ว.วิทย. มข. 47(3) 468-477 (2562) KKU Sci. J. 47(3) 468-477 (2019)

ค่าสี รงควัตถุ และคุณภาพการต้านออกซิเดชันของข้าวแดง (อังคัก) ที่หมักจากข้าวต่างสายพันธุ์

Color, Pigments and Antioxidant Quality of Red Yeast Rice (angkak) Fermented by Various Rice Varieties

เกตุการ ดาจันทา[1*] อุทัยวรรณ ฉัตรธง[1] และหทัยทิพย์ ร้องคำ[1]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

[*]Corresponding Author, E-mail: dkatekan@hotmail.com

Received: 26 November 2018 | Revised: 3 February 2019 | Accepted: 10 August 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าสี ปริมาณรงควัตถุ และคุณภาพการต้านออกซิเดชันของสารสกัดข้าวแดงด้วยเมทานอลที่ผลิตจากข้าวสายพันธุ์ไทยเปรียบเทียบกับข้าวก่อนหมัก โดยหมักข้าวแดงจากข้าวเหนียว (สายพันธุ์ กข 6) และข้าวเจ้า (สายพันธุ์ขาวพิจิตร หอมมะลิ 105 หอมสุรินทร์ และหอมปทุม) ด้วยรา *Monascus* sp. PSRU03 บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน และทำให้แห้งก่อนการตรวจวิเคราะห์ ผลการศึกษา พบว่า ค่าสี L* (ค่าความสว่าง) ของข้าวหลังการหมักด้วยรา *Monascus* sp. PSRU03 ลดลงร้อยละ 63-69 ขณะที่ค่าสี a* (ค่าสีแดง) เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 1,044-1,239 และตรวจพบรงควัตถุและสารประกอบฟีนอลในข้าวแดงเท่านั้น โดยมีปริมาณ 108.70 (ข้าวแดงจากข้าว กข 6) – 353.4 (ข้าวแดงจากข้าวหอมมะลิ 105) units/g DM และ 7.94 (ข้าวแดงจากข้าว กข 6) – 12.33 (ข้าวแดงจากข้าวหอมมะลิ 105) mg GAE/g DM ตามลำดับ และรงควัตถุในข้าวแดงเป็นรงควัตถุสีเหลืองมากที่สุด คือ ร้อยละ 48-56 ของปริมาณรงควัตถุทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวแดงมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่วัดด้วยวิธี DPPH radical scavenging และ inhibition on lipid peroxidation สูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก และข้าวแดงที่หมักจากข้าวเจ้ามีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงกว่าข้าวแดงที่หมักจากข้าวเหนียว

ABSTRACT

The present study was designed to investigate color, pigments and antioxidant quality of methanolic extract of *Monascus* fermented various Thai varieties of rice compared with their unfermented rice. The glutinous rice (RD6) and non-glutinous rices (Khao Gaw Diaw 35, Khao Dawk Mali 105, Khao Dawk Mali Surin and Pathumthani 1) were fermented by *Monascus* sp. PSRU03 for 10 days at 30°C and dryness. The results showed that the L* value (lightness color) of rice was 63-69% decreased after fermentation, while the a* value (redness color) was 1,044-1,239% increased. The pigments and total extractable phenolic compounds were only found in monascal rice with the contents of 108.70 (RD6) – 353.4 (Khao Dawk Mali 105) units/g DM and 7.94 (RD6) – 12.33 (Khao Dawk Mali 105) mg GAE/g DM, respectively. In addition, yellow pigment was found to be the major constituent with 48-56% proportion of total pigments. Furthermore, antioxidant activity of red yeast rice extracts evaluated by DPPH radical scavenging

and inhibition on lipid peroxidation methods was found to be better than the unfermented rice extracts and non-glutinous red yeast rice showed higher antioxidant activity than glutinous rice product.

คำสำคัญ: ข้าว ข้าวแดง โมแนสคัส รงควัตถุ การต้านออกซิเดชัน

Keywords: Rice, Red yeast rice, *Monascus*, Pigments, Antioxidant

บทนำ

เชื้อ *Monascus* sp. เป็นราที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหมักและเภสัชวิทยา เนื่องจากมีการใช้อย่างแพร่หลายทั้งในประเทศแถบเอเชียและยุโรป อาหารหมักด้วยเชื้อโมแนสคัสที่รู้จักกันดีก็คือข้าวแดง (red yeast rice) และมีชื่อเรียกอื่น คือ ข้าวแดงจีน (Chinese red rice) หรืออังคัก (angkak) ข้าวแดงถูกใช้เป็นสารสีธรรมชาติ เพิ่มกลิ่น และรสชาติให้กับอาหาร ตลาดโลกมีความต้องการสีแดงธรรมชาติจากข้าวแดง ทั้งนี้เนื่องจากมีประโยชน์ต่อร่างกายมากกว่าสีสังเคราะห์ ในปัจจุบันได้มีการจดสิทธิบัตรเกี่ยวกับการใช้สารสีของ *Monascus* ในอาหารมากกว่า 50 เรื่องในประเทศญี่ปุ่น อเมริกา และฝรั่งเศส (Dufosse et al., 2005) ในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้สีธรรมชาติจากข้าวแดงมากเป็นอันดับ 2 ของตลาดสารสีจากธรรมชาติ (วิเชียร, 2548) นอกจากนี้สารสีจากข้าวแดงยังได้รับการยอมรับในตลาดยุโรปในการใช้เป็นสารให้สีกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปอีกด้วย

ในระหว่างการหมักข้าวแดงของรา *Monascus* sp. ได้มีการสร้างสารเมตาโบไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) หลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกายโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารโมนาโคลินเค (monacolin K) ซึ่งมีสรรพคุณในการลดความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์ คอเลสเตอรอลชนิด VLDL (very low density lipoprotein cholesterol) และ LDL ขณะที่พบปริมาณคอเลสเตอรอลชนิด HDL เพิ่มขึ้น จึงช่วยรักษาโรคไขมันในเลือดสูง และลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจในคนและสัตว์ทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Qin et al., 1998; Wang et al., 2000; Wei et al., 2003; Venero et al., 2010; Guardamagna et al., 2011) รวมทั้งรายงานของ Hong et al. (2008) ยังระบุว่าข้าวแดงสามารถยับยั้งการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ได้

นอกจากนี้ในข้าวแดงยังพบกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก หรือกาบา (gamma-aminobutyric acid: GABA) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยลดความดันโลหิตสูง (วิเชียร, 2548) และ กรดไดเมอรูมิค (dimerumic acid) เป็นสารที่ออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ปกป้องตับจากสารพิษ และยับยั้งการเกิด lipid peroxidation (Taira et al., 2002) สำหรับรงควัตถุของข้าวแดงนอกจากเป็นสารให้สีธรรมชาติในอาหารแล้วยังมีสรรพคุณทางยาในการลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง (Yasukawa et al., 1996; Akihisa et al., 2005) ต้านการอักเสบ (Yasukawa et al., 1994) และมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ (Martinkova et al., 1995)

ในข้าวแดงนอกจากจะมีสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายแล้วยังอาจมีการปนเปื้อนสารซิตรินิน (citrinin) ซึ่งเป็นสารที่มีพิษต่อตับและไต ทำให้การคัดเลือกรา *Monascus* สายพันธุ์ที่สร้างสารพิษต่ำจึงเป็นเรื่องที่สำคัญต่อความปลอดภัยของผู้บริโภคไม่น้อยไปกว่าการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวแดงให้มีการสร้างรงควัตถุสีแดงสูง ได้มีการทดลองแยกสายพันธุ์ของราที่ได้จากข้าวแดงพื้นเมืองของประเทศจีนจนได้เชื้อราที่ให้สีแดงคือ *M. purpureus* ต่อมา Palo et al. (1960) ได้ทดลองใช้ราที่แยกได้จากข้าวแดงพื้นเมืองนี้มาใช้ในการผลิตข้าวแดงที่มีคุณภาพดีสามารถนำมาใช้เจือสีในอาหารโดยตรง

กระบวนการผลิตข้าวแดงทำได้โดยการนำข้าวมานึ่งให้สุกโดยควบคุมไม่ให้ข้าวเปียกหรือเละ ปล่อยให้ข้าวเย็นลงแล้วเติมเชื้อรา *M. purpureus* ลงไป ปล่อยให้เชื้อราเจริญที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียสประมาณ 3 สัปดาห์ โดยข้าวจะเริ่มแดงภายใน 3 วัน และภายใน 3 สัปดาห์ ข้าวจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม เมล็ดข้าวไม่เกาะกันและมีสีแดงตลอดทั้งเมล็ด หลังจากนั้นนำข้าวแดงอบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส ได้ข้าวแดงตามต้องการ นอกจากนี้ได้มีการศึกษาสายพันธุ์ราโมแนสคัสที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตสารสีด้วยการเพาะเลี้ยงในสภาพหมักในอาหารเหลว (submerged cultivation) อีกด้วย (นันทญาภรณ์, 2546)

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาของนักวิจัยได้พบว่ารา *Monascus* sp. PSRU03 ซึ่งคัดแยกได้ข้าวแดงการค้ามีความสามารถในการสร้างสารพิษซิตรินินต่ำจากการทดสอบด้วยวิธีการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และมีความสามารถในการสร้างสารพิษซิตรินินในเส้นก๋วยเตี๋ยวต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับราโมแนสคัสสายพันธุ์มาตรฐาน *M. purpureus* ATCC16365,

M. purpureus BCC6131 และ *M. ruber* TISTR3006 ขณะที่สามารถสร้างรงควัตถุและสารโมนาโคลินเคได้ในปริมาณที่สูงกว่าราสายพันธุ์มาตรฐาน (อุทัยวรรณและเกตุการ, 2557) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความสามารถในการสร้างรงควัตถุและการต้านออกซิเดชันของข้าวแดงที่หมักจาก *Monascus* sp. PSRU03 โดยใช้ข้าวสายพันธุ์ไทยทั้งข้าวเหนียวและข้าวเจ้า เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการผลิตสารสี และสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายจากราโมแนสคัส

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมข้าวแดง

1.1 การเตรียมเชื้อ *Monascus* sp. PSRU03

เพาะรา *Monascus* sp. PSRU03 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่สร้างสารพิษซิตรินินต่ำ (เกตุการ, 2554; อุทัยวรรณและเกตุการ, 2557) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar (PDA) (Merck, Germany) บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน ทำซ้ำ 2 ครั้ง ได้กล้าเชื้อ *Monascus* sp. PSRU03 ที่พร้อมในการหมักอังคัก

1.2 การหมักข้าวแดง

ทำการหมักข้าวแดงด้วยข้าว (*Oryza sativa* L.) 5 สายพันธุ์ แบ่งเป็นข้าวเจ้า 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวพิจิตร (Khao Gaw Diaw 35) ข้าวหอมมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105) ข้าวหอมสุรินทร์ (Khao Dawk Mali Surin) ข้าวหอมปทุม (Pathumthani 1) และข้าวเหนียว 1 สายพันธุ์ คือ กข 6 (RD 6) โดยล้างข้าวให้สะอาดด้วยน้ำประปา แช่น้ำในอัตรา 1:4 นาน 16-20 ชั่วโมง จากนั้นทำให้สะเด็ดน้ำ แบ่งบรรจุข้าว 50 กรัม ใส่ในฟลาสค์ ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดปากฟลาสค์ด้วยสำลีและหุ้มด้วยกระดาษ นำไปนึ่งให้สุกด้วยหม้อนึ่งความดันไอนาน 40 นาที ปล่อยให้ข้าวเย็นลง เติมกล้าเชื้อ *Monascus* sp. PSRU03 ที่เตรียมได้จากข้อ 1.1 โดยใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ตัดบริเวณขอบโคโลนีของเชื้อราใส่ฟลาสค์ละ 5 ชิ้น บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในตู้อบแห้งแบบลมร้อน จนได้ค่า water activity ต่ำกว่า 0.5 แล้วบดข้าวแดงให้ละเอียดเป็นผงด้วยเครื่องปั่นร่อนด้วยตะแกรงขนาด 60 เมช ได้ผงข้าวแดงสำหรับนำไปตรวจวิเคราะห์หาค่าสี L* a* b* รงควัตถุ และคุณภาพการต้านออกซิเดชันต่อไป สำหรับชุดควบคุมใช้ข้าวของแต่ละสายพันธุ์ที่ผ่านการนึ่งสุก อบให้แห้ง บดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช ก่อนนำไปตรวจวิเคราะห์เช่นกัน

2. การวัดค่าสี L* a* b*

วัดค่าสี L* a* b* ของข้าวที่ไม่ผ่านการหมักและข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์ด้วยเครื่องวัดสี Minolta (CR-10, Japan)

3. การสกัดรงควัตถุ

สกัดผงข้าวแดงและข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก 1 กรัม ด้วยตัวทำละลายเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในเครื่อง ultrasound นาน 30 นาที ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1,008 xg (Eppendorf Centrifuge 5403, Germany) นาน 20 นาที เก็บสารละลายเฉพาะส่วนใสด้านบนใส่หลอดอันใหม่ เก็บสารสกัดในที่มืดอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์รงควัตถุและคุณภาพการต้านออกซิเดชันต่อไป

4. การวิเคราะห์รงควัตถุในสารสกัดข้าว

วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดข้าว โดยวัดรงควัตถุสีแดงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร รงควัตถุสีเหลืองที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร และรงควัตถุสีส้มที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Spectrophotometer evolution 201, USA) คำนวณปริมาณรงควัตถุ โดยรงควัตถุ 1 หน่วย (unit) คือสารเมตาบอไลต์จากราโมแนสคัสที่มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 470 และ 500 นาโนเมตร เท่ากับ 1 (Pattanagul et al., 2008; Ungureanu et al., 2009)

5. การวิเคราะห์สมบัติการต้านออกซิเดชันในข้าว

5.1 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอล (total phenolic compounds)

ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลในสารสกัดตามวิธีของ Luque-Rodriguez et al. (2007) โดยผสมสารสกัด 400 ไมโครลิตร กับสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ที่มีความเข้มข้น 0.25 นอร์มัล ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 (w/v) ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดี และบ่มหลอดทดสอบในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และบ่มต่อในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร คำนวณหา

ปริมาณสารประกอบฟีนอลในหน่วย mg gallic acid equivalent (GAE)/g dried matter (DM) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสาร gallic acid ซึ่งมีค่า R^2 เป็น 0.996

5.2 การตรวจฤทธิ์ DPPH radical – scavenging activity (DPPH)

ตรวจค่า DPPH ในสารสกัด โดยผสมสารสกัด 1 มิลลิลิตร กับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดี บ่มในที่มืดนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (ดัดแปลงจาก Nuengchamnong et al., 2009) สำหรับชุดควบคุมใช้เมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 แทนสารสกัด คำนวณค่า DPPH จากสูตร

$$\text{DPPH (ร้อยละ)} = \frac{[1 - (\text{ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่าง})] \times 100}{\text{ค่าดูดกลืนแสงของชุดควบคุม}}$$

5.3 การตรวจฤทธิ์ Inhibition on linoleic acid peroxidation (ILP)

ตรวจวิเคราะห์ค่า ILP ด้วยวิธี thiocyanate method (Kuo et al., 2009) เตรียมสารละลาย linoleic acid emulsion ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ โดยการผสม linoleic acid จำนวน 0.28 กรัม กับ Tween 20 จำนวน 0.28 กรัม และ phosphate buffer (pH 7.0) ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าสารให้เข้ากันดี ปิเปตสารละลาย linoleic acid emulsion ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารสกัดและ phosphate buffer (ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และ pH 7.0) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มในที่มืด อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง สุ่มตัวอย่าง ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 75 ปริมาตร 4.7 มิลลิลิตร สารละลาย ammonium thiocyanate ความเข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร และสารละลาย ferrous chloride (ละลายใน HCl ความเข้มข้นร้อยละ 3.5) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยานาน 3 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer สำหรับชุดควบคุมใช้สารละลายเมทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 แทนสารสกัด คำนวณค่า inhibition on linoleic acid peroxidation จากสูตร

$$\text{ILP (ร้อยละ)} = \frac{[1 - (\text{ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่าง})] \times 100}{\text{ค่าดูดกลืนแสงของชุดควบคุม}}$$

6. การวางแผนการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ผลการวิจัย

1. ค่าสีของข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์

ค่าสี L* a* b* ของข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์และข้าวที่ไม่ผ่านการหมักแสดงในตารางที่ 1 ค่าสี L* แสดงถึงค่าความสว่าง โดยมีค่าระหว่าง 0 (สีดำ) – 100 (สว่างมากหรือสีขาว) ขณะที่ค่าสี a* คือค่าสีแดงเมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าสีเขียวเมื่อมีค่าเป็นลบ และค่า b* ที่เป็นบวกแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลืองแต่ถ้าค่า b* เป็นลบแสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน ผลการศึกษาพบว่าข้าวก่อนหมักมีค่าความสว่างค่อนข้างสูง 77.97-82.40 ซึ่งอยู่ในโทนสีขาว และเมื่อเปรียบเทียบค่าสี L* a* b* ของข้าวแดงกับข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก (ชุดควบคุม) พบว่า ค่า L* ซึ่งแสดงค่าความสว่างของข้าวแดงมีค่าลดลงร้อยละ 63-69 เมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้หมัก โดยข้าวแดงที่หมักจากข้าวเหนียว กข 6 กับข้าวเจ้าหอมปทุมมีค่าความสว่างลดลงมากที่สุด ข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์มีค่าความสว่างแตกต่างกัน โดยมีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 24.63-30.83 โดยข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวหอมปทุมมีค่าสี L* ต่ำที่สุดและข้าวแดงจากข้าวขาวพิจิตรมีค่าสี L* สูงที่สุด

ค่าสีแดงของข้าวก่อนหมักมีค่าต่ำมากโดยมีค่า a* อยู่ในช่วง 1.53-2.03 และข้าวที่ผ่านการหมักมีค่าสี a* เป็นบวกเพิ่มมากขึ้นอยู่ในช่วง 18.65-25.00 ซึ่งบ่งชี้ว่าข้าวมีสีแดงเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวก่อนหมักพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดงร้อยละ 1,044-1,239 โดยข้าวแดงจากข้าว กข 6 มีค่าสีแดงต่ำที่สุดและข้าวแดงจากข้าวขาวพิจิตรมีค่าสีแดงสูงที่สุด

สำหรับค่า b* ของข้าวก่อนหมักและหลังการหมักมีค่าเป็นบวก จึงจัดอยู่ในโทนสีเหลือง ค่าสี b* ของข้าวแดงเปลี่ยนแปลงจากข้าวก่อนหมักเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์ พบว่า ค่าสี b* มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 14.80-17.87

ตารางที่ 1 ค่าสี L* a* b* ในข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์

ค่าสี	สายพันธุ์ข้าว				
	กข 6	**ขาวพิจิตร**	**หอมมะลิ 105**	**หอมสุรินทร์**	**หอมปทุม**
ข้าวก่อนหมัก					
L*ns	81.33 ± 1.63	82.40 ± 1.05	79.03 ± 3.23	79.77 ± 4.20	77.97 ± 4.77
a*ns	1.53 ± 0.55	2.03 ± 0.60	1.77 ± 0.32	1.90 ± 0.44	1.57 ± 0.55
b*ns	17.77 ± 0.67	16.57 ± 0.49	17.00 ± 0.56	16.30 ± 0.66	15.90 ± 2.35
ข้าวแดง					
L*	25.55 ± 2.19bc	30.83 ± 0.40a	29.00 ± 0.70a	27.30 ± 1.42ab	24.63 ± 0.83c
a*	18.65 ± 1.06b	25.00 ± 1.13a	23.70 ± 1.65ab	21.73 ± 0.92ab	21.03 ± 1.74ab
b*	16.20 ± 2.40abc	17.87 ± 0.61a	17.20 ± 0.10ab	15.73 ± 0.47bc	14.80 ± 0.60c

ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำหนดค่าของข้อมูลในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และ ns = not significant แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

2. รงควัตถุในข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์

จากการตรวจวิเคราะห์รงควัตถุสีเหลือง สีแดง และสีส้มในสารสกัดข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์ เปรียบเทียบกับข้าวก่อนหมัก พบว่า ข้าวก่อนหมักตรวจไม่พบรงควัตถุทั้ง 3 สี ขณะที่ข้าวแดงที่ผลิตข้าวสายพันธุ์ต่างๆ มีปริมาณรงควัตถุที่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 108.70 – 353.4 units/g DM (ตารางที่ 2) บ่งชี้ว่ารงควัตถุในข้าวแดงเกิดขึ้นจากกระบวนการหมักข้าวด้วยราโมแนสคัส สายพันธุ์ PSRU03 อย่างชัดเจน

ชนิดและสายพันธุ์ของข้าวมีผลต่อการสร้างรงควัตถุของราโมแนสคัส โดยข้าวแดงที่หมักจากข้าวเจ้ามีปริมาณของรงควัตถุทั้งหมดสูงกว่าข้าวแดงจากข้าวเหนียวร้อยละ 131-225 และในกลุ่มของข้าวเจ้าที่นำมาศึกษาทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่าข้าวแดงจากข้าวหอมมะลิและหอมสุรินทร์มีปริมาณรงควัตถุสีแดง สีเหลืองและสีส้มมากกว่าข้าวสายพันธุ์อื่น ข้าวแดงที่หมักจาก *Monascus* sp. PSRU03 มีรงควัตถุสีเหลืองมากที่สุดคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 48-56 ของรงควัตถุทั้งหมด และมีปริมาณของรงควัตถุสีแดงและสีส้มในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือ สัดส่วนร้อยละ 20-26 และ 20-25 ของรงควัตถุทั้งหมด สอดคล้องกับรายงานของอุทัยวรรณและเกตุการ (2557) ที่ตรวจพบรงควัตถุสีเหลืองในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่หมักจาก *Monascus* sp. PSRU03 ในสัดส่วนที่มากกว่ารงควัตถุสีแดงและสีส้มเช่นเดียวกัน ปริมาณของรงควัตถุสีแดงที่ผลิตได้จาก *Monascus* sp. PSRU03 ของงานวิจัยนี้ (22.05-90.30 units/g DM) มีปริมาณสูงกว่าข้าวแดงที่ได้จากการหมักข้าวเหนียวก่ำ กข 6 สันป่าตอง 1 และข้าวเจ้าหอมมะลิด้วยกล้าเชื้อ *M. purpureus* CMU001 ในรายงานของ Chairote et al. (2007) ซึ่งมีรงควัตถุสีแดงอยู่ 1.42-39.90 AU/g

ตารางที่ 2 ปริมาณรงควัตถุ (units/g DM) ในข้าวก่อนหมักและข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์

รงควัตถุ	สายพันธุ์ข้าว				
	กข 6	ขาวพิจิตร	หอมมะลิ 105	หอมสุรินทร์	หอมปทุม
ข้าวก่อนหมัก					
สีแดง^{ns}	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.06 ± 0.00
สีเหลือง^{ns}	0.05 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.06 ± 0.00
สีส้ม^{ns}	0.12 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.14 ± 0.00	0.12 ± 0.00	0.14 ± 0.00
รวม^{ns}	0.21 ± 0.00	0.18 ± 0.00	0.22 ± 0.00	0.28 ± 0.00	0.26 ± 0.00
ข้าวแดง					
สีแดง	22.05 ± 0.05c	64.60 ± 2.60b	88.40 ± 0.40a	90.30 ± 8.10a	65.60 ± 3.68b
สีเหลือง	60.90 ± 5.90c	127.93 ± 2.20b	182.00 ± 8.60a	165.10 ± 0.90a	150.40 ± 27.20b
สีส้ม	25.75 ± 1.25d	64.20 ± 2.80c	83.00 ± 3.60a	85.73 ± 10.39a	54.20 ± 9.20bc
รวม	108.07 ± 7.20c	256.73 ± 3.83b	353.40 ± 7.45a	341.13 ± 17.77a	270.20 ± 25.96b

ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำหนดค่าของข้อมูลในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และ ns = not significant แสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

3. คุณภาพการต้านออกซิเดชันของข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์

3.1 สารประกอบฟีนอลในข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์

ปริมาณสารประกอบฟีนอลในข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวเจ้าและข้าวเหนียวแสดงในตารางที่ 3

ข้าวหลังจากการหมักด้วยรา *Monascus* sp. PSRU03 สามารถตรวจพบสารประกอบฟีนอลในปริมาณที่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 7.94 – 12.33 mg GAE/g DM ขณะที่ข้าวที่ไม่ผ่านการหมักตรวจไม่พบสารประกอบฟีนอล แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลในข้าวแดงเกิดจากการสร้างขึ้นของราโมแนสคัสในระหว่างการเจริญในข้าว และข้าวแดงจากข้าวเจ้ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าข้าวเหนียว คิดเป็นร้อยละ 28 -55 ซึ่งแตกต่างกับรายงานของ Chairote et al. (2009) ที่พบว่าข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวเจ้า และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลในข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวเจ้า พบว่า ข้าวแดงจากข้าวหอมมะลิมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุดแต่มีปริมาณไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) กับข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวหอมสุรินทร์และข้าวหอมปทุม

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอล (mg GAE/g DM) ในข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์

สายพันธุ์ข้าว	ข้าวไม่หมัก	ข้าวแดง
กข 6	ND	7.94 ± 0.69c
ขาวพิจิตร	ND	10.16 ± 1.06b
หอมมะลิ 105	ND	12.33 ± 1.48a
หอมสุรินทร์	ND	10.51 ± 0.88ab
หอมปทุม	ND	11.30 ± 0.23ab

ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำหนดค่าของข้อมูลในคอลัมน์เดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และ ND = Not Detected

3.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์

จากการตรวจวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในสารสกัดข้าวแดงและข้าวที่ไม่ผ่านการหมัก พบว่า ข้าวที่ไม่ผ่านการหมักมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงร้อยละ 17.17 - 26.06 โดยข้าวเหนียว กข 6 และข้าวหอมปทุมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวสายพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 4) และหลังการหมักข้าวด้วยราโมแนสคัส นาน 10 วัน พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 67.24 -93.25 โดยข้าวขาวพิจิตร ข้าวหอมมะลิ และข้าวหอมสุรินทร์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ 4 เท่า ส่วนข้าวเหนียว กข 6 และข้าวหอมปทุมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น 2 เท่าเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่หมัก และข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวขาวพิจิตรมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดใกล้เคียงกับข้าวแดงจากข้าวหอมมะลิและข้าวหอมสุรินทร์

ตารางที่ 4 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ร้อยละ) ในข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์

สายพันธุ์ข้าว	ข้าวไม่หมัก	ข้าวแดง
กข 6	25.74 ± 1.90a	67.24 ± 4.85b
ขาวพิจิตร	17.68 ± 4.21b	93.25 ± 6.88a
หอมมะลิ 105	17.17 ± 0.66b	90.94 ± 2.21a
หอมสุรินทร์	18.03 ± 4.55b	85.05 ± 3.55a
หอมปทุม	26.06 ± 0.71a	70.95 ± 7.58b

ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำหนดค่าของข้อมูลในคอลัมน์เดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3.3 ฤทธิ์ยับยั้ง ILP ของข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์

จากการตรวจวัดฤทธิ์ยับยั้ง ILP ในสารสกัดข้าว พบว่าข้าวที่ไม่ผ่านการหมักมีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันต่ำอยู่ในช่วงร้อยละ 1.95-7.29 โดยข้าวเหนียว กข 6 ข้าวหอมมะลิและข้าวหอมปทุมมีฤทธิ์ยับยั้ง lipid peroxidation สูงกว่าข้าวสายพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 5) และฤทธิ์ ILP มีค่าเพิ่มขึ้นหลังการหมักข้าวด้วยราโมแนสคัส 8 - 34 เท่า โดยข้าวแดงมีฤทธิ์ ILP อยู่ในช่วงร้อยละ 62.11 - 76.39 ข้าวแดงจากข้าวหอมสุรินทร์มีฤทธิ์ ILP สูงกว่าข้าวแดงจากข้าว กข 6 และหอมมะลิ ร้อยละ 23 และ 12 ตามลำดับ แต่มีค่าไม่แตกต่างกับข้าวแดงจากข้าวขาวพิจิตรและหอมปทุม

ตารางที่ 5 ฤทธิ์ยับยั้ง inhibition on lipid peroxidation (ร้อยละ) ในข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวต่างสายพันธุ์

สายพันธุ์ข้าว	ข้าวไม่หมัก	ข้าวแดง
กข 6	7.05 ± 0.00a	62.11 ± 3.04b
ขาวพิจิตร	1.95 ± 0.00b	69.32 ± 0.22ab
หอมมะลิ 105	7.29 ± 0.00a	68.00 ± 3.14ab
หอมสุรินทร์	3.92 ± 0.00b	76.39 ± 9.09a
หอมปทุม	6.06 ± 0.00a	63.34 ± 0.87ab

ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำหนดค่าของข้อมูลในคอลัมน์เดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

ราโมแนสคัสสามารถสร้างรงควัตถุหรือสารสีผ่านทาง polyketide pathway แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ รงควัตถุสีแดง คือ สารสี rubropunctamine และ monascorubramine รงควัตถุสีเหลือง คือ monascin และ ankaflavin และรงควัตถุสีส้ม คือ rubropunctatin และ monascorubrin (Lin et al., 2008) มีรายงานที่บ่งชี้ว่าสารสีกลุ่มสีเหลือง monascin และ ankaflavin

มีฤทธิ์ในการยับยั้งการอักเสบ ต้านออกซิเดชัน และลดไขมันในเลือด (Lee et al., 2006; Kim et al., 2010; Lin et al., 2011) ช่วยปรับปรุงความสามารถในการจำและการเรียนรู้ของหนูที่ถูกกระตุ้นให้เป็นโรคอัลไซเมอร์ (Lee et al., 2015) และงานวิจัยนี้พบว่ารงควัตถุในข้าวแดงที่หมักจากรา *Monascus* sp. PSRU03 ส่วนใหญ่คือ รงควัตถุสีเหลือง ขณะที่รายงานของ Chairote et al. (2007) ระบุว่า สารสกัดข้าวแดงที่หมักจากรา *M. purpureus* CMU001 มีรงควัตถุสีแดงมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงของรงควัตถุสีแดงมากที่สุด ดังนั้นข้าวแดงที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้จึงมีประโยชน์ต่อร่างกายสูงหากมีการนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร

ข้าวแดงที่หมักจากข้าวเจ้ามีปริมาณของรงควัตถุสูงกว่าข้าวแดงจากข้าวเหนียว และข้าวแดงจากข้าวเจ้าแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณของรงควัตถุแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากความแตกต่างของปริมาณอะมิโลสในเมล็ดข้าวแต่ละชนิด โดยรายงานของอรัญและคณะ (2531) ระบุว่า ข้าวที่มีองค์ประกอบของอะมิโลสสูง มีความเหมาะสมในการผลิตข้าวแดงมากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ โดยทั่วไปข้าวเจ้ามีองค์ประกอบของอะมิโลสสูงกว่าข้าวเหนียว ซึ่งข้าวเหนียว กข 6 จัดอยู่ในกลุ่มของข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ (ประมาณร้อยละ 3.8) ขณะที่ข้าวเจ้าหอมมะลิ จัดเป็นข้าวที่มีปริมาณอะมิโลส ปานกลาง (ประมาณร้อยละ 13-18) (รุ่งนภาและคณะ, 2546)

ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานของเรณูและคณะ (2547) ที่พบว่าข้าวแดงจากข้าวเหนียวมีปริมาณสารสีแดงมากกว่าข้าวแดงจากข้าวเจ้า ขณะที่รายงานของ Palo et al. (1960) พบว่า ข้าวแดงที่ผลิตจากข้าวเหนียวเขี้ยวงูมีสีแดงเข้มใกล้เคียงกับข้าวแดงจากข้าวหอมมะลิแต่มีกลิ่นหอมของเอสเทอร์ผสมกับแอลกอฮอล์มากกว่า และรายงานของ Chairote et al. (2007) ที่ระบุว่าข้าวแดงจากข้าวเหนียว กข 6 และข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 มีปริมาณของสารสีแดงมากกว่าข้าวแดงจากข้าวเจ้าหอมมะลิ 105

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่ารงควัตถุและคุณภาพการต้านออกซิเดชันทั้งสารประกอบฟีนอล ฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ lipid peroxidation ในข้าวแดงถูกสร้างขึ้นโดยรา *Monascus* sp. PSRU03 ในระหว่างการหมักข้าว และมีรายงานที่ระบุว่าข้าวแดง มีสารอื่นที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันและยังทำหน้าที่ในการช่วยป้องกันอันตรายที่เกิดกับตับจากสารพิษ คือ สารสีเหลืองxanthomonasin สารสีส้ม glycylrubropunctatin และ glycylmonascorubrin รวมทั้งกรด laccaia สาร curcumin และกรด dimerumic (Radu et al., 2011)

นอกจากรงควัตถุและสารต้านออกซิเดชันแล้ว ยังมีรายงานการตรวจพบสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายที่ราโมแนสคัสสร้างขึ้นมาในระหว่างการเจริญในข้าวแดง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารโมนาโคลิน (monacolin) ซึ่งมีการตรวจพบมากถึง 14 ชนิด และโมนาโคลินเคเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการสร้างและลดคอเลสเตอรอล ในร่างกาย (Alberts et al., 1980; Hajjaj et al., 2001; Wang et al., 1997) และรายงานของ Lin et al. (2005) ระบุว่าการบริโภคข้าวแดงช่วยลดไขมันชนิด LDL ได้ร้อยละ 27.7 ลดคอเลสเตอรอลทั้งหมดได้ร้อยละ 21.5 ลดไตรกลีเซอไรด์ได้ร้อยละ 15.8 และลดไขมัน apolipoprotein ชนิด B ได้ร้อยละ 26 ขณะเดียวกันช่วยให้ร่างกายสร้างไขมันชนิดดี คือ ไขมัน HDL และ apolipoprotein ชนิด A ได้ร้อยละ 0.9 และ 3.4 ตามลำดับ นอกจากนี้ข้าวแดงยังช่วยลดน้ำตาลในเลือด (Wang and Lin, 2007) และช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน (Wong and Rabie, 2008)

สรุปผลการวิจัย

ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ารา *Monascus* sp. PSRU03 มีความสามารถในการผลิต รงควัตถุสีแดง สีส้ม สีเหลือง และสารต้านออกซิเดชันในข้าวต่างสายพันธุ์ได้ โดยข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวหอมสุรินทร์มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารสีที่มีคุณภาพการต้านออกซิเดชันสูง และหากมีการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารจะทำให้ได้สีจากธรรมชาติและยังอุดมด้วยสารต้านออกซิเดชันที่มีประโยชน์ต่อร่างกายอีกด้วย อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาปริมาณของสารพิษซิตรินินในข้าวแดงด้วยวิธีวิเคราะห์ขั้นสูงก่อนนำไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคแม้ว่ารา *Monascus* sp. PSRU03 จะผ่านการทดสอบการสร้างสารพิษต่ำด้วยวิธีชีวภาพจากการต้านจุลินทรีย์แล้วก็ตาม

เอกสารอ้างอิง

เกตุการ ดาจันทา. (2554). การคัดเลือกราโมแนสคัสสายพันธุ์ที่สร้างสารพิษต่ำเพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตสารสีที่ปลอดภัยจากข้าวแดง. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

นันทญาภรณ์ ชัยมงคล. (2546). สภาวะการผลิตรงควัตถุสีแดงและโมนาโคลิน เค จากเชื้อรา *Monascus purpureus*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. 170 หน้า.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต กล้าณรงค์ ศรีนอต เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ ไชยรัตน์ เพ็ชรชลานุวัฒน์ รุ่งทิวา วันสุขศรี และบัญทิวา นิลจันทร์. (2546). การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

เรณู ปิ่นทอง ศศิธร ใบผ่อง และพัชรินทร์ ระวียัน. (2547). ผลของโมโนโซเดียมกลูตาเมตและฮีสติดีที่มีต่อการสร้างสารสีแดงและซิตรินินในข้าวแดง. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

วิเชียร ลีลาวัชรมาศ. (2548). สารอาหารสุขภาพ อังกัก (Ankak). วารสารจาร์พา 86: 76-78.

อรัญ หันพงศ์เจริญ เมธินี เห่วซึ่งเจริญ และเรณู ปิ่นทอง. (2531). ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าวแดงโดย *Monascus purpureus*. วารสารเกษตร 4: 125-128.

อุทัยวรรณ ฉัตรธง และเกตุการ ดาจันทา. (2557). การสร้างโมนาโคลิน ซิตรินิน และสารสีในอังคักจากเศษเหลือเส้นก๋วยเตี๋ยวที่หมักด้วยราโมแนสคัสต่างสายพันธุ์. วารสารวิจัย มข. 19(2): 215-222.

Akihisa, T., Tokuda, H., Ukiya, M., Kiyota, A., Yasukawa, K., Sakamoto, N., Kimura, Y., Suzuki, T., Takayasu, J. and Nishino, H. (2005). Anti-tumorinitiating effects of monascin, an azaphilonoid pigment from the extract of *Monascus pilosus* fermented rice (red-mold rice). Chem Biodivers. 2: 1305–1309.

Alberts, A.W., Chen, J., Kuron, G., Hunt, V., Huff, J. and Hoffman, C. (1980). Mevinolin: A highly potent competitive inhibitor of hydroxymethyl glutaryl coenzyme A reductase and cholesterol lowering agent. Proc Natl Acad Sci USA. 77(7): 3957–3961.

Chairote, E., Chairote, G., Wongpornchai, S. and Lumyong, S. (2007). Preparation of red yeast rice using various Thai glutinous rice and *Monascus purpureus* CMU001 isolated from commercial Chinese red yeast rice sample. KMITL Sci Tech J. 7: 28-37.

Chairote, E.O., Chairote, G. and Lumyong, S. (2009). Red yeast rice prepared from Thai glutinous rice and the antioxidant activities. Chiang Mai J Sci. 36(1): 42-49.

Dufossé, L., Galaup, P., Yaron, A., Arad, S.M., Blance, P., Murthy, K.N.C. and Ravishankar, G.A. (2005). Microorganisms and microalgae as sources of pigments for food use: a scientific oddity or an industrial reality. Trends Food Sci Tech. 16: 389-406.

Guardamagna, O., Abello, F., Baracco, V., Stasiowska, B. and Martino, F. (2011). The treatment of hypercholesterolemic children: efficacy and safety of a combination of red yeast rice extract and policosanols. Nutr Metab Cardiovas Dis. 21(6): 424-429.

Hajjaj, H., Niedberger, P. and Duboc, P. (2001). Lovastatin biosynthesis by *Aspergillus terreus* in a chemically defined medium. Appl Environ Microbiol. 67(6): 2596–2604.

Hong, M.Y., Seeram, N.P., Zhang, Y. and Heber, D. (2008). Anticancer effects of Chinese red yeast rice versus monacolin K alone on colon cancer cells. J Nutr Biochem. 19: 448-458.

Kim, J.H., Kim, Y.O., Jeun, J., Choi, D.Y. and Shin, C.S. (2010). L-Trp and L-Leu-OEt derivatives of the Monascus pigment exert high anti-obesity effects on mice. Biosci Biotechnol Biochem. 74: 304–308.

Kuo, C.F., Hou, M.H., Wang, T.S., Chyau, C.C. and Chen, Y.T. (2009). Enhanced antioxidant activity of *Monascus pilosus* fermented products by addition of ginger to the medium. Food Chem. 116: 915-922.

Lee, C.-L., Lin, P.-Y. and Hsu, Y.-W. (2015). *Monascus*-fermented monascin and ankaflavin improve the memory and learning ability in amyloid β-protein intracerebroventricular-infused rat via the suppression of Alzheimer's disease risk factors. J Funct Foods. 18: 387-399.

Lee, C.L., Wang, J.-J., Kuo, S.-L. and Pan, T.-M. (2006). *Monascus* fermentation of dioscorea for increasing the production of cholesterol-lowering agent—monacolin K and antiinflammation agent—monascin. Appl Microbiol Biotechnol. 72: 1254–1262.

Lin, C.C., Li, T.-C. and Lai, M.-M. (2005). Efficacy and safety of *Monascus purpureus* went rice in subjects with hyperlipidemia. Eur J Endocrinol. 153: 679-686.

Lin, C.P., Lin, Y.L., Huang, P.H., Tsai, H.S. and Chen, Y.H. (2011). Inhibition of endothelial adhesion molecule expression by *Monascus purpureus*-fermented rice metabolites, monacolin K, ankaflavin, and monascin. J Sci Food Agric. 91: 1751–1758.

Lin, Y.-L., Wang, T.-H., Lee, M.-H. and Su, N.-W. (2008). Biologically active compounds and nutraceuticals in the *Monascus*-fermented rice: a review. Appl Microbiol Biotechnol. 77: 965-973.

Luque-Rodrıguez, J.M., Luque de Castro, M.D., and Perez-Juan, P. (2007). Dynamic superheated liquid extraction of anthocyanins and other phenolics from red grape skins of winemaking residues. Bioresource Technol. 98: 2705–2713.

Martinkova, L., Juzlova, P. and Vesely, D. (1995). Biological-activity of polyketide pigments produced by the fungus *Monascus*. J Appl Bacteriol. 79: 609–616.

Nuengchamnong, N., Krittasilp, K. and Ingkaninan, K. (2009). Rapid screening and identification of antioxidants in aqueous extracts of *Houttuynia cordata* using LC-ESI-MS coupled with DPPH assay. Food Chem. 117: 750-756.

Palo, M.A., Vidal-Adeva, L. and Maceda, L. (1960). Study on ang-kak and its production. Philipp J Sci Soc. 89: 1-22.

Pattanagul, P., Pinthong, R., Phianmongkhol, A., Tharatha, S. (2008). Mevinolin, citrinin and pigments of adlay angkak fermented by *Monascus* sp. Int J Food Microbiol. 126: 20–23.

Qin, S., Zhang, W., Qi, P., Zhao, M., Dang, Z., Li, Y., Zu, X., Fang, Z., Fu, L., Rasheva, T., Hallet, N.J. and Kujumdzieva, A. (1998). Taxonomic investigation of *Monascus purpureus* 94-25 strain. Journal of Culture Collection 2: 155-157.

Radu, N., Marianthi, S., Ferdes, M. and Voicescu, M. (2011). Therapeutic effect of Monascus metabolites. Proceeding of the 4rd International Symposium NEW Research in Biotechnology Usamv Bucharest, Romania.

Taira, J., Miyagi, C. and Aniya, Y. (2002). Dimerumic acid as an antioxidant from the mold, *Monascus anka*: the inhibition mechanisms against lipid peroxidation and hemeprotein-mediated oxidation. Biochem Pharmacol. 63: 1019–1026.

Ungureanu, C., Ferdes, M., Chirvase, A.A. and Radu, N. (2009). Study of relationship concerning the pigment production and growth rate for five mutants strains of *Monascus purpureus*. Chem Eng Trans. 17: 1149-1154.

Venero, C.V., Venero, J.V., Wortham, D.C. and Thompson, P.D. (2010). Lipid-lowering efficacy of red yeast rice in a population intolerant to statins. Am J Cardiol. 105: 664-666.

Wang, I.K., Lin-Shiau, S.Y., Chen, P.C. and Lin, J.K. (2000). Hypertriglyceridemic effect of anka (a fermented rice product of *Monascus* sp.) in rat. J Agric Food Chem. 48: 3183-3189.

Wang, J., Lu, Z., Chi, J., Wang, W., Su, M. and Kou, W. (1997). Multicenter clinical trial of the serum lipid-lowering effects of a *Monascus purpureus* (red yeast) rice preparation from traditional Chinese medicine. Curr Ther Res. 58(12): 964–978.

Wang, T.H., and Lin, T.F. (2007). *Monascus* rice products. Adv Food Nutr Res. 53: 123–159.

Wei, W., Li, C., Wang, Y., Huaide, S., Zhu, J. and Kritchevsky, D. (2003). Hypolipidemic and anti-atherogenic effects of long-term cholestin (*Monascus purpureus*-fermented rice, red yeast rice) in cholesterol fed rabbits. J Nutr Biochem. 14: 314-318.

Wong, R.W.K., and Rabie, B. (2008). Chinese red yeast rice (*Monascus pupureus* fermented-rice) promotes bone formation. Chin Med. 3: 1-6.

Yasukawa, K., Akihisa, T., Oinuma, H., Kaminaga, T., Kanno, H., Kasahara, Y., Tamura, T., Kumaki, K., Yamanouchi, S. and Takido, M. (1996). Inhibitory effect of taraxastane-type triterpenes on tumor promotion by 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate in two-stage carcino-genesis in mouse skin. Oncology 53: 341–344.

Yasukawa, K., Takahashi, M., Natori, S., Kawai, K., Yamazaki, M., Takeuchi, M., and Takido, M. (1994). Azaphilones inhibit tumor promotion by 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate in 2-stage carcinogenesis in Mice. Oncology 51: 108–112.

❑❑❑❑❑