สมบัติเชิงหน้าที่ของข้าวไทย : การต้านอนุมูลอิสระ และการส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพ

Functional Properties of Thai Rice: Antioxidant Capacity and the Synergistic Effects of Probiotic Growth

นิพัฒน์ ลิ้มสงวน*

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

ประมวล ทรายทอง

ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Nipat Limsangouan*

Department of Food Processing and Preservation, Institute of Food Research and Product Development,

Kasetsart University, Bangkhen Campus, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

Pramuan Saithong

Department of Applied Biotechnology, Institute of Food Research and Product Development,

Kasetsart University, Bangkhen Campus, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

ศึกษาสมบัติในการเสริมสร้างสุขภาพของข้าวไทย 8 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวขาวตาแห้ง ข้าวเหลืองประทิว ข้าวดอย ข้าวเหนียวดำ ข้าวหอมนิล ข้าวสังข์หยด และข้าวหอมแดง โดยศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH radical-scavenging method, ABTS radical cation decolorization assay และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก) และส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Lactobacillus bulgaricus* TISTR 451, *Lactobacillus lactis* TISTR 452 และ *Lactobacillus casei* TISTR 453 (การวัดความขุ่น การนับจำนวนเซลล์ และปริมาณแป้งรีซิสแตนท์) พบว่าข้าวต่างชนิดกันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ข้าวที่มีรงควัตถุเคลือบที่ผิว มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง โดยเฉพาะข้าวหอมแดงและข้าวหอมนิล เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพ พบว่าจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ สามารถใช้แหล่งคาร์บอนจากข้าวแต่ละชนิดใกล้เคียงกัน แต่พบสูงสุดในตัวอย่างข้าวเหลืองประทิว ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแป้งรีซิสแตนท์ที่มีมากกว่าข้าวชนิดอื่น ๆ

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** ifrnpl@ku.ac.th

คำสำคัญ : ข้าว; ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ; แป้งรีซิสแตนท์; จุลินทรีย์สุขภาพ

Abstract

Functional properties of eight varieties of Thai rice (Khao Dawk Mali 105, Khao Tah Haeng, Leuang Pratew, Khao Doi, Purple Rice, Khao Hawm Nin, Sang Yod and Red Hawm) were studied for antioxidant capacity (DPPH radical-scavenging method, ABTS radical cation decolorization assay and total phenolic) and the synergistic effects of probiotic (*Lactobacillus bulgaricus* TISTR 451, *Lactobacillus lactis* TISTR 452 and *Lactobacillus casei* TISTR 453) microorganism growth (turbidimetrically, probiotic cell count and resistant starch content). The result showed that the colored rice have more antioxidant efficiency than the non-colored rice ($p < 0.05$). Especially, Red hawm rice and Hawm Nin rice were found to have the highest antioxidant capacity compared to the other rice. When synergistic effects of 3 probiotics were studied, the result showed that three probiotics could use the carbon-source from those rice varieties. Leuang Pratew and Khao Tah Haeng rice exhibited the highest synergistic effect of probiotic growth according to the high level of resistant starch content.

Keywords: rice; antioxidant capacity; resistant starch; probiotic

1. บทนำ

ข้าวเป็นธัญพืชหลักที่ใช้บริโภคโดยเฉพาะในเอเชีย สำหรับประเทศไทย มีอัตราการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศ และส่งออกต่างประเทศ ค่อนข้างสูง จึงจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ การบริโภคข้าวนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการที่ได้รับแล้ว ยังพบคุณค่าเชิงสุขภาพจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ สืบเนื่องมาจากในปัจจุบันกระแสความสนใจในการศึกษาและวิจัยสมบัติในการเป็นสารเสริมสร้างสุขภาพจากวัตถุดิบทางธรรมชาติ เช่น ผัก ผลไม้ และสมุนไพร แพร่หลายในวงวิชาการทั่วโลก โดยวัตถุประสงค์ในการวิจัยเพื่อนำองค์ความรู้ดังกล่าวมาวิเคราะห์ และประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ เพื่อนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารทั้งในระดับครัวเรือน และอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่หันมาดูแลสุขภาพของตนเองมากขึ้น ด้วยการรับประทานอาหารที่นอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการที่ได้รับ ยังได้รับประโยชน์จากสารเสริม สร้างสุขภาพจากอาหารดังกล่าวอีกทางหนึ่งด้วย สมบัติในการเสริมสร้างสุขภาพที่ได้รับความสนใจเป็นอันมาก ได้แก่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง [1,2] แล้วยังมีผลต่อการชะลอความเสื่อมสภาพของร่างกาย [3,4] และความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพ [5,6] ซึ่งความสามารถดังกล่าวข้างต้นสามารถพบได้ในข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

Chung และ Shin [7] ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวซึ่งมีรงควัตถุในกลุ่มแอนโทไซยานินส์ พบว่าข้าวดังกล่าวมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังช่วยในการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมทั้งปรับปรุงสีและรสชาติของอาหารที่ใช้ข้าวชนิดนี้

เป็นวัตถุดิบ ในขณะที่ Shao และคณะ [8] ศึกษาสมบัติดังกล่าวในข้าว 15 พันธุ์ ทั้งข้าวสีและข้าวขาว พบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน โดยพบว่าข้าวสีมีฤทธิ์ดังกล่าวที่สูงกว่า นอกจากนี้ Goufo และ Trindade [9] ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารสำคัญในข้าว ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน โปรแอนโทไซยานิน โทโคฟีรอล แกมมา-ออริซานอล เป็นต้น ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีการนำผลิตภัณฑ์พุดดิ้ง 2 ชนิด (milk-base and water base) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นแป้งข้าวเจ้าและข้าวโพด มาศึกษาการส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพ ได้แก่ *Lactobacillus acidophilus* La5 และ 1748, *Bifidobacterium animalis* Bb12 และ *Lactobacillus rhamnosus* GG พบว่าทั้ง 4 สายพันธุ์ ที่ใช้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยเฉพาะใน milk-base [10] Sawangwan และ Saman [11] พบว่าพรีไบโอติกที่สกัดได้จากข้าวสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของ Lactobacillus ได้ ในขณะที่ Hu และคณะ [12] ศึกษาปริมาณแป้งรีซิสแตนท์จากข้าวทั้ง 3 ชนิดย่อย ได้แก่ indica, japonica และ hybrid rice พบว่ามีปริมาณแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณแอมิโลส ซึ่งมีอิทธิพลต่อปริมาณแป้งรีซิสแตนท์ Duda-Chodak และคณะ [13] สมบัติทดลองเพื่อศึกษาผลของสารต้านอนุมูลอิสระต่อการเจริญเติบโตของเชื้อโพรไบโอติก (*Lactobacillus casei*) พบว่า catechin สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของเชื้อดังกล่าว ในขณะที่ quercetin แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโต

ดังนั้นจึงสนใจที่จะศึกษาสมบัติในการเสริมสร้างสุขภาพ ได้แก่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพของข้าว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ อันจะเป็นการกระตุ้นให้มีการผลิตเพื่อเพิ่มผลิตภาพและมูลค่าของวัตถุดิบ นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนานวัตกรรมและองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สำคัญ เพื่อใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ สำหรับอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีวิจัย

2.1 วัตถุดิบ สารเคมี และอาหารเลี้ยงเชื้อ

ข้าวไทย 8 พันธุ์ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 แบคทีเรีย *Lactobacillus bulgaricus* TISTR 451, *Lactobacillus lactis* TISTR 452 และ *Lactobacillus casei* TISTR 453 จากศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) Resistant Starch Assay Kit (Megazyme, Ireland) 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), methanol, 6-hydroxyl-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox), Folin-Ciocalteau reagent, sodium carbonate, gallic acid monohydrate, เมทานอล และ 95 % เอทานอล อาหาร MRS medium (ประกอบด้วย : enzymatic from casein 10 กรัม, meat extract 10 กรัม, yeast extract 4 กรัม, triammomiun citrate 2 กรัม, sodium acetate 5 กรัม, magnesium sulfate heptahydrate 0.2 กรัม, manganese sulfate tetrahydrate 0.05 กรัม, dipotassium hydrogen phosphate 2.0 กรัม, glucose 10 กรัม (modified), Tween 80 1.08 กรัม, agar 15 กรัม, distilled water 1,000 มล.) ยี่ห้อ Merck

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำข้าวมาบดให้ละเอียด (Pin Mill: Alpine Augsbug, Germany) ภายใต้อุณหภูมิต่ำและปลอดเชื้อ เก็บตัวอย่างในซองอะลูมิเนียม ปิดผนึก และเก็บในห้องแช่แข็ง (-20 องศาเซลเซียส) จนกระทั่งนำมา

วิเคราะห์ รวมถึงเตรียมสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อให้เหมาะกับการวิเคราะห์

2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง สกัดด้วยเมทานอล 80 % ปริมาตร 10 มล. ผสมให้เข้ากัน แช่ในอ่างอัลตราโซนิก เป็นเวลา 15 นาที นำไปหมุนเหวี่ยง (centrifuge : Hettich, Germany) ที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เก็บสารละลายส่วนใสในหลอดขนาด 50 มล. สกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรสารสกัดให้ได้ 50 มล. ก่อนนำไปใช้วิเคราะห์สมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระต่อไป

ตารางที่ 1 แหล่งเพาะปลูกและปริมาณแอมิโลสของพันธุ์ข้าวที่นำมาศึกษา

พันธุ์ข้าว	แหล่งเพาะปลูก (จังหวัด)	ปริมาณแอมิโลส (%)
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	สุรินทร์	13-18
ข้าวขาวตาแห้ง	แม่ฮ่องสอน	24-28
ข้าวเหลืองประทิว	ชุมพร	28-32
ข้าวดอย	แม่ฮ่องสอน	20-24
ข้าวเหนียวดำ	เชียงใหม่	5-7
ข้าวหอมนิล	อุตรดิตถ์	12-13
ข้าวสังข์หยด	พัทลุง	15-16
ข้าวหอมแดง	สุรินทร์	14-17

ที่มา : องค์ความรู้เรื่องข้าว (กรมการข้าว)

(1) DPPH radical-scavenging method ดัดแปลงมาจากวิธีของ Tachibana และคณะ [14] โดยนำสารสกัด 3 มล. ผสมกับสารละลาย DPPH (ความเข้มข้น 200 ไมโครโมลาร์) ปริมาตร 3 มล. เก็บในที่มืด 40 นาที ก่อนนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer: Genesys 10 UV, Thermo scientific, USA) ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร (สร้างกราฟมาตรฐานด้วยสารละลาย Trolox ที่ความเข้มข้น 0-100 ไมโครโมลาร์) ค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงในหน่วย Trolox equivalents

(2) ABTS radical cation decolorization assay ดัดแปลงมาจากวิธีของ Re และคณะ [15] ทำโดยเตรียมสารละลาย 7 mM ABTS ด้วยสารละลาย 2.45 mM potassium persulfate เก็บสารละลายที่ได้ในที่มืด อุณหภูมิห้อง นาน 12 ชม. (ก่อนนำมาใช้) จากนั้นนำสารละลาย ABTS ที่เตรียมได้ เจือจางด้วย 80 % เมทานอล จนได้ค่าการดูดกลืนแสง 0.700± 0.020 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร หลังจากนั้นใช้สารละลายที่เจือจางได้ 1 มล. ผสมกับสารสกัดของตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร บันทึกค่าที่ได้ ให้ใช้สารละลายมาตรฐาน Trolox สร้างกราฟมาตรฐาน (ความเข้มข้น 0-100 ไมโครโมลาร์) ค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงในหน่วย Trolox equivalents

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์ตามวิธีของ Li และคณะ [16] ทำโดยนำสารสกัด 0.2 มล. ผสมกับสาร Folin-Ciocalteau reagent (เจือจาง 1 : 10) ตั้งทิ้งไว้ 4 นาที เติมสารละลายอิ่มตัวของ Na_2CO_3 ปริมาตร 0.8 มล. ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบ/นาที นาน 10 นาที วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร (สร้างกราฟมาตรฐานด้วย gallic acid) ค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงในหน่วย mg GAE/g

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งรีซิสแตนท์

วิเคราะห์ตามวิธีที่ปรากฏในคู่มือ Resistant Starch Assay Kit (Megazyme, Ireland) รายละเอียด

การวิเคราะห์โดยสังเขป ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง ผสมสารละลายผสม pancreatic α-amylase (10 มก./มล.) และ amyloglucosidase (3 ยูนิต/มล.) ปริมาตร 4 มล. บ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง พร้อมเขย่า จากนั้นเติมเอทานอล 4 มล. เขย่าให้เข้ากัน นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที นาน 10 นาที ทิ้งสารละลายส่วนใส เติม 50 % เอทานอล (v/v) ปริมาตร 8 มล. นำไปหมุนเหวี่ยงอีกครั้ง ทิ้งสารละลายส่วนใส ทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำสารตัวอย่างที่เหลือมาเติม 2 M KOH ปริมาตร 2 มล. ในอ่างน้ำแข็งพร้อมกวนด้วย magnetic bar นาน 20 นาที แล้วจึงเติม 1.2 M sodium acetate buffer 8 มล. (pH 3.8) และ amyloglucosidase 0.1 มล. (3,300 U/ml) นำหลอดตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ 3,000 รอบ/นาที นาน 10 นาที แล้วใช้สารละลายส่วนใส 0.1 มล. ผสมกับสารละลาย glucose oxidase-peroxidase-aminoantipyrine (GOPOD, > 12,000 U/l glucose oxidase; > 650 U/l peroxidase; 0.4 mM 4-aminoantipyrin) 3 มล. นำไปบ่มในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ใช้ sodium acetate buffer (0.1 M, pH 4.5) เป็น blank ค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงในหน่วย % แป้งรีซิสแตนท์ (g/100g)

2.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *L. bulgaricus* TISTR 451, *L. lactis* TISTR 452 และ *L. casei* TISTR 453 ลงในอาหารเหลว MRS (MRS broth) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปรับค่าความขุ่น (OD) ให้ได้มีค่า 0.5 ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ใช้เป็นค่าความขุ่นเริ่มต้นในการทดลอง [17]

(1) การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์สุขภาพโดยการวัดความขุ่น (turbidimetrically) ถ่ายจุลินทรีย์สุขภาพเริ่มต้น (starter culture) ที่มีค่าความขุ่น 0.5 (600 นาโนเมตร) ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS ดัดแปลง (modified MRS medium) ที่ประกอบ ด้วยข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ในอัตรา 5 % (v/v) ของอาหารเหลว MRS ดัดแปลง จากนั้นนำไปบ่มในตู้บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง วัดค่าความขุ่น (OD) ที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง เปรียบเทียบผลการเจริญของจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ที่เจริญในอาหารเหลว MRS ปกติที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนซึ่งใช้เป็นชุดควบคุม (control)

(2) การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์สุขภาพโดยการนับจำนวนเซลล์ (probiotic cell count) นับจำนวนจุลินทรีย์สุขภาพเริ่มต้น (starter culture) มีค่าความขุ่น 0.5 หลังจากถ่ายลงในอาหาร MRS ดัดแปลงด้วยเทคนิค pour plate นำไปบ่มในตู้บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีจุลินทรีย์สุขภาพที่ปรากฏบนจานเพาะเชื้อ และนำหลอดเพาะจุลินทรีย์สุขภาพที่เจริญอยู่ในอาหาร MRS ดัดแปลง มานับจำนวนจุลินทรีย์สุขภาพหลังจากผ่านไป 48 ชั่วโมง โดยการเปรียบเทียบกับจำนวนจุลินทรีย์สุขภาพที่เลี้ยงในอาหาร MRS ปกติ

2.7 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองทั้งหมดมีจำนวนซ้ำของการทดลอง 3 ซ้ำ ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วย one-way ANOVA โดยโปรแกรม SPSS® version 12 (SPSS Thailand Co., Ltd.) วิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความ

เชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวทั้ง 8 พันธุ์ โดยวิธี DPPH radical-scavenging แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยข้าวหอมแดงมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด (517.09 µmol Trolox eq./g) รองลงมา คือ ข้าวหอมนิลและข้าวเหนียวดำ (491.50 และ 302.76 µmol Trolox eq./g ตามลำดับ) ส่วนข้าวเหลืองประทิว ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระน้อย จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าข้าวที่มีสีมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวขาว โดยข้าวหอมแดง ข้าวหอมนิล ข้าวเหนียวดำ และข้าวสังข์หยด มีรงควัตถุในกลุ่มแอนโท-ไซยานินที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ผลการศึกษาที่ได้ให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Zhang และคณะ [18] ที่ศึกษาฤทธิ์ดังกล่าวในข้าวที่มีสี

ตารางที่ 2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และแป้งรีซิสแตนท์ทั้งหมด

พันธุ์ข้าว	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (µmol Trolox eq./g)*		ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE /g)*	ปริมาณแป้งรีซิสแตนท์ (g/100 g)*
	DPPH assay	ABTS assay		
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	9.30±1.60 ^{f}	1.25±0.23 ^{f}	0.12±0.01 ^{f}	0.20±0.01 ^{e}
ข้าวขาวตาแห้ง	8.33±0.51 ^{f}	1.14±0.26 ^{f}	0.11±0.02 ^{fg}	0.66±0.13 ^{b}
ข้าวเหลืองประทิว	8.26±0.37 ^{f}	1.02±0.44 ^{f}	0.10±0.01 ^{g}	0.81±0.02 ^{a}
ข้าวดอย	47.39±0.75 ^{e}	7.39±1.14 ^{e}	0.55±0.01 ^{e}	0.51±0.02 ^{c}
ข้าวเหนียวดำ	302.76±23.45 ^{c}	42.61±2.08 ^{c}	3.02±0.02 ^{c}	0.21±0.02 ^{e}
ข้าวหอมนิล	491.50±30.72 ^{b}	53.75±4.44 ^{b}	3.74±0.02 ^{b}	0.16±0.01 ^{e}
ข้าวสังข์หยด	271.44±21.34 ^{d}	32.39±1.76 ^{d}	2.07±0.03 ^{d}	0.29±0.01 ^{d}
ข้าวหอมแดง	517.09±25.03 ^{a}	57.61±1.01 ^{a}	4.06±0.06 ^{a}	0.29±0.05 ^{d}

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวทั้งหมดโดยใช้วิธี ABTS radical cation decolorization พบว่าข้าวหอมแดงมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด (57.61 µmol Trolox eq./g) รองลงมา คือ ข้าวหอมนิลและข้าวเหนียวดำ (53.75 และ 42.61 µmol Trolox eq./g ตามลำดับ) ส่วนข้าวเหลืองประทิว ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระน้อย (ตารางที่ 2) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical-scavenging ที่พบว่าข้าวที่มีสีจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวที่ไม่มีสี ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับ Shao และคณะ [8] ซึ่งศึกษาสมบัติดังกล่าวในข้าวสี และข้าวขาว พบว่าข้าวแต่ละสาย

พันธุ์มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน โดยพบว่าข้าวสีจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวขาว

3.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดของข้าวทั้ง 8 พันธุ์ พบว่าข้าวหอมแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด (4.06 mg GAE /g sample) รองลงมา คือ ข้าวหอมนิลและข้าวเหนียวดำ (3.74 และ 3.02 mg GAE /g sample ตามลำดับ) ส่วนข้าวเหลืองประทิว ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อย (ตารางที่ 2) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ จึงมีการนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์สมบัติดังกล่าวข้างต้น [19,20] ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical-scavenging และ ABTS radical cation decolorization ที่พบว่าข้าวที่มีสีจะมีฤทธิ์สูง [8]

3.3 ปริมาณแป้งรีซิสแตนท์

ปริมาณแป้งรีซิสแตนท์ถือได้ว่าเป็น functional fiber ซึ่งจุลินทรีย์สุขภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ [21] ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งรีซิสแตนท์ของข้าวทั้ง 8 พันธุ์ พบว่าข้าวต่างพันธุ์กันจะมีปริมาณแป้งรีซิสแตนท์ที่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยข้าวเหลืองประทิวมีปริมาณแป้งรีซิสแตนท์มากที่สุด (0.81 %) รองลงมา คือ ข้าวขาวตาแห้งและข้าวดอย (0.66 และ 0.51 % ตามลำดับ) ส่วนข้าวหอมนิล มีปริมาณแป้งรีซิสแตนท์น้อยที่สุด (ตารางที่ 2) ปริมาณของแป้งรีซิสแตนท์ที่แตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของปริมาณแอมิโลส ซึ่งมีอิทธิพลต่อปริมาณแป้งรีซิสแตนท์ [12] โดยข้าวเหลืองประทิว และข้าวขาวตาแห้งเป็นพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ในขณะที่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวหอมนิลจะมีปริมาณแอมิโลสต่ำ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแป้งรีซิสแตนท์กับความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพ ทั้งจากการวิเคราะห์โดยวิธีวัดความขุ่นและการนับจำนวนเซลล์ พบว่ามีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ข้าวที่มีปริมาณแป้งรีซิสแตนท์สูงมีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพสูงตามไปด้วย เช่นเดียวกับการทดลองของ Bird และคณะ [22] ที่พบว่าแป้งรีซิสแตนท์ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อแลคโตบาซิลลัสในลำไส้หมู

3.4 ความสามารถในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ ในอาหาร MRS ดัดแปลง เปรียบเทียบกับอาหาร MRS ปกติที่มีแหล่งคาร์บอนเป็นกลูโคส พบว่าเชื้อจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ *L. bulgaricus* TISTR 451, *L. lactis* TISTR 452 และ *L. casei* TISTR 453 สามารถเจริญได้ในอาหาร MRS ดัดแปลง ที่มีแหล่งคาร์บอนจากข้าวทั้ง 8 สายพันธุ์ แต่ให้อัตราการเจริญที่แตกต่างกันออกไปตามสายพันธุ์ของข้าวที่นำมาใช้ในการทดลอง

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์สุขภาพโดยการวัดความขุ่น ตารางที่ 3 พบว่าอัตราการเจริญของจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ ในช่วง 24 ชั่วโมงแรก จากการวัดค่าความขุ่น (OD) มีค่าสูงไม่เกิน 1.0 ในทุกพันธุ์ข้าวที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการทดลอง ในขณะที่ค่าความขุ่นของจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร MRS ปกติที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนมีความความขุ่นสูงถึง 2.80-6.80 โดยที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง พันธุ์ข้าวที่ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ ในการเป็นแหล่งของคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์สุขภาพและให้ค่าความขุ่นสูง ได้แก่ ข้าวเหลืองประทิว ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวดอย โดยมีค่าความขุ่นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.93-

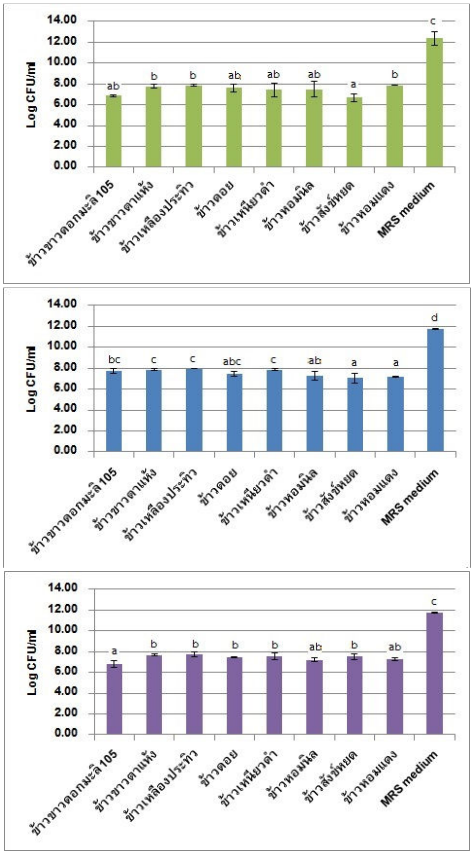
0.97 ทั้งนี้อาหาร MRS ดัดแปลงมีความเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ แต่อาจส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ช้าในช่วง 24 ชั่วโมงแรก เนื่องจากในอาหาร MRS ปกติมีสารอาหารและแร่ธาตุอื่น ๆ ที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตผสมอยู่ เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี ในขณะที่ค่าความขุ่นของการเจริญของจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่เลี้ยงในอาหาร MRS ดัดแปลงที่มีแหล่งคาร์บอนจากข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากข้าวเหลืองประทิว พบว่าหลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง อัตราการเจริญของจุลินทรีย์สุขภาพมีค่าเพิ่มสูงขึ้นใน *L. bulgaricus* TISTR 451 และ *L. casei* TISTR 453 แต่ในทางกลับกันค่าความขุ่นของจุลินทรีย์สุขภาพที่เจริญในอาหาร MRS ปกติที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่าความขุ่นที่เวลา 24 ชั่วโมง (ยกเว้น *L. casei* TISTR 453) มีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 3.33-3.81 โดยค่าความขุ่นของจุลินทรีย์สุขภาพในอาหาร MRS ดัดแปลงที่เวลา 48 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับที่เวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งอัตราการเจริญของจุลินทรีย์สุขภาพมีอัตราการเจริญที่ไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ ในอาหาร MRS ปกติที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน

ตารางที่ 3 ค่าความขุ่นจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพในอาหาร MRS ดัดแปลง ซึ่งผสมข้าวไทย 8 พันธุ์ ที่ 24 และ 48 ชั่วโมง

พันธุ์ข้าว	*Lactobacillus bulgaricus* TISTR 451 (ค่า OD)*		*Lactobacillus lactis* TISTR 452 (ค่า OD)*		*Lactobacillus casei* TISTR 452 (ค่า OD)*	
	24 hrs	48 hrs	24 hrs	48 hrs	24 hrs	48 hrs
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	0.89±0.01 ^{a}	0.89±0.00 ^{a}	0.92±0.02 ^{a}	0.91±0.01 ^{ab}	0.89±0.02 ^{a}	0.89±0.03 ^{a}
ข้าวขาวตาแห้ง	0.94±0.01 ^{a}	0.94±0.00 ^{b}	0.97±0.01 ^{a}	0.93±0.01 ^{bc}	0.95±0.01 ^{b}	0.96±0.01 ^{bc}
ข้าวเหลืองประทิว	0.95±0.01 ^{a}	0.95±0.01 ^{b}	0.97±0.02 ^{a}	0.96±0.01 ^{c}	0.95±0.02 ^{b}	0.98±0.00 ^{c}
ข้าวดอย	0.94±0.03 ^{a}	0.94±0.02 ^{b}	0.97±0.05 ^{a}	0.94±0.01 ^{bc}	0.93±0.05 ^{ab}	0.96±0.00 ^{bc}
ข้าวเหนียวดำ	0.84±±0.01 ^{a}	0.89±0.02 ^{a}	0.94±0.01 ^{a}	0.95±0.02 ^{bc}	0.94±0.01 ^{b}	0.93±0.00 ^{ab}
ข้าวหอมนิล	0.91±0.00 ^{a}	0.94±0.01 ^{b}	0.92±0.00 ^{a}	0.95±0.02 ^{bc}	0.91±0.00 ^{ab}	0.93±0.01 ^{abc}
ข้าวสังข์หยด	0.88±0.00 ^{a}	0.89±0.00 ^{a}	0.89±0.02 ^{a}	0.88±0.03 ^{a}	0.93±0.02 ^{ab}	0.94±0.04 ^{abc}
ข้าวหอมแดง	0.91±0.02 ^{a}	0.93±0.00 ^{b}	0.93±0.01 ^{a}	0.92±0.00 ^{abc}	0.93±0.01 ^{ab}	0.93±0.01 ^{abc}
MRS medium	6.80±0.26 ^{b}	3.58±0.01 ^{c}	6.76±0.18 ^{b}	3.81±0.03 ^{d}	2.83±0.18 ^{c}	3.33±0.02 ^{d}

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์สุขภาพโดยการนับจำนวนเซลล์ จำนวนจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ ภายหลังเพาะเลี้ยงในอาหาร MRS ดัดแปลงที่มีแป้งข้าวเป็นแหล่งคาร์บอนและในอาหาร MRS ปกติที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน ที่ 48 ชั่วโมง (รูปที่ 1) พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่เลี้ยงในอาหาร MRS ดัดแปลงมีความแตกต่างกันกับการเพาะเลี้ยงในอาหาร MRS ปกติ เนื่องจากอาหาร MRS ปกติมีน้ำตาลกลูโคสเป็นส่วนผสม ซึ่งจุลินทรีย์สามารถใช้ได้เลย ส่วนอาหาร MRS ดัดแปลง จุลินทรีย์



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 1 จำนวนจุลินทรีย์สุขภาพในอาหาร MRS ดัดแปลง ซึ่งผสมข้าวไทย 8 พันธุ์ ที่ 48 ชั่วโมง (ก) *Lactobacillus acidophilus* TISTR 450 (ข) *Lactobacillus bulgaricus* TISTR 451 (ค) *Lactobacillus casei* TISTR 453 [ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)]

จำเป็นต้องย่อยแป้งข้าวให้เป็นน้ำตาลก่อน จึงทำให้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยในอาหาร MRS ดัดแปลงมีปริมาณจุลินทรีย์สุขภาพอยู่ระหว่าง 10^7-10^8 CFU/มล. ส่วนในอาหาร MRS ปกติมีปริมาณจุลินทรีย์สุขภาพอยู่ระหว่าง 10^{11}-10^{12} CFU/มล. ทั้งนี้พบว่าปริมาณจุลินทรีย์สุขภาพที่เพิ่มขึ้นมีค่าแปรผันตามกับปริมาณค่าความขุ่นที่วัดได้ (ตารางที่ 3) โดยปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น (starter culture) ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงมีค่าความขุ่นเริ่มต้น 0.50 มีปริมาณเชื้อ 10^5 CFU/มล. โดยข้าวเหลืองประทิวและข้าวขาวตาแห้งสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพได้ดีที่สุดในจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์

ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความขุ่นและจำนวนจุลินทรีย์ พบว่าข้าวทุกพันธุ์มีส่วนในการส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยข้าวเหลืองประทิวมีความสามารถในการส่งเสริมสูงที่สุด รองลงมา คือ ข้าวขาวตาแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแป้งรีซิสแตนท์ที่วิเคราะห์ได้ [12] การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพโดยวิธีวัดความขุ่นที่ 24 และ 48 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงว่าจุลินทรีย์สามารถใช้แหล่งคาร์บอนจากข้าวแต่ละพันธุ์ได้ใกล้เคียงกัน Silvi และคณะ [23] ศึกษาผลของแป้งรีซิสแตนท์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพ เช่น แลคโตบาซิลลัส พบว่าแป้งดังกล่าวส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพได้ดีกว่าน้ำตาลกลูโคส จึงสรุปได้ว่าแป้งข้าวซึ่งมีแป้งรีซิสแตนท์ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของแลคโตบาซิลลัส

4. สรุป

การศึกษาสมบัติในการเสริมสร้างสุขภาพจากข้าว 8 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวขาวตาแห้ง ข้าวเหลืองประทิว ข้าวดอย ข้าวเหนียวดำ ข้าวหอมนิล ข้าวสังข์หยด และข้าวหอมแดง โดยศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพ พบว่าข้าวที่มีสีหรือมีรงควัตถุนั้นมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าข้าวขาว โดยข้าวหอมแดงมีสมบัติสูงที่สุด รองลงมา คือ ข้าวหอมนิล ในขณะที่ข้าวเหลืองประทิวมีความสามารถต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการ

ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *L. bulgaricus* TISTR 451, *L. lactis* TISTR 452 และ *L. casei* TISTR 453 พบว่าจุลินทรีย์สุขภาพทั้ง 3 สายพันธุ์ สามารถใช้แหล่งคาร์บอนจากข้าวแต่ละสายพันธุ์ ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งวิเคราะห์โดยการวัดความขุ่นและการนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าข้าวเหลืองประทิวมีความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์สุขภาพสูงที่สุด รองลงมา คือ ข้าวขาวตาแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแป้งรีซิสแตนท์ องค์ความรู้ที่ได้นี้สามารถนำไปต่อยอดต่อการส่งเสริมการใช้ข้าวในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมจุลินทรีย์สุขภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์ข้าวหมัก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ และขอขอบคุณ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการปฏิบัติงานพร้อมเครื่องจักร และอุปกรณ์ทั้งหมดในการทดลอง

6. รายการอ้างอิง

[1] Houghton, P., Fang, R., Techatanawat, I., Steventon, G., Hylands, P.J. and Lee, C.C., 2007, The sulphorhodamine (SRB) assay and other approaches to testing plant extracts and derived compounds for activities related to reputed anticancer activity, Methods 42: 377-387.

[2] Shukla, Y. and Singh, M., 2007, Cancer preventive properties of ginger: A brief review, Food Chem. Toxicol. 45: 683-690.

[3] Sun, S.W., Yu, H.Q., Zhang, H., Zheng, Y.L., Wang, J.J. and Luo, L., 2007, Quercetin attenuates spontaneous behavior and spatial memory impairment in D-galactose-treated mice by increasing brain antioxidant capacity, Nutr. Res. 27: 169-175.

[4] Barciszewski, J., Massino, F. and Clack, B.F.C., 2007, Kinetin-A multiactive molecule, Int. J. Biol. Macromolecules 40: 182-192.

[5] Huebner, J., Wehling, R.L. and Hutkins, R.W, 2007, Functional activity of commercial prebiotics, Int. Dairy J. 17: 770-775.

[6] Marinho, M.C., Pinho, M.A., Mascarenhas, R.D., Silva, F.C., Lordelo, M.M., Cunha, L.F. and Freire, J.P.B., 2007, Effect of prebiotic or probiotic supplementation and ileo rectal anastomosis on intestinal morphology of weaned piglets, Livest. Sci. 108: 240-243.

[7] Chung, H.S. and Shin, J.C., 2007, Characterization of antioxidant alkaloids and phenolic acids from anthocyanin-pigmented rice (*Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo), Food Chem. 104: 1670-1677.

[8] 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 Chem. 239: 733-741.

[9] Goufo, P. and Trindade, H., 2014, Rice antioxidants: Phenolic acids, flavonoids,

anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, γ-oryzanol, and phytic acid, Food Sci. Nutr. 2(2): 75-104.

[10] Helland, M.H., Wicklund, T. and Narvhus, J.A., 2004, Growth and metabolism of selected strains of probiotic bacteria in milk-and water-base cereal pudding, Int. Dairy J. 14: 957-965.

[11] Sawangwan, T. and Saman, P., 2016, Prebiotic synthesis from rice using *Aspergillus oryzae* with solid state fermentation, Agric. Nat. Resour. 50: 227-231.

[12] Hu, P., Zhao, H., Duan, Z., Linlin, Z. and Wu, D., 2004, Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylase contents, J. Cereal Sci. 40: 231-237.

[13] Duda-Chodak, A., Tarko, T. and Statek, M., 2008, The effect of antioxidants on *Lactobacillus casei* cultures, ACTA Sci. Pol. Technol. Aliment. 7(4): 39-51.

[14] Tachibana, Y., Kikuzaki, H., Lajis, N.H. and Nakatani, N., 2001, Antioxidative activity of carbazoles from *Murraya koenigii* leaves, J. Food Eng. 80: 1255-1260.

[15] Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Evans, C.R., 1999, Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, Free Radic. Biol. Med. 26: 1231-1237.

[16] Li, H.B., Cheng, K.W., Wong, C.C., Fan, K.W., Chen, F. and Jiang, Y., 2007, Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fractions of selected microalgae, Food Chem. 102: 771-776.

[17] AOAC, 1998, Bacteriological Analytical Manual, 8th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.

[18] Zhang, M., Guo, B., Zhang, R., Chi, J., Wei, Z., Xu, Z., Zhang, Y. and Tang, X., 2006, Separation, purification and identification of antioxidant compositions in black rice, Agric. Sci. China 5: 431-440.

[19] Wang, H., Gao, X.D., Zhou, G.C., Cai, L. and Tao, W.B., 2008, *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity of aqueous extract from *Chocrospondias axillaries* fruit, Food Chem. 106: 888-895.

[20] Termentzi, A., Kefalas, P. and Kokkalou, E., 2008, LC-DAD-MS(ESI+) analysis of the phenolic content of Sorbus domestica fruits in relation to their maturity stage, Food Chem. 106: 1234-1245.

[21] Bird, A.R., Conlon, M.A., Christophersen, C.T. and Topping, D.L., 2010, Resistant starch, large bowel fermentation and broader perspective of prebiotics and probiotics, Benef. Microbes. 1: 423-431.

[22] Bird, A.R. and et al., 2007, Two high-amylose maize starches with different amounts of resistant starch vary in their effects on fermentation, tissue and digesta mass accretion and bacterial populations in the large bowel of pigs, Br.

J. Nutr. 97: 134-144.

[23] Silvi, S., Rumney, C.J., Cresci, A. and Rowland, I.R., 1999, Resistant starch modifies gut microflora and microbial metabolism in human flora-associated rats inoculated with faeces from Italian and UK donors, J. Appl. Microbiol. 86: 521-530.