

ข้าวแดงจากปลายข้าวและการใช้เป็นสีผสมอาหารในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน

Red Yeast Rice from Broken Rice and Application as Food Coloring in Northeastern Style Sausage

รุ่งลักษณ์ ประทุมชัย,¹ วรณันต์ นาคบรรพต,^{2*} มนัญญา สังข์ศรีอินทร์,³ สุจิตรา มณีรัตน์,⁴ อภิเดช แสงดี⁵
Rungluksamee Pratoomchai,¹ Woranan Nakbanpote,² Manatchaya Sungsi-in,³ Sujira Maneerat,⁴
Aphidech Sangdee⁵

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าของปลายข้าวโดยผลิตเป็นข้าวแดง และใช้ข้าวแดงเป็นสีผสมอาหารในไส้กรอกอีสานแทนการใช้ไนเตรต ผลการศึกษาพบว่าข้าวแดงที่ผลิตได้มีสีแดงเข้ม มีค่าสี L^* , b^* และ a^* เท่ากับ 41, 26, 15 ตามลำดับ มีปริมาณโมนาโคลินเค และซิตรีนิน เท่ากับ 256 และ 102 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานเริ่มจากการศึกษาสูตรพื้นฐาน โดยเปรียบเทียบร้อยละของปริมาณอัตราส่วนเนื้อสันคอหมูต่อไขมันหมู (40:60, 50:50, 60:40 และ 70:30) ต่อความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบจำนวน 20 คน พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดในสูตรที่ใช้อัตราส่วน 50:50 จากนั้นใช้สูตรพื้นฐานศึกษาการเติมข้าวแดง (ร้อยละ 0.75, 1.0, 1.25 และ 1.5) ในไส้กรอกอีสานที่มีต่อความชอบและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ 30 คน โดยเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่เติมไนเตรตร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมข้าวแดงร้อยละ 0.75 มีคะแนนความชอบสีและความชอบโดยรวมสูงที่สุด ทั้งนี้การเติมข้าวแดงที่ร้อยละ 0.75 ถึง 1.5 ไม่ส่งผลต่อกลิ่น รสเปรี้ยว และรสเค็ม อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และไส้กรอกอีสานที่เติมข้าวแดงเป็นสีผสมอาหารร้อยละ 0.75 มีค่าซิตรีนินไม่เกินค่าในข้อกำหนดของสหภาพยุโรป 1881/2006 จึงสามารถเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบของไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวแดงเพื่อถ่ายทอดให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนต่อไป

คำสำคัญ: ไส้กรอกอีสาน ข้าวแดง ปลายข้าว โมนาโคลิน เค ซิตรีนิน

Abstract

This research aimed to increase the value of broken rice by transforming it into red yeast rice (RYR), and by applying RYR as a food coloring, as an alternative to a nitrate additive, in northeastern style sausage. The RYR product was dark red with a C.I.E colors L^* , a^* and b^* of 41, 26 and 15, respectively. Monakolin K and citrinin in the RYR were 256 and 102 $\mu\text{g/g}$, respectively. Various percentage ratios of pork tenderloin to pork lard (40:60, 50:50, 60:40 and 70:30) in northeastern style sausage were sensory tested by 20 panelists. Most panelists preferred were the 50:50 ratio. Therefore, that ratio was used as the basic recipe to investigate the addition of various amounts of RYR (0.75%, 1.0%, 1.25% and 1.5% (w/w)). Sensory evaluation by 30 trained descriptive panelists favored the northeastern style sausage with RYR added more than the sausage with 0.01% (w/w) nitrate in the sausage. The sausage with 0.75% (w/w) RYR added was the favorite, especially in the mode of color and overall liking attributes. In addition, northeastern style sausage with 0.75% to 1.5% (w/w) of RYR added had no significantly impacts on the odor, sourness and saltiness ($p < 0.05$). The amount of citrinin in the sausage due to 0.75% RYR coloring was within the European

¹ นิสิตปริญญาโท, ^{2,5}ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ⁴อาจารย์, ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Master student, ^{2,5}Assistant Professor, ⁴Lecturer, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University.

³ Assistant Professor, Department of Food Technology, Faculty of Technology, Mashasarakham University



Commission Regulation (EC) No. 1881/2006. Therefore, the northeastern style sausage with RYR can be a prototype product for knowledge transfer to a community enterprise.

Keywords: Northeastern style sausage, red yeast rice, broken rice, monacolin K, citrinin

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยมีบทบาทต่อเศรษฐกิจสังคม รวมทั้งชีวิตความเป็นอยู่ของเกษตรกรไทย อย่างไรก็ตามข้าวในแต่ละปีมีราคาไม่แน่นอน โดยปลายข้าวมีราคาประมาณ 10-15 บาทต่อกิโลกรัม¹ และถูกใช้เป็นอาหารสัตว์ จึงควรมีการแปรรูปปลายข้าวให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น เช่น การแปรรูปให้เป็นข้าวแดง (red yeast rice) สำหรับใช้เป็นสีผสมอาหาร

โดยทั่วไปผู้บริโภคให้ความสนใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารจากลักษณะปรากฏของสีเป็นอันดับแรก จากนั้นจึงพิจารณารูปร่าง ขนาด รสชาติ กลิ่น และตำหนิที่ผิว เป็นต้น ซึ่งจากคุณลักษณะทั้งหมด สีอาจมีอิทธิพลมากที่สุด เพราะสีผิดปกติกจะทำให้ผู้บริโภคปฏิเสธอาหารชนิดนั้น แม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีกลิ่นรสหรือเนื้อสัมผัสที่ดี ปัจจุบันจึงมีการศึกษาสารสีจากธรรมชาติเพื่อเติมลงไปในการผลิตอาหาร เช่น ข้าวแดงที่ได้จากการหมักข้าวด้วยเชื้อราโมแนสคัส (*Monascus* sp.) โดยเชื้อราจะเจริญและใช้ข้าวเป็นสารอาหารและสร้างสารสี เช่น สีเหลือง (monascin และ ankaflavin) สีส้ม (monascorubin และ rubropunctatin) และสีแดง (monascorubramine และ rubropuntamine) ขึ้นกับสายพันธุ์ของเชื้อราและสภาวะการหมัก² นอกจากนี้สร้างสารสีแล้วยังผลิตสารที่มีประโยชน์ที่สำคัญคือโมนาโคลินเค (monacolin K) ที่มีคุณสมบัติลดระดับไขมันในเลือด⁴⁻⁷ และแกมมา อะมิโนบิวทีริกแอซิด (Gamma-aminobutyric acid) ที่มีคุณสมบัติช่วยลดความดันโลหิต และลดอาการ อัลไซเมอร์⁷ เป็นต้น

ปัจจุบันข้าวแดงเป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมอาหารยา และเครื่องสำอาง โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์อาหาร ข้าวแดงถูกนำมาใช้เป็นสีผสมอาหารในผลิตภัณฑ์ เช่น ปลาแปงแดง กุนเชียง ไส้กรอกรมควัน และแหนม เป็นต้น⁸⁻¹⁰ โดยส่วนใหญ่ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก มักมีการใช้ในไตรต์ (nitrite) หรือไนเตรต (nitrate) เพื่อทำให้เกิดสีแดงอมชมพูในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยสีเกิดจากการรวมตัวกันของไนไตรต์หรือไนเตรตกับไมโอโกลบิน (myoglobin) ในเลือดเป็นไนโตรโซฮีโมโครม (nitrosohemochrome) ทำให้ผลิตภัณฑ์เป็น สีชมพู และยังพบว่า การเติมไนเตรต สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Clostridium botulinum*¹¹ แต่ไนไตรต์หรือไนเตรต สามารถทำปฏิกิริยากับเอมีน (amine) ในอาหารได้เป็นสารไนโตรซามีน

(nitrosamine) ซึ่งเป็นสาร ก่อมะเร็งที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค¹² นอกจากนี้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช.144/2555¹³ กำหนดให้ใช้โซเดียมหรือโพแทสเซียมไนเตรตได้ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือโซเดียมหรือโพแทสเซียมไนไตรต์ไม่เกิน 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถ้าใช้โซเดียมหรือโพแทสเซียมไนเตรตและ/หรือโซเดียมไนไตรต์รวมกันต้องไม่เกิน 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปริมาณโซเดียมไนเตรตและ/หรือโซเดียมไนไตรต์ที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานหมักต้องน้อยกว่า 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Shehata¹⁴ ได้ศึกษาการใช้สารสีจากข้าวแดงแทนการใช้ไนไตรต์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก เมื่อทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับที่ดีที่สุดในตัวอย่างไส้กรอกที่เติมข้าวแดง นอกจากนี้ผลของการเติมสารสีโมแนสคัสร่วมกับสาร ไนไตรต์ในไส้กรอกยังให้ความเสถียรของสีดีกว่าการเติมสารไนไตรต์เพียงอย่างเดียว และงานวิจัยของจุฑามาศ ธีระสาโรช และเฉลิมพล ถนอมวงศ์¹⁵ พบว่าปริมาณข้าวแดงที่เหมาะสมในการทดแทนไนไตรต์ในผลิตภัณฑ์ ไส้กรอกปลาอิมัลชัน คือร้อยละ 1.2 ของน้ำหนักปลา โดยส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับด้านประสาทสัมผัสสูงกว่าสูตรที่มีการเติมไนไตรต์ในระดับที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อีกด้วย อย่างไรก็ตามข้าวแดงมีสารซิตรีนิน (citrinin) ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (by product) ที่เกิดขึ้นจากการหมัก ซิตรีนินจัดเป็นสารพิษที่มีผลต่อการทำงานของไตในสัตว์มีค่าปริมาณของสารพิษต่อน้ำหนักตัวที่สัตว์ทดลองได้รับเข้าไปแล้วทำให้สัตว์ทดลองตายเป็นจำนวนครั้งหนึ่ง (Median Lethal Dose, LD₅₀) เท่ากับ 35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม¹⁶ ดังนั้นการผลิตข้าวแดงและการนำข้าวแดงมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารควรมีการวิเคราะห์ปริมาณซิตรีนินเพื่อควบคุมปริมาณการใช้ข้าวแดงให้เหมาะสมและปลอดภัยต่อผู้บริโภค โดยปัจจุบันคณะกรรมการการยุโรป (EU) ได้ออกระเบียบกำหนดชนิดและปริมาณสารปนเปื้อนในอาหาร เลขที่ 1881/2006 กำหนดปริมาณสูงสุดของสารซิตรีนินในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจากข้าวแดงอยู่ที่ 2,000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม¹⁷

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตข้าวแดงจากปลายข้าว และศึกษาการใช้ข้าวแดงจากปลายข้าวเป็นสีผสมอาหารในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. การผลิตข้าวแดงจากปลายข้าว เพื่อเป็นสีผสมอาหาร

เชื้อรา *Monascus* sp. ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กล่าวเตรียมจากการ ปิเปตละลายสปอร์เชื้อรา *Monascus* sp. เข้มข้น 1.5×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Saboraud dextrose broth (SDB) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเพาะเลี้ยงบนเครื่องเขย่า (New Brunswick Scientific รุ่น Innova 2100 Platform, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 7-10 วัน จะได้กล้าเชื้อราในรูปก้อนเชื้อรา (pellet form)

การผลิตข้าวแดงทำโดยนำปลายข้าวขาวพันธุ์ชัยนาทมาล้างน้ำและแช่ข้าว 30 นาที จากนั้นซังปลายข้าว ปริมาณ 100 กรัม ใส่ในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร นำไปนึ่งและฆ่าเชื้อด้วยหม้อหนึ่งความดันไอ (TOMY SEIKO รุ่น SX-300, ประเทศญี่ปุ่น) ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลานาน 15 นาที ที่ทิ้งให้เย็นก่อนเติมกล้าเชื้อในรูปก้อนเชื้อปริมาณ 0.1 กรัม น้ำหนักเปียก เขย่าผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปต้มในตู้กับข้าวที่อุณหภูมิห้อง $30 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลานาน 8 วัน และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการหมัก นำข้าวแดงไปนึ่งฆ่าเชื้อ และอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (BINDER รุ่น T410261, ประเทศเยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดก่อนบรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ปิดสนิท เก็บในโถดูดความชื้นภายใต้อุณหภูมิห้องและเก็บในที่มืด

2. การวิเคราะห์คุณภาพของข้าวแดง

การวิเคราะห์ค่าสีทำโดยนำตัวอย่างข้าวแดงบดละเอียด ใส่ลงในคิวเวทท์ (Cuvette) และวัดด้วยเครื่องวัดค่าสี (Chroma meter) (KONICA MINOLTA Inc. รุ่น CR-400, ประเทศญี่ปุ่น) ที่ผ่านการปรับมาตรฐานด้วยแผ่นสีขาวมาตรฐาน (white blank: $Y = 87.0$, $x = 0.3189$, และ $y = 0.3363$) วิเคราะห์ 3 ซ้ำ รายงานผลในค่า L^* (lightness) a^* (redness) และ b^* (yellowness) และวัดค่าพีเอช (pH) ตามวิธีของ AOAC,2000¹⁸ โดยชั่งตัวอย่างข้าวแดง 1 กรัม ใส่ลงในขวดแก้ว จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร ทำการกวนเร็วโดยใช้เครื่องกวนสารระบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นเวลานาน 3 นาที ที่ตัวอย่างให้ตกตะกอน 1 นาที ก่อนวัดค่าพีเอชในส่วนใสของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดพีเอช (Denver Instrument รุ่น 215, ประเทศเยอรมัน) วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณสารโมโนโคลิน และซิทรินินในข้าวแดง วิเคราะห์ 2 ซ้ำ ทำโดยนำข้าวแดงบดละเอียดมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล (HPLC grade) 99.9% (v/v) ใช้วิธีดัดแปลงจาก Haung¹⁹ จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) (Shimadzu SIL-10AD, ประเทศญี่ปุ่น) คอลัมน์ที่ใช้เป็นแบบผักรับกลับ (Reverse Phase) ชนิด C18 รุ่น Inertsil[®] ODS-3 (ขนาด 5 ไมโครเมตร, 250×4.6 มิลลิเมตร (GL Science Inc., ประเทศญี่ปุ่น) ในการวิเคราะห์โมโนโคลินเค จะใช้เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) เป็นแบบ isocratic elution ระหว่างอะซิโตไนไตรล์ (acetonitrile) ต่อน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 80:20% (v/v) อัตราการไหล 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที¹⁹ การวิเคราะห์ซิทรินิน (citrinin) ใช้เฟสเคลื่อนที่ระหว่างอะซิโตไนไตรล์ต่อน้ำปราศจากไอออนที่ปรับค่าพีเอชด้วยฟอสฟอริก (pH 2.5) ในอัตราส่วน 65:35% (v/v) เป็นอัตราการไหล 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที²⁰ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์เทียบกับกราฟมาตรฐานของสารโมโนโคลินเค (Sigma-Aldrich, ประเทศสิงคโปร์) ที่ความยาวคลื่น 237 นาโนเมตร ด้วย Prominence Diode Array (PDA) detector (Shimadzu SPD-M20A ประเทศญี่ปุ่น) และสารซิทรินิน (Sigma-Aldrich, ประเทศสิงคโปร์) วิเคราะห์ที่ความยาวคลื่น 330 นาโนเมตร

3. การพัฒนาสูตรพื้นฐานของไส้กรอกอีสาน

การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน มีการวางแผนการทดลองทั้งหมด 4 สูตร ภายใต้ข้อจำกัดดังนี้ คือ สันคอหมูและไขมันหมูบดแบบหยาบ ในอัตราส่วน 70:30, 60:40, 50:50 และ 40:60 เปอร์เซ็นตของน้ำหนักเนื้อ และส่วนผสมอื่นจะถูกควบคุมให้เท่ากันทุกสูตรโดยมีสันคอหมูบดและไขมันหมูบด รวมกันปริมาตร 1,500 กรัม เกลือ 60 กรัม กระเทียม 150 กรัม ข้าวเจ้าหุงสุก 250 กรัม ผงชูรส 10 กรัม และน้ำตาล 10 กรัม จากนั้นบรรจุใส่ในไส้มัดเป็นข้อ ล้างทำความสะอาด เจาะรู แล้วนำไส้กรอกตากผึ่งลม ประมาณ 30 นาที ซับน้ำมันที่หยดตอนตากก่อนบรรจุบรรจุใส่ถุงสุญญากาศหมักในตู้เย็น 4°C เป็นเวลา 2 วัน และอุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 1 วัน การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสทำโดยนำไส้กรอก 500 กรัม มาต้มในน้ำเดือด 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 นาที นำขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปอบในหม้ออบลมร้อน (convection oven) (My home รุ่น HT-A12 ประเทศไทย) ใช้อุณหภูมิ 250°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำการประเมินความชอบและการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยใช้แบบ 5 point Hedonic scale²¹ ใช้ผู้ทดสอบชิม (panelist) ซึ่งเป็นตัวแทนของผู้บริโภคที่ไม่ผ่าน

การฝึกฝน (untrained) มีอายุระหว่าง 20-25 ปี จำนวน 20 คน การประเมินทำแยกอิสระในบูธ (booth) ที่ห้องปฏิบัติการทดสอบทางประสาทสัมผัส คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้ทดสอบได้รับเส้นรหัสกรอกจำนวน 5 ตัวอย่างพร้อมกัน และให้รหัสเลขสุ่ม 3 หลัก กำกับตัวอย่าง

4. การศึกษาปริมาณการใช้ข้าวแดงจากปลายข้าว เป็นสีผสมอาหารในไส้กรอกอีสาน

นำสูตรที่ได้จากการพัฒนาสูตรไส้กรอกอีสาน ในข้อ 3 มาพัฒนาต่อ โดยปรับระดับความเค็มของเกลือให้เหลือ 37.5 กรัมต่อน้ำหนักเนื้อ 1,500 กรัม ทำการเติมผงข้าวแดงที่มีปริมาณร้อยละ 0, 0.75, 1.0, 1.25 และ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเนื้อ เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่มีการเติมสารในเทรต 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเนื้อ จากนั้นทำตามกรรมวิธีการผลิตไส้กรอกอีสาน เช่นเดียวกับข้อ 2.3 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ใช้วิธี Intensity scoring²¹ (โดยแทนคะแนนความเข้มข้นของแต่ละคุณลักษณะ จากไม่มี=0 ไปถึง 10 มากที่สุด ในด้านสี กลิ่นเนื้อ รสเค็ม รสเปรี้ยว และการยอมรับโดยรวม) ใช้ผู้ทดสอบชิมซึ่งเป็นตัวแทนของผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน อายุระหว่าง 20-25 ปี จำนวน 30 คน โดยได้รับเส้นรหัสกรอกจำนวน 6 ตัวอย่างพร้อมกัน และให้เลขรหัส 3 หลักแบบสุ่ม วิเคราะห์ค่าสีของไส้กรอกโดยการวัดด้วยเครื่องวัดค่าสี และคัดเลือกสูตรที่ได้รับจากยอมรับจากผู้ทดสอบ ส่งตรวจวิเคราะห์ตามมาตรฐาน มผช.144/2555¹³ โดย บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด จ.ขอนแก่น

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95% โดยใช้โปรแกรมสถิติ SPSS V.14

ผลการวิจัยและอภิปราย

1. การผลิตข้าวแดงจากปลายข้าว

การผลิตข้าวแดงจากปลายข้าว โดยเชื้อรา *Monascus* sp. ในสภาวะการหมักในตู้กับข้าว (30±2°C) ใช้ระยะเวลาในการหมัก 8 วัน พบว่าเชื้อรา *Monascus* sp. มีการเจริญปกคลุมเมล็ดข้าวและผลิต รงควัตถุสีแดงในเมล็ดข้าว (Figure 1) ค่าพีเอชของปลายข้าวขาวเริ่มต้นการหมัก (วันที่ 1) มีพีเอชเท่ากับ 6.05 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักข้าวแดงที่

ผ่านการหนึ่งฆ่าเชื้อก่อนอบแห้งมีค่าพีเอชลดลงเป็น 4.05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ จุลยุทธ บุญสร้างสม²² ที่หมักเชื้อรา *Monascus purpureus* ATCC 16365 ในข้าวเจ้าพิจิตร พบค่าพีเอชลดลงจาก 6.43 เป็น 4.85-5.18 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ซึ่งค่าพีเอชที่ลดลงในระหว่างกระบวนการผลิตข้าวแดงอาจเนื่องมาจากเชื้อราสร้างกรดอินทรีย์ เช่น กรดมาลิก (L-malic acid) และกรด ซัคซินิก (succinic acid) ในระหว่างการเจริญ²³

การเปลี่ยนแปลงค่าสีพบว่าปลายข้าวขาวในวันที่ 1 มีค่าสีสว่าง (L^*) 84.52±0.37 ค่าสีเหลือง (b^*) 24.63±0.90 และค่าสีแดง (a^*) -2.23±0.30 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในวันที่ 8 พบว่าข้าวแดงมีค่าสี L^* และ b^* ลดลงเป็น 40.66±0.82 และ 15.17±0.30 ตามลำดับ และสีแดงมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่า a^* เท่ากับ 26.12±0.18 (Table 1) โดยข้าวแดงที่มีค่าพีเอชต่ำจะมีสารสีส้มมาก เนื่องจากสีส้ม monacorubin และ rubropunctatin ที่เชื้อสังเคราะห์ขึ้นไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ NH group แต่ที่พีเอชสูงปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้จึงให้สีแดงออกมามาก²⁴ ส่วนปริมาณสารโมโนโคลินเคและซิตรีนินในข้าวแดง มีปริมาณ 256.24±21.53 และ 101.6±8.38 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Table 1)

งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสารสีที่สกัดจากข้าวแดงคงตัวได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 100°C เป็นเวลานาน 10 นาที²⁵ จึงมีความเหมาะสมในการใช้ข้าวแดงเป็นสีผสมอาหารที่ต้องผ่านความร้อน และซิตรีนินในสภาวะที่ไม่มีน้ำจะสลายตัวที่อุณหภูมิ 175°C และอุณหภูมิในการสลายตัวจะลดลงเป็น 140°C เมื่ออยู่ในรูปของแข็งที่มีความชื้น³

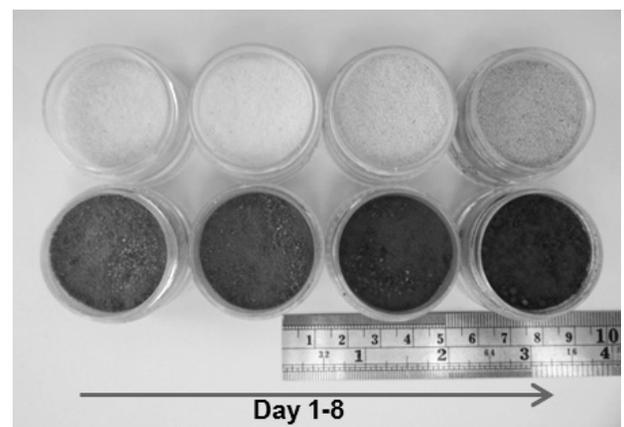


Figure 1 Changing color in red yeast rice during solid state fermentation of broken rice in larder (30±2°C) for eight days.

Table 1. Properties of red yeast rice.

Parameter	Property*
pH	4.05
Color	
Lightness (L^*)	40.66±0.82
Redness (a^*)	26.12±0.18
Yellowness (b^*)	15.17±0.30
Monacolin K	256.24±21.53 µg/g samples
Citrinin	101.6±8.38 µg/g samples

*Mean values ($n=3$) ± standard deviation (SD).

2. การพัฒนาสูตรไส้กรอกอีสาน

การทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่มีระดับความชอบโดยรวมของไส้กรอกอีสานทั้ง 4 สูตร ที่มีสัดส่วนร้อยละของปริมาณเนื้อสันคอหมูต่อไขมันหมูแตกต่างกัน เปรียบเทียบกับไส้กรอกอีสานทางการค้าที่วางจำหน่าย พบว่าผู้ทดสอบทั้ง 20 คน ให้ระดับคะแนนความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานทั้ง 5 ตัวอย่าง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยไส้กรอกอีสานสูตรที่ประกอบด้วยสันคอหมูและไขมันหมู อัตราส่วนร้อยละ 50:50 ได้รับความชอบจากผู้ทดสอบมากที่สุด (Table 2)

Table 2 Overall liking scores for northeastern style sausage. (1= most dislike, 5= most like)

Treatment	Overall liking score
Pork & Lard (70:30)	2.90±0.97 ^a
Pork & Lard (60:40)	3.15±0.88 ^a
Pork & Lard (50:50)	3.90±0.64 ^b
Pork & Lard (40:60)	3.10±1.07 ^a
Control*	2.90±1.29 ^a

* The products are available in the market. Data is means±SD ($n=20$). Those with different superscript letters in the same row are significantly different ($p < 0.05$)

ดังนั้นจึงเลือกสัดส่วนร้อยละของสันคอหมูต่อไขมันหมู 50:50 เป็นสูตรพื้นฐานเพื่อศึกษาปริมาณการใช้ข้าวแดงเป็นสีผสมอาหารในไส้กรอกอีสาน

3. ปริมาณการใช้ข้าวแดงจากปลายข้าวเป็นสีผสมอาหารในไส้กรอกอีสาน

การศึกษาคุณลักษณะสีของไส้กรอกอีสานที่มีการเติมข้าวแดงร้อยละ 0.75, 1.0, 1.25 และ 1.5 เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่เติมในเทอร์ต้อยละ 0.01 (100 mg/kg) พบ

ว่าไส้กรอกที่เติมข้าวแดงปริมาณเพิ่มขึ้นมีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ลดลง และมีค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสีแดงแตกต่างจากไส้กรอกอีสานที่ไม่มีการเติมข้าวแดงและสูตรควบคุมที่เติมในเทอร์ต้อยละมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (Table 3) โดยการเติมข้าวแดงในผลิตภัณฑ์จะส่งผลทำให้ค่าความสว่างลดลงและมีสีแดงคล้ำขึ้น เช่น การเติมข้าวแดงในไส้กรอกอิมัลชัน^{15, 26} ไส้กรอกกรมควัน⁹ และกุนเชียง^{9, 27} ในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ลดลง และมีค่าสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ค่าสีแดง (a^*) ของไส้กรอกที่เติมข้าวแดงร้อยละ 0.75 ถึง 1.5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งอาจเนื่องจากไส้กรอกมีส่วนผสมของไขมันหมูร้อยละ 50 ที่ไม่จับกับผงสีข้าวแดง ดังแสดงใน Figure 2

การประเมินคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่เติมข้าวแดง พบว่าไส้กรอกอีสานที่มีการเติมข้าวแดงร้อยละ 0.75, 1.0, 1.25 และ 1.5 มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบต่อสีแดงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และผู้ทดสอบให้คะแนนเฉลี่ยด้านความชอบต่อสีแดงของไส้กรอกอีสานที่มีการเติมข้าวแดงร้อยละ 0.75 ถึง 1.5 แตกต่างกับสูตรที่เติมในเทอร์ต้อยละมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และไส้กรอกที่เติมในเทอร์ตมีค่าเฉลี่ยด้านความชอบต่อสีแดงต่ำที่สุดคือ 3.38 (Table 4) ซึ่งอาจเนื่องจากไส้กรอกอีสานที่เติมในเทอร์ตจะมีสีแดงชมพูคล้ายหมูสด แตกต่างจากไส้กรอกอีสานที่ใช้ข้าวแดงเป็นสีผสมอาหาร (Figure 2) และงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเติมข้าวแดงเป็นสีผสมอาหารในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกและกุนเชียงในปริมาณที่เหมาะสมเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมในเทอร์ตและในเทอร์ต^{9, 15, 26, 27}

Table 3 Color of lightness (L^*), redness (a^*) and yellowness (b^*) in northeastern style sausage with the addition of red yeast rice.

Red yeast rice (%)	Color*		
	L^*	a^*	b^*
0	67.01±2.97 ^c	-1.58±1.16 ^a	14.17±2.00 ^c
0.75	59.66±2.57 ^b	5.86±1.47 ^c	12.95±1.22 ^{b,c}
1.0	57.61±3.34 ^b	7.06±1.20 ^c	12.51±1.01 ^b
1.25	57.61±3.34 ^b	6.67±1.39 ^c	10.93±2.14 ^a
1.5	54.38±2.64 ^a	5.91±4.67 ^c	13.16±1.10 ^{b,c}
Nitrate 0.01%	60.61±5.72 ^c	0.64±3.02 ^b	15.42±1.23 ^d

*Data is mean ± SD ($n=12$). Those with different superscript letters in the same row are significantly different ($p<0.05$)



คะแนนด้านกลิ่นเนื้อ พบว่าผู้ทดสอบให้ระดับคะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านกลิ่นต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสานที่ไม่เติมข้าวแดงและเติมข้าวแดงร้อยละ 0.75 ถึง 1.5 ไม่แตกต่างกับไส้กรอกอีสานที่เติมในเทรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพบว่าไส้กรอกอีสานที่มีการเติม ในเทรตมีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบด้านกลิ่นเนื้อน้อยที่สุด (Table 4)

รสเค็ม และรสเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอีสาน พบว่าทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 4) และแสดงว่าการเติมข้าวแดงเป็นสีผสมอาหารไม่มีผลเปลี่ยนแปลงรสเค็มและรสเปรี้ยวของไส้กรอกอีสาน สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งพบว่าการเติมข้าวแดงเป็นสีผสมอาหารในไส้กรอกปลาอิมัลชัน ปลาแปงแดง กุนเชียง และแหนม ในปริมาณที่เหมาะสมจะไม่ส่งผลเปลี่ยนแปลงรสชาติของผลิตภัณฑ์^{8-10, 15, 27}

การยอมรับโดยรวมพบว่าไส้กรอกอีสานที่ไม่เติมข้าวแดง เติมข้าวแดงร้อยละ 1.5 และเติมในเทรต ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 4) ไส้กรอกอีสานที่มีการเติมข้าวแดงร้อยละ 1.0 และ 1.25 มีการยอมรับรวมคาบเกี่ยวกับระหว่าง ไส้กรอกอีสานที่เติมข้าวแดงร้อยละ 0.75 และ 1.5 ทั้งนี้สูตรที่ได้รับความชอบจากผู้ทดสอบมาก

ที่สุด คือสูตรที่มีการเติมข้าวแดงร้อยละ 0.75 โดยมีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด คือ 6.41 คะแนน และสูตรควบคุมที่มีการเติมในเทรตร้อยละ 0.01 มีคะแนนเฉลี่ยด้านการยอมรับโดยรวมน้อยที่สุด คือ 4.96 คะแนน (Table 4) เช่นเดียวกับที่พบในงานวิจัยของ Shehata¹⁴ และ จุฑามาศ ธีระสาโรช, เฉลิมพล ถนอมวงศ์¹⁵ ซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเนื้อ และ ไส้กรอกปลาที่เติมข้าวแดงสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมในเทรต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกไส้กรอกอีสานสูตรที่มีการเติมข้าวแดงร้อยละ 0.75 เป็นสูตรต้นแบบสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนต่อไป และการคำนวณปริมาณซิติรีนินที่อาจคงเหลือในไส้กรอกอีสานจากการเติมข้าวแดงร้อยละ 0.75 เพื่อเป็นสีผสมอาหาร ภายใต้กรณีที่ไม่เกิดการสลายตัวของซิติรีนินจากความร้อน ไส้กรอกอีสานจะมีปริมาณซิติรีนินในผลิตภัณฑ์ประมาณ 508 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนัก ซึ่งไม่เกินค่าข้อกำหนดของสหภาพยุโรป 1881/2006 ที่กำหนดให้ปริมาณซิติรีนินในผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ข้าวแดงเป็นสีผสมอาหารได้ไม่เกิน 2,000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเนื้อ¹⁷ และผลการตรวจวิเคราะห์ตามมาตรฐาน มพช. 144/2555¹⁰ พบว่าไส้กรอกอีสานมีคุณลักษณะตรงตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มพช.)

Table 4 Sensory evaluation score for northeastern style sausage with addition of red yeast rice.

Red yeast rice (%)	Sensory attributes (score)*				
	Red color	Odor	Saltiness ^{ns}	Sourness ^{ns}	Overall impression
0	4.44±2.36 ^{a,b}	4.97±2.21 ^{a,b}	4.55±2.22	4.10±2.11	5.27±2.10 ^a
0.75	5.69±2.06 ^b	5.31±1.80 ^{a,b}	5.04±2.13	5.12±1.92	6.41±1.63 ^b
1.0	5.50±1.92 ^b	5.35±1.72 ^{a,b}	4.48±2.07	5.10±1.83	5.78±1.74 ^{a,b}
1.25	4.81±2.38 ^b	5.69±2.06 ^b	4.85±1.87	4.73±1.84	5.71±1.61 ^{a,b}
1.5	4.64±2.51 ^b	4.85±1.96 ^{a,b}	4.43±2.14	4.55±1.77	5.32±1.68 ^a
Nitrate 0.01%	3.38±2.10 ^a	4.25±2.00 ^a	3.94±2.16	4.98±1.97	4.96±1.94 ^a

*Data is mean ± SD (n=30). Those with different superscript letters in the same row are significantly different ($p < 0.05$). ns = Non-significance

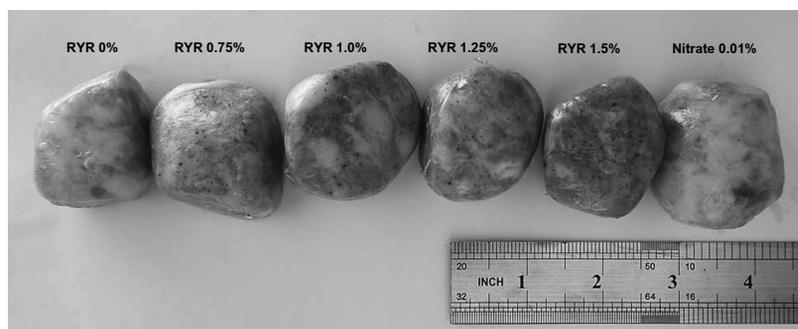


Figure 2 Northeastern style sausages with various amount of red yeast rice (0%, 0.75%, 1.0%, 1.25% and 1.5% (w/w)) and 0.01% (w/w) nitrate added.



สรุป

ปลายข้าวสามารถเพิ่มมูลค่าโดยแปรรูปเป็นข้าวแดงที่สามารถใช้เป็นสีผสมอาหาร ซึ่งข้าวแดงที่ผลิตในการศึกษาค้างนี้ใช้เวลาหมัก 8 วันในสภาวะอุณหภูมิห้อง $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ได้ข้าวแดงที่มีค่าพีเอช 4.05 ค่าสารสี L^* , b^* และ a^* เท่ากับ 41, 26 และ 15 ตามลำดับ มีสารโมโน-โคลินเค ปริมาณ 256 ไมโครกรัมต่อกรัม และมีซิติรีน ปริมาณ 102 ไมโครกรัมต่อกรัม

การพัฒนาสูตรใส่กรอกอีसानพบว่าสัดส่วนร้อยละของปริมาณสันคอกหมูและไขมันหมู 50:50 ได้รับความชอบจากผู้ทดสอบมากที่สุด จึงถูกใช้เป็นสูตรพื้นฐานเพื่อศึกษาปริมาณข้าวแดงที่เหมาะสมสำหรับเติมในใส่กรอกอีसान การทดลองพบว่าใส่กรอกอีसानที่เติมข้าวแดงร้อยละ 0.75 ถึง 1.5 ให้ค่าสีโดยรวมไม่แตกต่างกัน แต่ผลการประเมินประสาทสัมผัสพบว่าใส่กรอกอีसानที่เติมข้าวแดงร้อยละ 0.75 มีคะแนนค่าเฉลี่ยความชอบด้านสี และความชอบโดยรวมสูงที่สุด และแตกต่างจากใส่กรอกอีसानที่เติมในเทรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นใส่กรอกอีसानที่มีอัตราส่วนร้อยละของสันคอกหมูต่อไขมันหมู 50:50 และเติมข้าวแดงร้อยละ 0.75 จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นสูตรต้นแบบของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน โดยใส่กรอกสูตรดังกล่าวมีปริมาณซิติรีนที่เกิดจากการใช้ข้าวแดงเป็นสีผสมอาหารไม่เกินค่าข้อกำหนดของสหภาพยุโรป 1881/2006¹⁷ และใส่กรอกต้นแบบมีคุณลักษณะตรงตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 144/2555¹³

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนวิจัยโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.): ระดับปริญญาโท ปี 2556 สัญญาทุนเลขที่ MSD5610120 และทุนอุดหนุนโครงการบริการวิชาการแก่สังคม "โครงการหนึ่งหลักสูตรหนึ่งชุมชน" ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

- สมาคมโรงสีข้าวไทย. ราคาข้าวประจำวัน. [ออนไลน์] ได้จาก: <http://www.thaicemillers.com/> [สืบค้นเมื่อวันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2558]
- Boric J, Dijana V, Branka S. The influence of colours on the purchase decision making process when developing sustainable products. In: Proceedings in 22nd Biennial International Congress Tourism & Hospitality Industry; 2014. p. 566-583.
- บุษบา ยงสมิทธิ. จุลชีววิทยาการหมักสารสี และวิตามิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2542.
- Wang IK, Lin-Shiau SY, Chen PC, Lin JK. Hypertriglyceridemic effect of anakak a fermented rice product of *Monascus* spp. in rat. J Agr Food Chem 2000;48:3183-3189.
- Swee KY, Boon KB, Joan K, Wan YH, Hamidah MY, Nurul EM, Aminuddin bin H. In Vivo Hypocholesterolemic effect of MARDI fermented red yeast rice water extract in High cholesterol diet fed mice. Evid base Compl Alternative Med 2014;1-7.
- Journoud M, Jones PJH. Red yeast rice: a new hypolipidemic drug. Life Sci 2004;74:2675-2683.
- Su YC, Wang JJ, Lin TT. Production of the secondary metabolism γ -aminobutyric acid and monacolin K by *Monascus*. J Ind Microbiol Biotechnol 2003;30:16-41.
- พจนีย์ ทรัพย์สมาน. การปรับปรุงคุณภาพอาหารท้องถิ่นภาคใต้: ปลาแปงแดง. มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา; 2546.
- สุภาวดี อินทร์เขียว. การใช้สารสีโมแนสคัส (อังกฤษ) ทดแทนไนโตรในผลิตภัณฑ์ใส่กรอกรมควันและกุนเชียง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ: 2545. 126 หน้า.
- Rojsuntornkitti K, Jittrepotch N, Kongbangkerd T, Kraboun K. Substitution of nitrite by Chinese red broken rice powder in Thai traditional fermented pork sausage (Nham). Int Food Res J 2010;17:153-161.
- Cassens RG. Composition and safety of cured meats in the USA. Food Chem 1997;59: 561-566.
- Richard JE, Paul BA, Joseph JW. Nitrite in meat. Minnesota extension service, University of Minnesota agriculture; 1992. AG-FS-0974-A.
- มาตรฐาน มผช.144/2555. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ใส่กรอกอีसानหมู. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: 2555. 10 หน้า.
- Shehata HA., Buckenhueskes HJ, and El-Zoghbi MS, Colour optimization of Egyptian fresh beef sausage by natural colourants. Fleischwirtschaft 1998;78(1):68-71.



15. จุฑามาศ ติระสาโรช, เฉลิมพล ถนอมวงศ์. การใช้ฮังคัก เพื่อการเกิดสีในไส้กรอกปลาอิมัลชัน. ว วิทย มข 2557;42(1):169-175.
16. Childress, L., Gay, A., Zarqar, A. and Ito, M.K. Review of red yeast rice content and current food and drug administration oversight. J Clin Lipidol. 2013;7:117-122.
17. Commission regulation (EU) No 212/2014 of 6 March 2014. amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of the contaminant citrinin in food supplements based on rice fermented with red yeast *Monascus purpureus*. Official Journal of the Europran Union 2014.
18. AOAC, International. *Official Method of Analysis of AOAC International*. 17th(ed.) AOAC International, Gaithersburg. MD; 2002.
19. Huang Z, Xu Y, Zhang H, Li LA, He Q, Li Y. Simultaneous determination of two *Monacus* metabolites in red yeast rice by HPLC using fluorescence detection. Food chem 2011;127: 1837-1841.
20. Liu R, Xu B. Optimization of extraction conditions of citrinin from red yeast rice by orthogonal design and quantification of citrinin by Hight-performance liquid chromatography. Food Anal Meth 2013;6(2):677-682.
21. ปราณี่ อ่านเปรื่อง. หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2551.
22. จุลยุทธ บุญสร้างสม. การลดซีตรินินในข้าวแดง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่; 2546.
23. Hajjai H, Blanc P, Groussac E, Uribelarrea JL, Gomas G, Loubiere P. Kinetic analysis of red pigment and citrinin production by *Monascus ruber* as a function of organic acid accumulation. Enzym Microb Tech 2000;27: 619-625.
24. Lin CF, Isolation and culture condition of *Monascus* sp. for the production of pigment in submerged culture. J Ferment Technol 1973; 51(6):407-414.
25. สิริพร อักษร, วงเดือน บุตรहनัน, ปาริยา ณ นคร. ความคงตัวของสีแดงที่สกัดได้จากการเลี้ยงราที่คัดแยกได้ในอาหารเหลว. ว วิทย เทค 2556;2(3):185-191.
26. ทศพร นามโสง. การใช้ข้าวแดงเพื่อปรับปรุงสีในไส้กรอกอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิชาเทคโนโลยีการอาหาร. วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา.สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลอยุธยา; 2544.
27. Liu SC, Wu SW, Tan FJ. Effect of addition of anka rice on the qualities of low-nitrite Chinese sausages. Food Chem 2010;118:245-250.