., Taguchi, T., Tawada, T., Kasai, H., Toda, J. and Terasaki, M. 1991. "Curdlan: Properties and application to foods." **Journal of Food Science**. 56: 769-772.
- Nediani, M.T., García, L., Saavedra, L., Martínez, S., Alzogaray S.L. and Fadda, S. 2017. "Adding value to goat meat: biochemical and technological characterization of autochthonous lactic acid bacteria to achieve high-quality fermented sausages." **Microorganisms**. 5(26): 1-17.

- Obanu, Z. A., Ledward, D. A. and Lawrie, R. A. 1976. "The protein of intermediate moisture meat stored at tropical temperature: III differences between muscles." **International Journal of Food Science and Technology**. 11: 187-196.
- Okater, O., and Liu, R. H. 2010. "Health benefits of whole grain phytochemicals." **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 50(3): 193-208.
- Oko, A.O., Ubi, B.E and Dambaba, N. 2012. "Rice cooking quality and physico-chemical characteristics: a comparative analysis of selected local and newly introduced rice varieties in Ebonyi state, Nigeria." **Food and Public Health**. 2(1): 43-49.
- Oliveira, C.E.V., Stamford, T.L.M., Gomes Neto, N.J. and De Souza, E.L. 2010. "Inhibition of *Staphylococcus aureus* in broth and meat broth using synergies of phenolic and organic acids." **International Journal of Food Microbiology**. 137: 312-316.
- Oyaizu, M. 1986. "Studies on products of browning reactions: antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine." **Japan Journal of Nutrition**. 44: 307-315.
- Pan, W.H., Yeh, N.H., Yang, R.Y., Lin, W.H., Wu, W.C., Yeh, W.T., Sung, M.K., Lee, S.H., Chang, S.J., Huang, C.J., Lin, B.F. and Chiang, M.T. 2017. "Vegetable, fruit, and phytonutrient consumption patterns in Taiwan." **Journal of Food and Drug Analysis**. 26(1): 145-153.
- Panomjan, N. and Amornviriyachai, V. 2011. "Genetic diversity of indigenous rice in thale noi basin of phatthalung province by seed morphology." **Hatyai Journal**. 9(1): 25-31.
- Paukatong, K.V. and Kunawasen, S. 2001. "The hazard analysis and critical control points (HACCP) generic model for the production of Thai pork sausage (Nham)." **Berliner Und Munchener Tierarztliche Wochenschrift**. 114. 1-4.
- Pegg, R.B., Amarowicz, R. and Oszmiański, J. 2005. "Confirming the chemical structure of antioxidative trihydroxyflavones from *scutellaria baicalensis* using modern spectroscopic methods." **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**. 14(1): 43-50.
- Pérez, M.J., and Aguilar, F.T. 2013. "Chapter 3 chemistry of natural antioxidants and studies performed with different plants collected in Mexico." 59-61 pp. *In* González, J. (Ed.). **Oxidative stress and chronic degenerative diseases-a role for antioxidants**. Rijeka: Intech.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Phalakornkule, C. and Tanasupawat, S. 2006. "Characterization of lactic acid bacteria from traditional Thai fermented sausages." **Journal of Culture Collections**, 5: 46-56.
- Phromraksa, P., Wiriyacharee, P., Rujanakraikarn, L. and Pathomrungsiyungkul, P. 2004. "Optimizing formulation and fermentation time of Thai fermented pork sausage (Sai Krok Prew) using starter cultures." **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, 3(2): 133-145.
- Pieamcla, N. 2004. **Study of appropriate conditions for frozen ripe durian frying in vacuum fryer**. Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok.
- Pisoschi, A.M. and Negulescu, G.P. 2011. "Methods for total antioxidant determination: A review." **Biochemistry and Analytical Biochemistry**, 1:106.
- Pringsulaka, O., Patarasinpaiboon, N., Suwannasai, N., Atthakor, W. and Rangsiruji, A. 2011. "Isolation and characterisation of a novel Podoviridae-phage infecting *Weissellacibaria* N 22 from Nham, a Thai fermented pork sausage." **Food Microbiology**, 28: 518-525.
- Qiu, C., Sun, W., Cui, C. and Zhao, M. 2012. "Effect of sugar level on physicochemical, biochemical characteristics and proteolysis properties of cantonese sausage during processing." **Journal of Food Quality**, 35: 34-42.
- Qwele, K., Hugo, A., Oyedemi, S.O., Moyo, B., Masika, P.J. and Muchenje, V. 2013. "Chemical composition, fatty acid content and antioxidant potential of meat from goats supplemented with *Moringa (Moringa oleifera)* leaves, sunflower cake and grass hay." **Meat Science**, 93: 455-462.
- Rai, K.P., Zhang, C. and Xia, W.S. 2010. "Effects of pure starter cultures on physico-chemical and sensory quality of dry fermented chinese-style sausage." **Journal of Food Science and Technology**, 47(2): 188-194.
- Rantsiou, K. and Cocolin, L. 2008. "Fermented meat products." 91-118 pp. *In* Cocolin, L. and Ercolini, D. (Ed.). **Molecular techniques in the microbial ecology of fermented foods**. Italy. Springer New York.
- Ratanaburee, A., Kantachote, D., Kantachote, W. and Sukhoom, A. 2013. "Enhancement of  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) in Nham (Thai fermented pork sausage) using starter cultures of *Lactobacillus namurensis* NH2 and *Pediococcus pentosaceus* HN8." **International Journal of Food Microbiology**, 167: 170-176.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. 1999. "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay." **Free Radical Biology and Medicine**. 26: 1231-1237.
- Reddy, G., Altaf, M., Naveena, B. J., Venkateshwar, M. and Kumar, E.V. 2008. "Amyolytic bacterial lactic acid fermentation- A review." **Biotechnology Advances**. 26:22-34.
- Rizki, H., Kzaiber, F., Elharfi, M., Nablousi, A., Ennahli, S. and Hanine, H. 2015. "Assessment of antioxidant capacity of 16 cultivars of sesame (*Sesamum indicum*.L) from different areas." **International Journal of Innovation and Scientific Research**. 18(2): 379-385.
- Saithong, P., Panthavee, W., Boonyaratanakornkit, M. and Sikkhamondhol, C. 2010. "Use of a starter culture of lactic acid bacteria in plaa-som, a Thai fermented fish." **Journal of Bioscience and Bioengineering**. 110(5): 553-557.
- Sanchez-Escalante, A., Djenane, D., Torrescano, G., Beltran, J.A. and Roncales, P. 2003. "Antioxidant action of borage, rosemary, oregano, and ascorbic acid in beef patties packaged in modified atmosphere." **Journal of Food Science**. 68: 339-4.
- Sancho, R.A.S. and MariaPastore, G. 2012. "Evaluation of the effects of anthocyanins in type 2 diabetes." **Food Research International**. 46(1): 378-390.
- Saricoban, C. and Yilmaz, M.T. 2010. "Modelling the effects of processing factors on the changes in color parameters of cooked meatballs using response surface methodology." **World Applied Sciences Journal**. 9(1): 14-22.
- Schelin, J., Wallin-Carlquist, N., Cohn, M.T., Lindqvist, R., Barker, G.C. and Radström, P. 2011. "The formation of *Staphylococcus aureus* enterotoxin in food environments and advances in risk assessment." **Virulence**. 2(6): 580-592.
- Schez, H. and Bonn, G. 1998. **Analytical Chemistry of Carbohydrate**. Georg Thieme Verlag. New York.
- Shahdadi, F., Mirzaei, H.O. and Daraei Garmakhany, A. 2015. "Study of phenolic compound and antioxidant activity of date fruit as a function of ripening stages and drying process." **Journal of Food Science and Technology**. 52(3). 1814-1819.
- Shalaby, E.A. and Shanab, S.M.M. 2013. "Antioxidant compounds, assays of determination and mode of action." **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**. 7(10): 528-539.
- Shamberger, R.J., Shamber, B.A. and Willis, C.E. 1977. "Malonaldehyde content of food." **Journal of Nutrition**. 107: 1404-1409.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Shao, Y., Hu, Z., Yu, Y., Mou, R., Zhu, Z. and Beta, T. 2018. "Phenolic acids, anthocyanins, proanthocyanidins, antioxidant activity, minerals and their correlations in non-pigmented, red, and black rice." **Food Chemistry**. 239: 733–741.
- Sharma, O.P. and Bhat, T.K. 2009. "DPPH antioxidant assay revisited." **Food Chemistry**. 113:1202-1205.
- Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y. and Bao, J. 2009. "Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relation to grain color, size and weight." **Journal of Cereal Science**. 49: 106-111.
- Shirwaikar, A., Rajendran, K. and Punitha, I.S.R. 2006. "In vitro antioxidant studies on the benzyl tetra-tsoquinoline alkaloid berberine." **Biological and Pharmaceutical Bulletin**. 29(9): 1906-1910.
- Shokrzadeh, M. and Ebadi, A.G. 2006. "Study of antioxidative activity in four kinds of cultivated rice grains of Mazandaran province (Iran)." **Pakistan Journal of Biological Sciences**. 9(14): 2723-2725.
- Siddhuraju, P., Mohan, P.S. and Becker, K. 2002. "Studies on the antioxidant activity of Indian Laburnum (*Cassia fistula* L.): a preliminary assessment of crude extracts from stem bark, leaves, flowers and fruit pulp." **Food Chemistry**. 79: 61-67.
- Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., LinsbergerMartin, G., and Berghofer, E. 2011. "Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from thailand, china and sri lanka." **Food Chemistry**. 124: 132-140.
- Sripichanart, W. and Skolpap, W. 2011. "The use of selected lactic acid bacteria starter cultures for improved Thai sausage fermentation." **Journal of Food Processing and Preservation**. 35(3): 291-298.
- Sripichanart, W., Skolpap, W., Scharer, J.M., Moo-Young, M. and Douglas, P.L. 2011. "Effect of amino acid requirements on the growth and lactic acid production of *Pediococcus acidilactici* culture." **African Journal of Microbiology Research**. 5: 3831-3822.
- Sritoomma, K. 2009. "Study on potential of local upland rice cultivars for sustainable agricultural system at chalermpreakiat nan province." Ph. D. dissertation, in Science
- Sucu, C. and Turp, G.Y. 2018. "The investigation of the use of beetroot powder in Turkish fermented beef sausage (sucuk) as nitrite alternative." **Meat Science**. 140: 158-166.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sumczynski, D., Kotásková, E., Druz-bíková, H. and Mlcek, J. 2016. "Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolics compounds and *in vitro* digestibility of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties." **Food Chemistry**. 211:339-346.
- Swetwivathana, A., Zendo, T., Lotong, N., Nakayama, J. and Sonomoto, K. 2003. **Screening of Bacteriocin-producing Bacteria Associated in Nham (Traditional Thai Fermented Meat)**. The 49<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST) Proceedings. pp. 322 - 324. August 31-September 5, 2003. Sao Paulo, Brazil.
- Tamang, J.P., Shin, D.H., Jung, S.J. and Chae, S.W. 2016. "Functional properties of microorganisms in fermented foods." **Frontiers in Microbiology**. 7: 1-13.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L. and Byrne, D.H. 2006. "Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts." **Journal of Food Composition and Analysis**. 19: 669-675.
- Thomas, R., Wan-Nadiah, W.A. and Bhat, R. 2013. "Physiochemical properties, proximate composition, and cooking qualities of locally grown and imported rice varieties marketed in Penang, Malaysia." *International Food Research Journal*. 20(3): 1345-1351.
- Tian, S., Nakamura, K. and Kayahara, H. 2004. "Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice and germinated brown rice." **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 52: 4808-4813.
- Tosukhowong, A., Visessanguan, W., Pumpuang, L., Tepkasikul, P., Panya, A. and Valyasevi, R. 2011. "Biogenic amine formation in Nham, a Thai fermented sausage, and the reduction by commercial starter culture, *Lactobacillus plantarum* BCC 9546." **Food Chemistry**. 129(3): 846-853.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J. Cronin, M.T.D., Mazur, M. and Telser, J. 2007. "Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease." **The International Journal of Biochemistry and Cell Biology**. 39: 44-48.
- Van Ba, H., Seo, H.W., Cho, S.H. Kim, Y.S., Kim, J.H., Ham, J.S., Park, B.Y. and Pil-Nam, S. 2017. "Effects of extraction methods of shiitake by-products on their antioxidant and antimicrobial activities in fermented sausages during storage." **Food Control**. 79:109-118.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Vandeputte, G.E. and Delcour, J.A. 2004. "From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: a focus on rice starch." **Carbohydrate Polymers**. 58(3):24-266.
- Vangpikul, S. and Kansandee, W. 2014. "Screening of lactic acid bacteria from Nham het for production of Nham het adding prebiotics." Research and Development Institute, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. Nonthaburi.
- Vatanyoopaisarn, S., Prapatsornwattana, K., Kuhakongkeat, T. and Phalakornkule, C. 2011. "Potential use of lactic acid bacteria with bacteriocin-like activity against *Staphylococcus aureus* as dual starter cultures in Thai fermented sausage "Sai Krok Prew"." **International Food Research Journal**. 18: 697-704
- Vijayalakshmi, M. and Ruckmani, K. 2016. "Ferric reducing anti-oxidant power assay in plant extract." **Bangladesh Journal of Pharmacology**. 11: 570-572.
- Visessanguan, W., Benjakul, S., Riebroy, S. and Thepkasikul, P. 2004. "Changes in composition and functional properties of proteins and their contributions to Nham characteristics." **Meat Science**. 66(3): 579-588.
- Visessanguan, W., Benjakul, S., Smitinont, T., Kittikun, C., Thepkasikul, P. and Panya, A. 2006. "Changes in microbiological, biochemical and physicochemical properties of Nham inoculated with different inoculum levels of *Lactobacillus curvatus*." **LWT- Food Science and Technology**. 39(7): 814-826.
- Wanangkarn, A., Liu, D.C., Swetwathana, A. and Tan, F.J. 2012. "An innovative method for the preparation of mum (Thai fermented sausages) with acceptable technological quality and extended shelf-life." **Food Chemistry**. 135(2): 515-521.
- Wanangkarn, A., Liu, D.C., Swetwathana, A., Jindaprasert, A., Phraephaisarn, C., Chumnqoen, W. and Tan, F.J. 2014. "Lactic acid bacterial population dynamics during fermentation and storage of Thai fermented sausage according to restriction fragment length polymorphism analysis." **International Journal of Food Microbiology**. 186: 6-67.
- Wang, Y., Li, F., Zhuang, H., Chen, X., Li, L. and Qiao, W. 2016. "Effects of plant polyphenols and a-tocopherol on lipid oxidation, residual nitrites, biogenic amines, and N-nitrosamines formation during ripening and storage of dry cured bacon." **LWT- Food Science and Technology**. 60(1): 199-206.

- Wójciak, K.M., Dolatowski, Z. J. and Okon, A. 2011. "The effect of water plant extracts addition on the oxidative stability of meat products." **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**. 10(2): 175-188.
- Xing, L.J., Hu, Y.Y., Hu, H.Y., Ge, Q.F., Zhou, G.H., and Zhang, W.G. 2016. "Purification and identification of antioxidative peptides from dry-cured xuanwei ham." **Food Chemistry**. 194: 951-958.
- Yawadio, R., Tanimori, S. and Morita, N. 2007. "Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities." **Food chemistry**. 101(4): 1616-1625.
- Yilmaz, I. and Murat Velioglu., H. 2009. **Fermented meat products**. Trivandrum: Keraia India.
- Yim, D.G., Jang, K.H. and Chung, K.U. 2015. "Effect of GdL addition on physico-chemical properties of fermented sausages during ripening." **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**. 35(3): 322-329.
- Yodmanee, S., Karrila, T.T. and Pakdeechanuan, P. 2011. "Physical, chemical and antioxidant properties of pigmented rice grown in southern Thailand." **International Food Research Journal**. 18: 901-906.
- Yongjin, H., Wenshui, X. and Changrong, G. 2006. "Effect of mixed starter cultures fermentation on the characteristics of silver carp sausages." **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. 23: 1021-1031.
- Zakpaa, H.D., Lmbeah, C.M. and Mensah, M.E.E. 2009. "Microbial characterization of fermented meat products on some selected markets in the Kumasi metropolis, Ghana." **African Journal of Food Science**. 3(1): 340-346.
- Zhang, W., Xiao, S., Samaraweera, H., Lee, E.J. and Ahn, D. 2010. "Improving functional value of meat products." **Meat Science**. 86: 15-31.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwelland, S. and Blanchard, C. 2004. "The distribution of phenolic acids in rice." **Food Chemistry**. 87: 401-406.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกอีสานหมู

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน-ไส้กรอกอีสานหมู 144/2546 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2546) มีข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานมีดังนี้

## 1. บทนิยาม

(1.1) ไส้กรอกอีสาน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ทำจากเนื้อหมู มันหมู ข้าวสุก ปรุงรสด้วยเครื่อง ปรุงรส เครื่องเทศและสมุนไพร เช่น น้ำตาลทราย เกลือ กระเทียมบด พริกไทย ลูกผักชี ผสมให้เข้ากันดี นวดจนเหนียว บรรจุในไส้หมูหรือไส้ชนิดอื่นที่บริโภคได้ มักเป็นท่อน ผึ่งไว้ในที่สะอาดและแห้งจนเปรี้ยว และต้องทำให้สุกก่อนรับประทาน

## 2. คุณลักษณะที่ต้องการ

(2.1) ลักษณะทั่วไป - ในภาชนะบรรจุเดียวกัน ต้องมีรูปร่างเดียวกัน และมีขนาดใกล้เคียงกัน มีการกระจายตัวของส่วนประกอบที่ใช้อย่างสม่ำเสมอ มีผิวเรียบ ไม่ฉีกขาด

(2.2) สี - ต้องมีสีที่ติดตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้

(2.3) กลิ่นรส - ต้องมีกลิ่นรสที่ติดตามธรรมชาติที่เกิดจากการหมักและของส่วนประกอบที่ใช้ มีรสเปรี้ยวพอเหมาะ ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นเหม็น

(2.4) ลักษณะเนื้อ - ต้องนุ่มและไม่ร่วน

(2.5) สิ่งแปลกปลอม - ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ขนสัตว์ ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วน หรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์

(2.6) วัตถุเจือปนอาหาร

(2.6.1) ห้ามใช้สีทุกชนิด

(2.6.2) หากมีการใช้วัตถุเจือปนอาหารให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กำหนดดังต่อไปนี้

(2.6.3) โซเดียมไนไตรต์หรือโพแทสเซียมไนไตรต์ (คำนวณเป็นโซเดียมไนไตรต์) ต้องไม่เกิน 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือถ้าใช้ในรูปของผงเพรก (เกลือ: เกลือไนไตรท์ ในอัตราส่วน 94: 6) ต้องไม่เกิน 2 กรัมต่อเนื้อสัตว์ 1 กิโลกรัม

(2.6.4) ฟอสเฟตในรูปของโมโน- ได- และ โพลีของเกลือ โซเดียมหรือโพแทสเซียม อย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกัน (คำนวณเป็น  $P_2O_5$  จากฟอสฟอรัสทั้งหมด) ต้องไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.6.5) โปรตีนต้องไม่น้อยกว่า ร้อยละ 12 โดยน้ำหนักไขมันต้องไม่เกิน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

(2.7) การบรรจุ - ให้บรรจุไส้กรอกอีสานในภาชนะบรรจุที่สะอาดแห้ง ผนึกได้เรียบร้อย และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

(2.8) โปรตีน - ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก

(2.9) ไขมัน - ต้องไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

### 3. จุลินทรีย์

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือ BAM (U.S.FDA) หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า

(3.1) *Salmonella* spp. ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม

(3.2) *Staphylococcus aureus* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม

(3.3) *Escherichai coli* โดยวิธี MPN ต้องไม่น้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

(3.4) ยีสต์และราต้องน้อยกว่า 10 cfu ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

### 4. สุขลักษณะ

(4.1) สุขลักษณะในการทำไส้กรอกอีสานให้เป็นไปตามคำแนะนำตาม GMP

### 5. การบรรจุ

(5.1) ให้บรรจุไส้กรอกอีสานในภาชนะบรรจุที่สะอาดแห้ง ผนึกได้เรียบร้อย และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

(5.2) น้ำหนักสุทธิของไส้กรอกอีสานในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

### 6. เครื่องหมาย และฉลาก

(6.1) ที่ภาชนะบรรจุไส้กรอกอีสานทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือ เครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(6.1.1) ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น ไส้กรอกเปรี้ยว ไส้กรอกอีสาน

(6.1.2) น้ำหนักสุทธิ

(6.1.3) วัน เดือน ปี ที่ทำ และวัน เดือน ปีที่หมดอายุ หรือข้อความว่า “ควรบริโภค ก่อน (วัน เดือน ปี)”

(6.1.4) ชื่อแนะนำในการบริโภค เช่น ทำให้สุกก่อนการบริโภค

(6.1.5) ชื่อแนะนำในการเก็บรักษา เช่น ควรเก็บไว้ในที่เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6.1.6) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

## 7. การชักตัวอย่าง และเกณฑ์ตัดสิน

(7.1) รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ใ้สกัดอีสานที่มีส่วนประกอบเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ในระยะเวลาเดียวกัน

(7.2) การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

(7.2.1) การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบสิ่งแปลกปลอมการบรรจุและเครื่องหมายและฉลากให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุเมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 2.1 ข้อ 2.5 และข้อ 2.6 จึงจะถือว่าใ้สกัดอีสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

(7.2.2) การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป สีกลิ่นรส และลักษณะเนื้อ ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 7.2.1 แล้ว จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุเมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 2 ถึงข้อ 2.4 จึงจะถือว่าใ้สกัดอีสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

(7.2.3) การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบวัตถุเจือปนอาหาร โปรตีนไขมันและจุลินทรีย์ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 5 หน่วยภาชนะบรรจุนำมาทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า 500 กรัม เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3-4 จึงจะถือว่าใ้สกัดอีสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

(7.3) เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างใ้สกัดอีสานต้องเป็นไปตามข้อ (7.2.1) ข้อ (7.2.2) และข้อ (7.2.3) ทุกข้อ จึงจะถือว่าใ้สกัดอีสานรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

## 8. การทดสอบ

(8.1) การทดสอบลักษณะทั่วไป สีกลิ่นรสและลักษณะเนื้อ

(8.1.1) ให้แต่งตั้งคณะผู้ตรวจสอบ ประกอบด้วยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจสอบใ้สกัดอีสานอย่างน้อย 5 คน แต่ละคนจะแยกกันตรวจและให้คะแนนโดยอิสระ

(8.1.2) นำตัวอย่างใ้สกัดอีสานมาตรวจสอบโดยพิจารณาจากใ้สกัดอีสานดิบ และใ้สกัดอีสานที่อบให้สุกที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ตรวจสอบโดยการตรวจพินิจและชิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (8.2) การทดสอบสิ่งแปลกปลอมภาชนะบรรจุและเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ
- (8.3) การทดสอบวัตถุเจือปนอาหาร โปรตีนและไขมัน ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ
- (8.4) การทดสอบจุลินทรีย์ ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือ BAM หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ
- (8.5) การทดสอบน้ำหนักสุทธิ ให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## ค่าความเป็นกรดต่างของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน

ตารางภาคผนวกที่ ข 1 ค่าความเป็นกรดต่างของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิด  
จำนวน 8 สายพันธุ์เปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานทางการค้า (Mean  $\pm$  SD)

พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอีสาน	ค่าความเป็นกรดต่าง (สิ้นสุดการหมัก วันที่ 4)
ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ A	4.78 $\pm$ 0.02 <sup>A</sup>
ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B	4.54 $\pm$ 0.02 <sup>FE</sup>
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A	4.60 $\pm$ 0.03 <sup>D</sup>
ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B	4.65 $\pm$ 0.03 <sup>C</sup>
ข้าวขั้วขาวสามเดือน	4.70 $\pm$ 0.03 <sup>B</sup>
ข้าวกล้องสามเดือน	4.73 $\pm$ 0.03 <sup>B</sup>
ข้าวกล้องนางคำ	4.58 $\pm$ 0.05 <sup>DE</sup>
ข้าวกล้องดอกข่า	4.52 $\pm$ 0.03 <sup>F</sup>
ข้าวกล้องสังข์หยด	4.63 $\pm$ 0.02 <sup>DC</sup>
ข้าวกล้องดอกขาม	4.60 $\pm$ 0.03 <sup>DC</sup>

A,B,C,D,E,F ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### การเตรียมสารเคมี

#### 1. การเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์ค่าการออกซิเดชันของไขมันด้วยเทคนิค Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS)

##### 1.1 Stock MDA 100 mM 1,1,3,3-Tetraethoxypropane (TEP) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

1,1,3,3-Tetraethoxypropane 24.47 ไมโครลิตร

HCL

น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

ทำการผสม 1,1,3,3-Tetraethoxypropane 24.47 ไมโครลิตร ในน้ำกลั่น 950 มิลลิลิตร แล้วเติม HCL 5-6 หยด แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

##### 1.2 7.5% Trichloroacetic Acid (TCA) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

Trichloroacetic Acid 75 กรัม

น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

ทำการละลาย TCA 75 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดย เก็บในขวดสีชา เตรียมใหม่ก่อนใช้งานทุกครั้ง

##### 1.3 0.02 M 2-Thiobarbituric acid ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

2-Thiobarbituric acid 74 กรัม

น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

ทำการละลาย 2-Thiobarbituric acid 74 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยให้ความร้อนพร้อมทั้งใช้แท่ง magnetic เพื่อช่วยในการกระจายตัวของสาร เก็บในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เตรียมใหม่ก่อนใช้งานทุกครั้ง

#### 2. การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ Malonaldehyde (MDA)

ทำการพลามาตรฐานของสารละลาย MDA ในไล้กรอกอีสาน โดยนำ stock MDA มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 0, 1, 2, 4, 6, 8 และ 10  $\mu\text{g/ml}$  จากนั้นนำสารละลาย stock MDA ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานและคำนวณสมการถดถอย  $y = mx + c$  แล้วนำไปคำนวณค่า TBARs value หน่วยเป็น  $\text{mg MDA/kg sample}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

#### 3.1 สารละลาย 0.2 mM 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

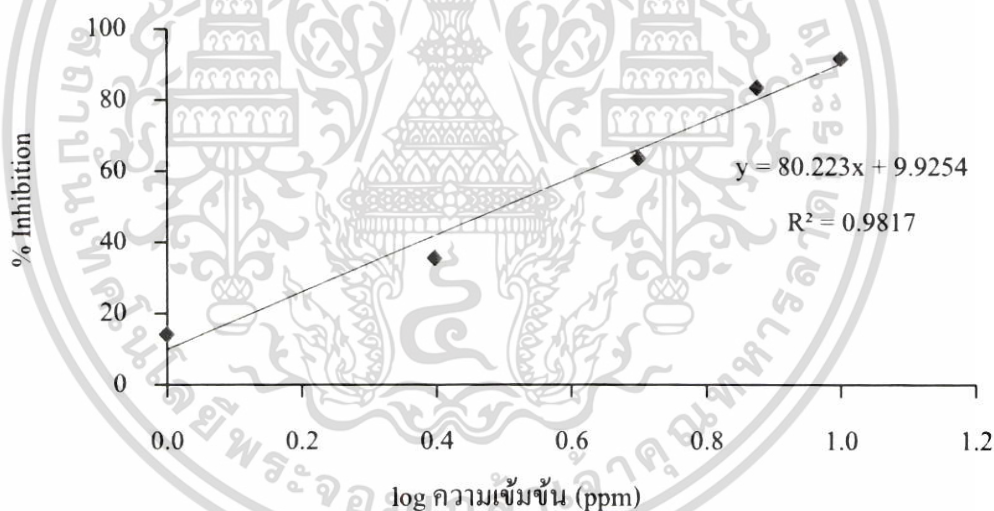
DPPH 0.0076 กรัม

เอทานอล 90%

ซึ่ง DPPH 0.0076 กรัม ละลายในเอทานอล 90% ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เก็บในที่มืด เตรียมใหม่ก่อนใช้งานทุกครั้ง

#### 3.2 สารละลายมาตรฐาน Ascorbic acid

ซึ่ง Ascorbic acid 0.01 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นเจือจางที่ระดับความเข้มข้น 10, 7.5, 5.0, 2.5 และ 1.0 ppm เพื่อทำกราฟมาตรฐาน โดยสร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่า  $\log_{10}$  ของความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกน x) กับ เปอร์เซ็นต์ lethality (แกน y) คำนวณโดยแทนค่า  $y = 50$  ลงในสมการกราฟเส้นตรง จะหาได้ค่า  $x$  และ  $\text{antilog } x$  จะเป็นค่า  $IC_{50}$



หาค่า  $IC_{50}$  (ค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาได้ 50%)

จากกราฟ สมการ  $y = 80.223x + 9.9254$   $R^2 = 0.9817$

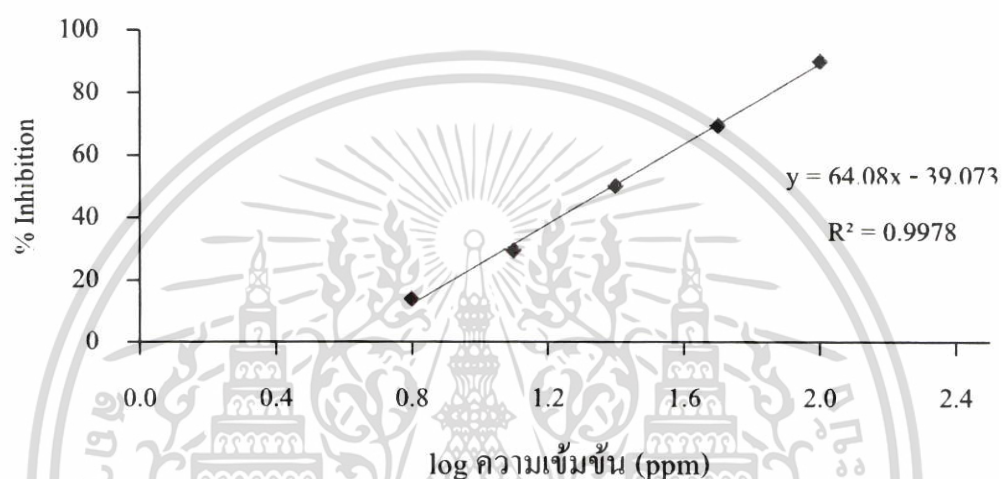
แทนค่า  $= (50 - 9.9254) / 80.223$

$EC_{50} = 3.158 \text{ ppm}$  หรือ 0.000315%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 สารละลายมาตรฐาน Butylated hydroxytoluene (BHT)

ชั่ง BHT 0.01 กรัม ละลายด้วย 95% เอทานอล 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐาน BHT ความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นเจือจางที่ระดับความเข้มข้น 100, 50, 25, 12.5 และ 6.25 ppm เพื่อทำกราฟมาตรฐาน โดยสร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่า  $\log_{10}$  ของความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกน x) กับเปอร์เซ็นต์ lethality (แกน y) คำนวณโดยแทนค่า  $y = 50$  ลงในสมการกราฟเส้นตรง จะหาได้ค่า  $x$  และ  $\text{antilog } x$  จะเป็นค่า  $IC_{50}$



หาค่า  $IC_{50}$  (ค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาได้ 50%)

จากกราฟ สมการ  $y = 64.08x - 39.073$   $R^2 = 0.9978$

แทนค่า  $= (50 + 39.073) / 64.08$

$EC_{50} = 24.548$  ppm หรือ 0.00245%

## 4. การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS

### 4.1 Stock ABTS

ABTS 0.03841 กรัม

Potassium persulfate ( $K_2S_2O_8$ ) 0.0061 กรัม

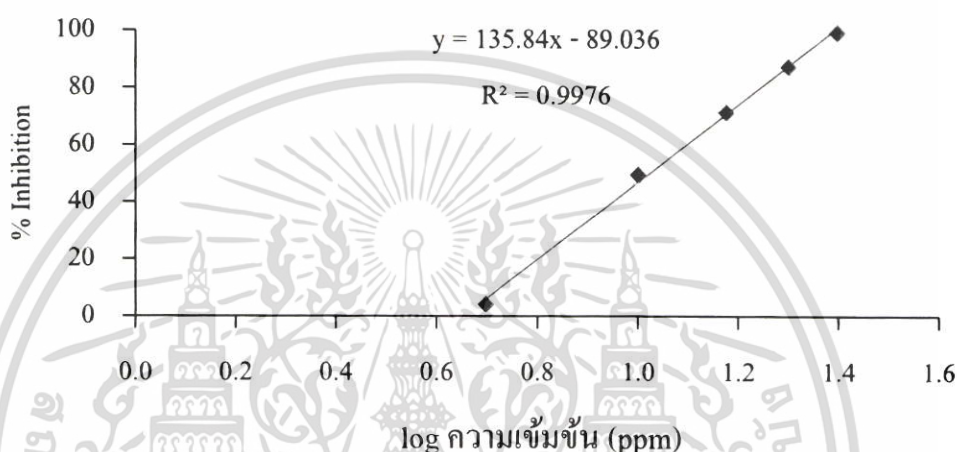
เอทานอล 90%

เตรียม ABTS ความเข้มข้น 7 mM โดยละลาย ABTS ด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร เตรียม  $K_2S_2O_8$  ความเข้มข้น 2.45 mM โดยละลาย  $K_2S_2O_8$  ด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร นำสารทั้งสองมาผสมกัน จากนั้นทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง ก่อนใช้งานนำมาเจือจางด้วยเอทานอล และอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ให้ค่าอยู่ในช่วง  $0.7 \pm 0.02$  นาโนเมตร ก่อนใช้งานทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 สารละลายมาตรฐาน Quercetin acid

ชั่ง Quercetin acid 0.01 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐาน Quercetin acid ความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นเจือจางที่ระดับความเข้มข้น 25, 20, 15, 10 และ 5 ppm เพื่อทำกราฟมาตรฐาน โดยสร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่า  $\log_{10}$  ของความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกน x) กับเปอร์เซ็นต์ lethality (แกน y) คำนวณโดยแทนค่า  $y = 50$  ลงในสมการกราฟเส้นตรง จะหาได้ค่า x และ antilog x จะเป็นค่า  $IC_{50}$



หาค่า  $IC_{50}$  (ค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาได้ 50%)

จากกราฟ สมการ  $y = 135.84x - 89.036$   $R^2 = 0.9976$

แทนค่า  $= (50 + 89.036) / 135.84$

$IC_{50} = 10.5566$  ppm หรือ 0.00106%

## 5. การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Reducing power

### 5.1 สารละลาย 0.2 M Phosphate buffer (pH 6.6) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

Sodium dihydrogen phosphate anhydrous ( $NaH_2PO_4$ ) 4.8 กรัม

Di-Sodium hydrogen orthophosphate ( $Na_2HPO_4$ ) 2.8392 กรัม

น้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

ชั่ง  $NaH_2PO_4$  2.8392 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 312.50 มิลลิลิตร และ  $Na_2HPO_4$  ละลายในน้ำกลั่น 187.50 มิลลิลิตร จะได้ Phosphate buffer (pH 6.6)

### 5.2 สารละลาย 1% Potassium ferricyanide ( $K_3Fe(CN)_6$ ) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

Phosphate buffer (pH 6.6)

100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$K_3Fe(CN)_6$  1 กรัม  
 ชั่ง  $K_3Fe(CN)_6$  1 กรัม ละลายใน Phosphate buffer (pH 6.6) 100 มิลลิลิตร

### 5.3 สารละลาย 10% Trichloroacetic Acid (TCA) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

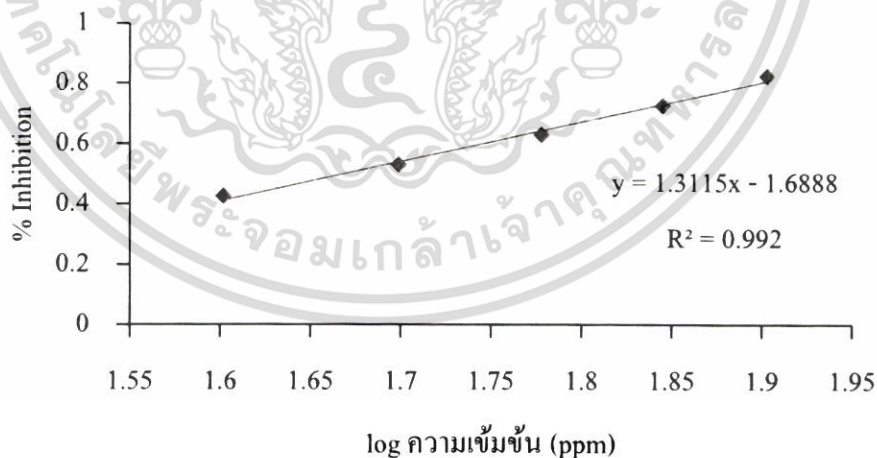
Trichloroacetic Acid 100 กรัม  
 น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร  
 ชั่ง TCA 100 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากัน

### 5.4 สารละลาย 1% Trichloroacetate acid, Iron (III) chloride ( $FeCl_3$ ) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

$FeCl_3$  0.1 กรัม  
 น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร  
 ชั่ง  $FeCl_3$  0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากัน

### 5.5 สารละลายมาตรฐาน Ascorbic acid

ชั่ง Ascorbic acid 0.01 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นเจือจางที่ระดับความเข้มข้น 80, 70, 60, 50 และ 40 ppm เพื่อทำกราฟมาตรฐาน และหาค่า linear regression ( $EC_{50}$ )



หาค่า  $EC_{50}$  (ค่าความเข้มข้นที่ดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.5)

จากกราฟ สมการ  $y = 1.3115x - 1.6888$   $R^2 = 0.992$

แทนค่า =  $(0.5 + 1.6888) / 1.3115$

$EC_{50} = 44.66$  ppm หรือ 0.00467%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

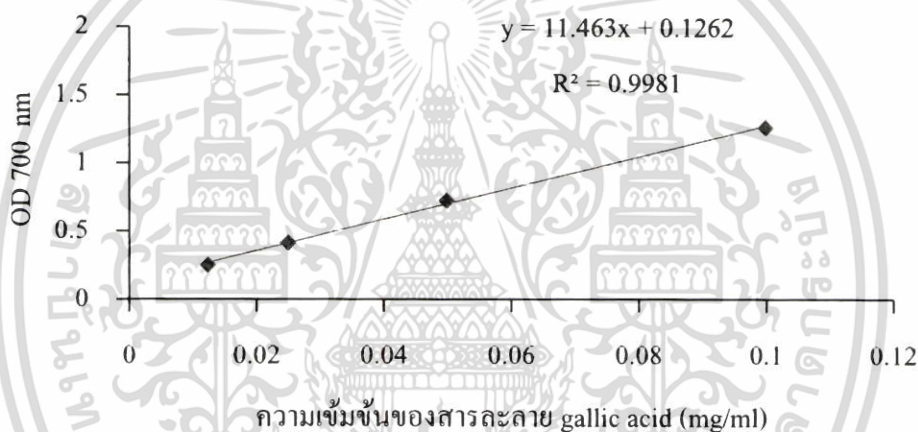
## 6. การเตรียมสารสำหรับวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Phenolic content

### 6.1 สารละลาย 7.5% Sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

$\text{Na}_2\text{CO}_3$	75 กรัม
น้ำกลั่น	1,000 มิลลิลิตร
ชั่ง $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 75 กรัม ละลายในในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากัน	

### 6.2 สารละลายสารมาตรฐาน Gallic acid 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ชั่ง Gallic acid 0.02 กรัม ละลายในเอทานอล 90% ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นเจือจางที่ระดับความเข้มข้น 0.0125, 0.025, 0.05 และ 0.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อทำกราฟมาตรฐานและหาค่า linear regression



จากสมการ  $y = 11.463x + 0.1262$   $R^2 = 0.9981$

แทนค่า OD ที่วัดได้จากสมการ  $= (OD - 0.1262) / 11.462$  จะได้  $\text{๑}$  มิลลิกรัมต่อหลอด

ทำการเปรียบเทียบหาน้ำหนักของตัวอย่าง 100 กรัม คิดที่ 10,000 ppm

ในตัวอย่าง 0.01 กรัม มี  $\text{๑}$  มิลลิกรัมต่อหลอด

ในตัวอย่าง 100 กรัม มี  $(\text{๑} \times 100) / 0.01 = \text{๑๐๐}$  mg GAE/100g

### 7. 0.1 N Sodium hydroxide (NaOH)

NaOH	4 กรัม
น้ำกลั่น	1,000 มิลลิลิตร

ชั่ง NaOH 4 กรัม ละลายในในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากัน จากนั้นเตรียม

0.1 N Lactic acid เพื่อทำการเปรียบเทียบกลับกับ 0.1 N NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

## การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ และการวัดสีระบบ CIE

## 1. สารละลายเกลือแกงร้อยละ 0.85 ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

Sodium Chloride	8.5 กรัม
-----------------	----------

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปทำให้ปลอดจุลินทรีย์ด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

2. MRS agar + CaCO<sub>3</sub> ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

MRS	52.2 กรัม
Agar	15 กรัม
CaCO <sub>3</sub>	5 กรัม
น้ำกลั่น	1,000 มิลลิลิตร

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่นให้เข้ากัน จากนั้นนำไปทำให้ปลอดจุลินทรีย์ด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

## 3. สารละลาย Kovac's Indole Reagent

Amylose iso-amylalcohol	150 มิลลิลิตร
P-Dimethyl aminobenzaldehyde	10 กรัม
Conc. HCl	50 มิลลิลิตร

ละลาย Aldehyde ลงใน Alcohol แล้วค่อยๆ เติมกรดลงไปเก็บในขวดสีชาเก็บในตู้เย็น

## 4. Chromocult coliform (CC) agar ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

Chromocult coliform (CC) agar	26.5 กรัม
น้ำกลั่น	1,000 มิลลิลิตร

เตรียมอาหาร Chromocult coliform (CC) agar โดยการนำอาหารมาผสมกับน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว จากนั้นนำอาหารไปผ่านความร้อนให้สารละลายละลาย โดยห้ามนำไปฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5. สารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 70

95% ethanol	737 มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	233 มิลลิลิตร

สารละลายเอทานอลผสมกับน้ำกลั่นและเขย่าให้เข้ากัน เก็บในขวดสีชาปิดฝาสนิท

### 6. Malt agar ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

Malt agar	30 กรัม
Agar	15 กรัม
น้ำกลั่น	1,000 มิลลิลิตร

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่นให้เข้ากันจากนั้นนำไปทำให้ปลอดจุลินทรีย์ด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

### 7. Baird-Parker agar (BP) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

Baird-Parker agar	58 กรัม
น้ำกลั่น	1,000 มิลลิลิตร
Egg yolk	9 มิลลิลิตร
Potassium tellurite	40 มิลลิลิตร

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่นให้เข้ากันจากนั้นนำไปทำให้ปลอดจุลินทรีย์ด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

#### การเตรียม egg yolk solution

- นำไข่ไก่สดมาล้างเปลือกให้สะอาดจากนั้นนำไปแช่ใน 70% ethyl alcohol เป็นเวลา 15 นาที
- นำไข่ไก่มาวางในบีกเกอร์ที่มีกระดาษกรองปลอดเชื้อ ทิ้งไว้ให้แอลกอฮอล์ระเหย
- ตอกไข่ไก่ในตู้ปลอดเชื้อ ทำการแยกไข่ขาวออกให้หมด แยกส่วนไข่แดงลงในบีกเกอร์ ปลอดเชื้อ เติมน้ำแดงลงในขวดคูเรนขนาดปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่มีน้ำเกลือ 0.85% 140 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ใส่ไข่แดงจนมีปริมาตรรวม 200 มิลลิลิตร เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน เก็บไว้ที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (เตรียมใหม่ทุกครั้ง)

### การเตรียม 1% Potassium tellurite (PT)

- 1) ชั่ง Potassium tellurite 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ใส่น้ำกลั่นทำการคนจนละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร
- 2) นำ Potassium tellurite ที่ปรับปริมาตรแล้ว นำไปทำให้ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

### การเตรียม egg yolk-tellurite emulsion

- 1) นำ 1% Potassium tellurite ที่เตรียมไว้ ปริมาตร 40 มิลลิลิตร (ใช้กระบอกตวงปลอดเชื้อ ผสมกับ egg yolk solution ที่เตรียมไว้)
- 2) ทำการเขย่าให้เข้ากัน จะได้ egg yolk-tellurite 240 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้ (เตรียมใหม่ทุกครั้ง)

### การเตรียม Baird-Parker medium

- 1) เตรียมอาหาร Baird-Parker agar 285 มิลลิลิตร นำไปทำให้ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที
- 2) นำขวดอาหารไปแช่ในอ่างปรับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เมื่ออาหารเย็นลง เติม egg yolk-tellurite ลงขวดอาหาร 15 มิลลิลิตร

### 8. Trypticase Soy Broth (TSB) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

TSB	30 กรัม
น้ำกลั่น	1,000 มิลลิลิตร

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่นให้เข้ากันจากนั้นนำไปทำให้ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

### 9. Tetrathionate Broth (TTB)

Peptone form casein	2.5 กรัม
Peptone from meat	2.5 กรัม
Bile salt mixture	1 กรัม
Calcium carbonate	10 กรัม
Sodium thiosulfate	30 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่นที่ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ให้เข้ากันจากนั้นนำไปใส่สารละลาย iodide potassium iodine solution ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

#### 10. Selenite Cystine Broth (SCB)

Peptone form casein	5 กรัม
Cystine	0.01 กรัม
Lactose	4 กรัม
Phosphate buffer	10 กรัม
Sodium hydrogen selenite	4 กรัม

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่นที่ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร นำไปละลายด้วยไมโครเวฟ ห้ามนำอาหารไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ

#### 11. Xylose Lysine Deoxycholate agar (XLD agar)

Xylose	3.5 กรัม
L-Lysine	5.0 กรัม
Lactose	7.5 กรัม
Sucrose	7.5 กรัม
Sodium Chloride	5.0 กรัม
Yeast Extract	3.0 กรัม
Phenol Red	0.08 กรัม
Sodium Desoxycholate	2.5 กรัม
Sodium Thiosulfate	6.8 กรัม
Ferric Ammonium Citrate	0.8 กรัม
Agar	13.5 กรัม

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่นที่ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร นำไปละลายด้วยไมโครเวฟ ปรับค่าความเป็นกรดค่าให้เป็น  $7.4 \pm 0.2$  ห้ามนำอาหารไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ

#### 12. Salmonella Shigella (SS) Agar

Proteose peptone	5 กรัม
Lactose	10 กรัม
Bile salts mixture	8.5 กรัม
Sodium citrate	8.5 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sodium thiosulphate	8.5 กรัม
Ferric citrate	1 กรัม
Brilliant green	0.00033 กรัม
Neutral red	0.025 กรัม
Agar	13.5 กรัม

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่นที่ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร นำไปละลายด้วยไมโครเวฟ ปรับค่าความเป็นกรดต่างให้เป็น  $7.0 \pm 0.2$  ห้ามนำอาหารไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ

### 13. Triple Sugar Iron Agar (TSI agar)

Beef extract	3 กรัม
Peptone	20 กรัม
Yeast extract	3 กรัม
Lactose	10 กรัม
Sucrose	10 กรัม
Dextrose monohydrate	1 กรัม
Ferrous sulphate	0.2 กรัม
Sodium chloride	5 กรัม
Sodium thiosulphate	0.3 กรัม
Phenol red	0.024 กรัม
Agar	12 กรัม

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่น ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร นำไปละลายด้วยไมโครเวฟ ปรับค่าความเป็นกรดต่างให้เป็น  $7.4 \pm 0.2$  นำไปทำให้ปลอดจุลินทรีย์ด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที จากนั้นนำมาเอียงให้เย็น

### 14. Motility-Indole-Lysine Medium (MIL Medium)

Peptic digest of animal tissue	10 กรัม
Casein enzymic hydrolysate	10 กรัม
Yeast extract	3 กรัม
L-Lysine hydrochloride	10 กรัม
Dextrose	1 กรัม
Ferric ammonium citrate	0.5 กรัม
Bromocresol purple	0.02 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Agar

2 กรัม

ละลายส่วนผสมในน้ำกลั่น ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร นำไปละลายด้วยไมโครเวฟ ปรับค่าความ เป็นกรดค่าให้เป็น  $6.6 \pm 0.2$  นำไปทำให้ปลอดจุลินทรีย์ด้วยเครื่องฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

### การวัดสีระบบ CIE

โดยกำหนดให้  $L^*$  เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100

$L^* = 0$  สีจะเป็นไปในทิศทางมืดเป็นสีดำ

$L^* = 100$  สีจะเป็นไปในทิศทางสว่างเป็นสีขาว

$a^*$  ใช้กำหนดความเป็นสีแดงหรือสีเขียว

$a^*$  เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง

$a^*$  เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว

$b^*$  ใช้กำหนดความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

$b^*$  เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง

$b^*$  เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน

Chroma ค่าแสดงความบริสุทธิ์ของสี

ถ้าความสดใสของสีเข้าใกล้ 0 หมายถึง ผลึกภัณฑ์มีสีซีดจาง (เทา) และถ้าเข้าใกล้ 60 หมายถึง ผลึกภัณฑ์มีสีเข้ม

Hue angle เป็นตัวเลขที่ระบุตำแหน่งของสี มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

ถ้า Hue angle = 0-45 องศาเซลเซียส แสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง

Hue angle = 45-90 องศาเซลเซียส แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง

Hue angle = 90-135 องศาเซลเซียส แสดงสีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว

Hue angle = 135-180 องศาเซลเซียส แสดงสีเหลืองเขียวถึงสีเขียว

Hue angle = 180-225 องศาเซลเซียส แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงิน

Hue angle = 225-270 องศาเซลเซียส แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน

Hue angle = 270-315 องศาเซลเซียส แสดงสีน้ำเงินถึงสีม่วง

Hue angle = 315-360 องศาเซลเซียส แสดงสีม่วงถึงสีม่วงแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

## แบบประเมินความพึงพอใจต่อคุณภาพไส้กรอกอีสานหมู

วันที่ .....

ลำดับที่.....

## ตอนที่ 1 รายละเอียดของผู้ประเมิน

## 1.1 เพศ

- ชาย  หญิง

## 1.2 กรุณาระบุช่วงอายุของท่าน

- ต่ำกว่า 20 ปี  20-35 ปี  
 36-50 ปี  สูงกว่า 50 ปี

## 1.3 รายได้ของท่านต่อเดือน

- น้อยกว่า 5,000 บาท  5,001 – 15,000 บาท  
 15,001 – 25,000 บาท  มากกว่า 25,000 บาท

## 1.4 อาชีพ

- นักเรียน/นักศึกษา  รับราชการ พนักงานของรัฐ  
 บริษัทเอกชน  ทำงานส่วนตัว  
 อื่น ๆ โปรดระบุ.....

## คุณชอบรับประทานไส้กรอกอีสานหรือไม่

- ไม่ชอบมาก  ไม่ชอบ  
 ไม่ค่อยชอบ  เฉยๆ  
 ค่อนข้างชอบ  ชอบ  
 ชอบมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Y กรุณากลั้วปากด้วยน้ำดื่มก่อนชิมตัวอย่างแรก

Y ก่อนชิมตัวอย่างถัดไป กรุณาทานแครกเกอร์เล็กน้อย ตามด้วยการกลั้วปากด้วยน้ำดื่มอีกเล็กน้อย (ท่านสามารถบ้วนทิ้งลงในถ้วยสูงที่เตรียมไว้ให้)

**ตอนที่ 2** กรุณาให้คะแนนระดับความชอบของท่าน (จาก 1 ถึง 7 คะแนน) ที่มีต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ท่านกำลังทดสอบชิมทีละตัวอย่าง โดยกรอกคะแนนลงให้ตรงกับรหัสตัวอย่างในตารางด้านล่าง

คะแนน	ระดับความชอบ
7	= ชอบมากที่สุด
6	= ชอบมาก
5	= ชอบ
4	= เฉยๆ
3	= ไม่ชอบ
2	= ไม่ชอบมาก
1	= ไม่ชอบมากที่สุด

ลักษณะของผลิตภัณฑ์	รหัสผลิตภัณฑ์		
สี			
ลักษณะปรากฏ			
กลิ่นเปรี้ยว			
รสชาติเปรี้ยว			
ลักษณะเนื้อสัมผัส			
ความชอบโดยรวม			

ความคิดเห็นเพิ่มเติม.....

.....

.....

.....

ขอบคุณที่กรุณาใช้เวลาอันมีค่า 😊

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานแบบดิบ และแบบสุก



ภาพผนวกที่ จ 1 ภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานแบบดิบ (A) และแบบสุก (B) (ก) ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ A (ข) ไส้กรอกอีสานทางการค้า ยี่ห้อ B (ค) ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ A (ง) ข้าวหอมมะลิจากท้องตลาดทั่วไป ยี่ห้อ B (จ) ข้าวกล้องนางดำ (ฉ) ข้าวขัดขาวสามเดือน (ช) ข้าวกล้องดอกข่า (ซ) ข้าวกล้องสังข์หยด (ฌ) ข้าวกล้องดอกขาม และ (ญ) ข้าวกล้องสามเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายภานุพงษ์ ดวงขวัญ
วัน เดือน ปีเกิด	27 พฤษภาคม 2536
ที่อยู่	104/2 หมู่ที่ 7 ตำบล กระบี่น้อย อำเภอ เมือง จังหวัด กระบี่ 81000
ประวัติการศึกษา	2555 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเมืองกระบี่ 2558 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร 2561 หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
ผลงานทางวิชาการ	“Comparison of Fermentation Process in Thai Fermented Pork Sausage (I-San Sausage) on Quality and Safety.” 6 <sup>th</sup> ICIST 2017, Hotel Supreme and Convention Plaza, Philippines, November 24-26, 2017 “การใช้ข้าวไร้พื้นเมืองภาคใต้ของประเทศไทยต่อคุณภาพของไส้กรอกอีสาน” ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 6 วันที่ 18-19 มิถุนายน 2561, โรงแรมรามาร์คาร์เด็น ห้องแกรนด์บอลรูม 1 กรุงเทพมหานคร “ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกอีสานที่ผลิตโดยใช้ข้าวต่างชนิดกันเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า” ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเนื้อสัตว์ ครั้งที่ 6 วันที่ 18-19 มิถุนายน 2561, โรงแรมรามาร์คาร์เด็น ห้องแกรนด์บอลรูม 1 กรุงเทพมหานคร
ทุนที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้