P-ISSN 0858-4435
E-ISSN 2651-1231
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Homepage : http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj
ปีที่ 30 ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน 2565) หน้า [47-58]

ปริมาณกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในสถานที่ต่างๆ

Ferulic Acid Content and Antioxidant Capacity of Landrace Rice Varieties Growing in Different Locations

จุฑาทิพ คุณนาม, ช่อแก้ว อนิลบล*
ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
Juthathip Kunnam, Chorkaew Aninbon*
Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520
Received 24 January 2022; Received in revised 4 May 2022; Accepted 6 May 2022

บทคัดย่อ

พันธุ์ข้าวมีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันโดยเฉพาะปริมาณสารสำคัญในเมล็ด การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาปริมาณของกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในข้าวพันธุ์พื้นเมืองเมื่อปลูกในหลายสภาพแวดล้อม วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ กำหนดให้ทรีตเม้นท์คือข้าวพื้นเมืองจำนวน 5 พันธุ์ ปลูกทดสอบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 3 สถานที่ ได้แก่ จังหวัดกรุงเทพฯ ตราด และสกลนคร เก็บข้อมูลผลผลิตต่อแปลงย่อย ปริมาณกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH Radical Scavenging Activity) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combine analysis) พบว่าสถานที่ปลูกมีผลต่อปริมาณกรดเฟอรูลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนพันธุ์ข้าวพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.01$) ในทุกลักษณะที่ทำการศึกษา ข้าวพื้นเมืองที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยค่อนข้างสูงในทุกสภาพแวดล้อมคือ พันธุ์กล่ำเฟือง โดยให้ผลผลิตเท่ากับ 1,093.2 กรัมต่อแปลงย่อย พันธุ์ที่มีปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงคือ พันธุ์ก่ำลืมผัว (31.48 มิลลิกรัม/เมล็ด 100 กรัม) ส่วนพันธุ์ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูงได้แก่ พันธุ์ทับทิมชุมแพ รองลงมาคือก่ำลืมผัว นอกจากนี้ ยังไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะผลผลิตเมล็ด ปริมาณกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

คำสำคัญ: สภาพแวดล้อม; สารพฤกษเคมี; กรดฟีนอลิก; ข้าวพื้นเมือง

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** chorkaew.an@kmitl.ac.th **doi:** 10.14456/tstj.2022.32

Abstract

Rice varieties react to different environments, which affect the phytochemical compounds within seed. This experiment aims to study the amount of ferulic acid and its antioxidant capacity in landrace rice varieties when grown in different environments. A randomized complete block design (RCBD) with three replications was used. The treatment was designated as five varieties of landrace rice. Rice was grown in three provinces, i.e. Bangkok, Trat, and Sakon Nakhon. Data were collected for grain yield per plot, ferulic acid content, and antioxidant capacity (% DPPH radical scavenging activity). The results of the combine analysis found that locations were significantly different ($P<0.01$) for ferulic acid content. The rice variety was quite different ($P<0.01$) for all traits. Landrace rice with a relatively high average yield in all environments was Klam Feuang 1,093.2 g/ plot. Varieties with high ferulic acid content were Kum Luem Pua 31.48 mg/100 g seed Tubtim Chumphae was the highest antioxidant capacity, followed by Kum Luem Pua. Moreover, there was no relationship between grain yield, ferulic acid content, and antioxidant capacity.

Keywords: Environments; Phytochemicals; Phenolic acid; Landrace rice

1. บทนำ

ข้าวจัดเป็นอาหารที่มีความหลากหลายในด้านพันธุ์และมีเอกลักษณ์เฉพาะที่โดดเด่นตามสภาพภูมิประเทศที่เพาะปลูก และเป็นแหล่งรวมของสารอาหารที่มีคุณค่าหลายชนิดเช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามิน ใยอาหาร แร่ธาตุ โซเดียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส รวมไปถึงสารประกอบในกลุ่มฟีนอล [1] กรดเฟอรูลิกเป็นหนึ่งในสารประกอบฟีนอลที่พบมากในกลุ่มของธัญพืช รวมถึงข้าวด้วย [2] มีรายงานว่ากรดเฟอรูลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ สามารถต้านจุลชีพ ลดการอักเสบ และสามารถลดความเสี่ยงของโรคมะเร็งได้ [3, 4] ในพืชพบว่า สารในกลุ่มฟีนอลนี้ สามารถช่วยให้พืชต้านทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ โดยมีรายงานว่า ระดับฟีนอลในข้าวจะมีความสัมพันธ์กับระดับความทนทานต่อรังสี UV-B อีกทั้งระดับของกรดฟีนอลิกมีผลทำให้ข้าวฟ่างมีความต้านทานต่อโรคที่เข้าทำลายแตกต่างกัน [2]

สารพฤกษเคมีในพืชมีความแตกต่างกันตามพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร รวมทั้งสถานที่ปลูกด้วย มีการศึกษาปริมาณกรดเฟอรูลิกในข้าว 3 พันธุ์ พบว่าปริมาณกรดเฟอรูลิกมีความแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ ปริมาณของกรดเฟอรูลิกในข้าว 3 พันธุ์มีค่าอยู่ระหว่าง 278-362 ไมโครกรัมต่อกรัม และยังพบว่าในข้าวกล้องมีปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงกว่าข้าวที่ผ่านการขัดสี [5] นอกจากนี้พบว่า ในข้าวบาร์เลย์จำนวน 18 พันธุ์ มีปริมาณกรดเฟอรูลิกอยู่ระหว่าง 343.2-579.7 ไมโครกรัมต่อกรัม [6] จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ปริมาณกรดเฟอรูลิกมีความแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด รวมถึงพันธุ์ของพืชนั้นๆ ด้วย นอกจากนี้สถานที่ในการเพาะปลูกมีผลต่อการสะสมปริมาณพฤกษเคมีในเมล็ดด้วยเช่นกัน โดยการสะสมสารพฤกษเคมีที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากในแต่ละสถานที่ปลูก มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ธาตุอาหารในดิน ปริมาณแสง ความชื้น

อุณหภูมิ เป็นต้น มีการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในหลายๆ จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ ลำปาง เพชรบูรณ์ สิงห์บุรี และสุรินทร์ พบว่าปริมาณแอนโทไซยานิน มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในจังหวัดลำปางมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจังหวัดอื่นๆ อาจเนื่องจากจังหวัดลำปางอยู่ในเขตอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ และมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 500 เมตร [7] โดยอุณหภูมิที่สูงและปริมาณรังสี UV นั้นมีรายงานว่า มีผลต่อการเพิ่มการสะสมของปริมาณสารแอนโทไซยานิน [8] นอกจากนี้มีการศึกษาสารฟีนอลิกรวมในข้าวพื้นเมืองที่ปลูกในจังหวัดปทุมธานีและอุบลราชธานีพบว่า สถานที่ปลูกมีผลต่อสารฟีนอลิกรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [9] จากรายงานที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการสะสมสารพฤกษเคมีจะมีความแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด และผันแปรตามสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดเฟอรูลิกในข้าวเมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันยังมีการศึกษาที่ค่อนข้างน้อย ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลผลิต ปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในสถานที่ที่แตกต่างกัน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 แผนการทดลอง

ทำการทดลองในฤดูนาปี พ.ศ. 2562 โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ กำหนดระยะปลูกเท่ากับ 25x25 เซนติเมตร ขนาดแปลงย่อยเท่ากับ 1.0x1.5 เมตร ปลูกข้าวใน 3 สภาพแวดล้อมที่มีลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย 1) แปลงทดลองคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 2) บ้านไร่ภาสกร อำเภอเมือง จังหวัดตราด และ 3) แปลงทดลองคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จังหวัดสกลนคร โดยมีรายละเอียดของแต่ละสภาพแวดล้อม (Table 1) พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลองคือข้าวพื้นเมืองจำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ ก่ำลืมผัว ชิวเกลี้ยง ทับทิมชุมแพ กล่ำเฟือง และสันป่าตอง 1 โดยข้าวพันธุ์พื้นเมืองเหล่านี้เป็นที่รู้จักของผู้บริโภค

Table 1 The latitude, longitude and high above sea level of the experimental sites.

Locations	Latitudes	Longitudes	Height above sea level (m)
Bangkok	13.730788	100.785376	25
Trat	12.166829	102.535976	28
Sakon Nakhon	17.360941	103.712458	172

2.2 การปลูกและดูแลรักษา

การปลูกและดูแลรักษามีจัดการเหมือนกันทั้ง 3 สถานที่ โดยก่อนปลูกทำการไถดะ 2 ครั้ง และทำการไถแปรอีก 1 ครั้งเพื่อให้ดินมีความละเอียดมากขึ้น ทำการตกกล้าในกระถางเพาะกล้า โดยใช้ดินผสมกับดินปลูกในอัตรา 1:1 ส่วน จากนั้นหว่านเมล็ดข้าวสายพันธุ์ละ 10 กรัม โดยโรยให้มีความสม่ำเสมอกัน หลังจากข้าวอายุ 21 วัน ทำการย้ายปลูกลงแปลงทดลอง

โดยวันปลูกของจังหวัดกรุงเทพมหานครคือวันที่ 30 กรกฎาคม 2562 ส่วนจังหวัดตราด และจังหวัด

สกลนคร ปลูกวันที่ 1 สิงหาคม 2562 ทำการเตรียมดินโดยไถดะ 2 ครั้ง และทำการไถแปรอีก 1 ครั้งเพื่อให้ดินมีความละเอียดมากขึ้น ตกกล้าในกระถางเพาะกล้า หลังจากข้าวอายุ 21 วัน นำไปปักดำในแปลงปลูก เมื่อข้าวมีอายุ 30 วันหลังจากย้ายปลูก (Day after transplanting; DAT) ทำการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ที่ระยะกำเนิดช่อรวง โดยใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ กำจัดวัชพืชก่อนใส่ปุ๋ยทุกครั้ง ในกรณีที่มีการระบาดของโรคและแมลง ใช้สารเคมีกำจัดโรคและแมลงตามความเหมาะสม

2.3 การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลสภาพอากาศรายวัน ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) โดยใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาของสถานีที่อยู่ใกล้แปลงทดลองมากที่สุด เก็บข้อมูลผลผลิตข้าวต่อแปลงย่อยในระยะเก็บเกี่ยว โดยจะทำการเกี่ยวข้าว นำเมล็ดมาตากเพื่อลดความชื้นให้เหลือประมาณ 14% จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักผลผลิตเมล็ดต่อแปลงย่อย

ทำการวิเคราะห์กรดเฟอรูลิกในเมล็ดข้าว โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Lilitchan et al. [10] ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างข้าวที่บดละเอียด 1.0 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 10 มิลลิลิตร เติมเมทานอล ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาทีที่อุณหภูมิห้อง แล้วย้ายลงอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนสารละลายใสที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดเฟอรูลิกโดยใช้วิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยสภาวะการทำงานของเครื่อง HPLC ที่ใช้คือ คอลัมน์ C18 stable bond, mobile phase คือ methanol 99.5 + acetic acid 0.5 (w/v) อัตราการไหล (flow rate) 1 มิลลิลิตรต่อนาที วัดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้ความยาวคลื่น 329 นาโนเมตร ฉีดตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร Retention time เท่ากับ 15 นาที

วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวด้วยวิธี DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) [11] ทำการเตรียม stock DPPH solution ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์โดยจะเตรียมก่อนการวิเคราะห์เท่านั้น หลังจากนั้น นำสารสกัดตัวอย่างข้าวปริมาตร 100 ไมโครลิตรใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer จากนั้นนำค่าการดูดกลืนคลื่นแสงไปคำนวณร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH (% DPPH Radical Scavenging Activity) จากสมการ

$$\text{DPPH Radical Scavenging Activity (\%)} = [(A_{control} - A_{sample}) / A_{sample}] \times 100$$

เมื่อ $A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของชุดควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของชุดตัวอย่าง

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis of variance) และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของลักษณะต่างๆ ที่ทำการศึกษาตามแผนการทดลอง RCBD โดยใช้โปรแกรม Statistix8 ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ข้อมูลสภาพอากาศ

สภาพแวดล้อมของแต่ละสถานที่ปลูก มีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย สำหรับระดับความชื้นสัมพัทธ์นั้นพบว่า กรุงเทพมหานครมีระดับความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 55 - 91 เปอร์เซ็นต์ จังหวัดตราดอยู่ในช่วง 47 - 97 เปอร์เซ็นต์ และจังหวัดสกลนครพบว่าอยู่ในช่วง 58 - 97 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่จังหวัดตราด โดยมีค่าเท่ากับ 1,905.4 มิลลิเมตรตลอดฤดูปลูก รองลงมาคือจังหวัดสกลนคร โดยมีปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 581.3 มิลลิเมตรต่อฤดูปลูก ส่วนในกรุงเทพมหานครมีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 300.3 มิลลิเมตรตลอดฤดูปลูก (Figure 1)

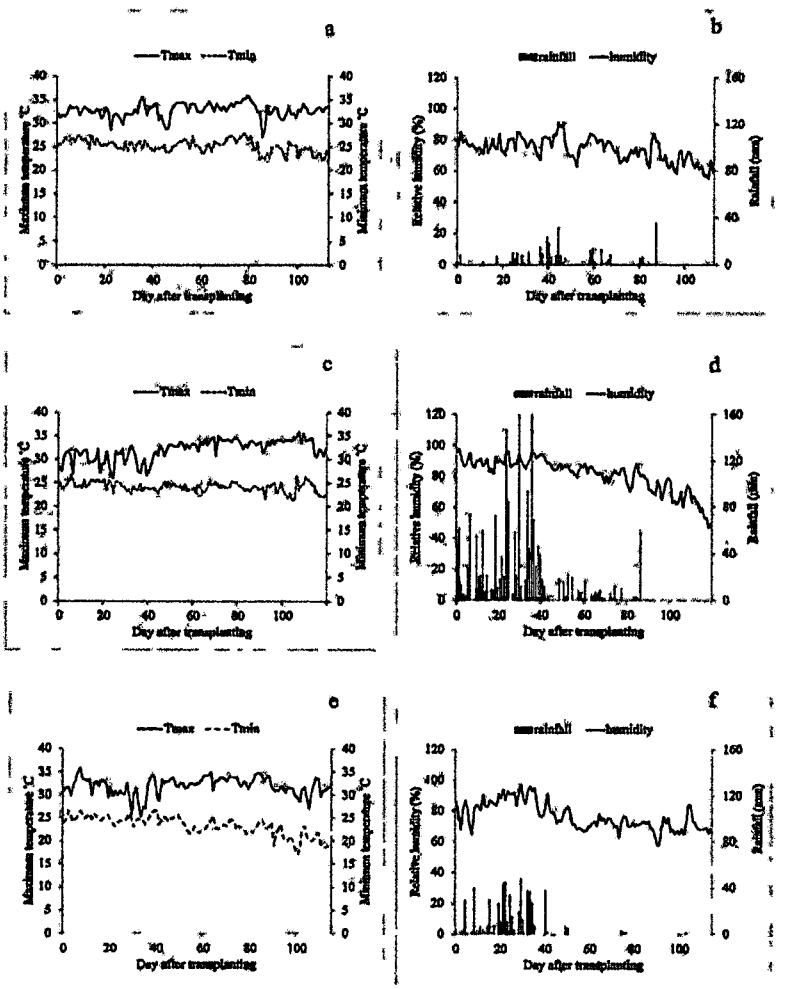

Figure 1 Maximum temperature (°C), minimum temperature (°C), rainfall (mm) and relative humidity (%) of Bangkok (a and b), Trat (c and d), and Sakon Nakhon (e and f) during growing season.

3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของผลผลิต กรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพื้นเมือง 5 พันธุ์ที่ปลูกใน 3 สถานที่พบว่า สถานที่ปลูก (location) มีผลต่อปริมาณกรดเฟอรูลิก ($P<0.01$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยคิดเป็นร้อยละ 14.37 ของความแปรปรวนรวมทั้งหมด แต่ไม่มีผลต่อผลผลิตและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Table 2) ส่วนพันธุ์ข้าวมีผลต่อผลผลิตเมล็ด ปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยคิดเป็นร้อยละ 40.41, 82.95 และ 91.71 ของความแปรปรวนรวมทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสถานที่ปลูกและสายพันธุ์ข้าว (LXV) ในทุกลักษณะ ยกเว้นความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อพิจารณาลักษณะของผลผลิตจะพบว่า พันธุ์ (V) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสถานที่ปลูก (LXV) มีอิทธิพลต่อลักษณะผลผลิตในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 40.41 และร้อยละ 32.79 ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่า ลักษณะผลผลิตของข้าวสายพันธุ์ที่ศึกษาในครั้งนี้ได้รับอิทธิพลสูงจากสภาพแวดล้อม และลำดับการให้ผลผลิตจะเปลี่ยนไปเมื่อสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง ส่วนปริมาณกรดเฟอรูลิกพบว่า ไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และสถานที่ปลูก โดยความแปรปรวนของปริมาณกรดเฟอรูลิกส่วนใหญ่เกิดจากพันธุ์ข้าวเป็นหลัก (ร้อยละ 82.95) ดังนั้นการคัดเลือกพันธุ์ข้าวเพิ่มปริมาณกรดเฟอรูลิกและให้ผลผลิตสูง ยังมีโอกาสในการประสบผลสำเร็จอยู่มาก

Table 2 Analysis of variance for grain yield, ferulic acid content, and antioxidant capacities (DPPH) of five landrace rice varieties growing in three different locations.

SOV	df	Yield (g/plot)	Ferulic acid (mg/100 g)	DPPH (%)
Location (L)	2	20,861 (6.29) ^{ns}	52.28 (14.37) **	81.33 (1.42) ^{ns}
Variety (V)	4	134,109 (40.41) **	301.87 (82.95) **	5251.49 (91.71) **
L*Rep	6	35,486 (10.69)	2.25 (0.62)	226.67 (3.96)
L*V	8	108,813 (32.79) **	5.28 (1.45) *	61.99 (1.08) ^{ns}
Error	24	32,540 (9.81)	2.23 (0.61)	104.49 (1.83)
CV (%)		22.26	7.64	24.13

*= significant at $P < 0.05$ level, **= significant at $P < 0.01$ level, ns = not significant, Number within the parentheses is percentage of sum squares to total sum of squares

3.3 ผลผลิตของข้าวพื้นเมือง

ผลการทดลองพบว่าผลผลิตข้าวพื้นเมืองทั้ง 5 พันธุ์ มีความแตกต่างกันเมื่อปลูกในจังหวัดกรุงเทพมหานครและจังหวัดสกลนคร ($P<0.01$) ในขณะที่จังหวัดตราดไม่พบความแตกต่างทางสถิติของผลผลิตข้าว (Table 3) พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดในจังหวัดกรุงเทพมหานครคือกล่ำเฟือง โดยให้ผลผลิตเท่ากับ 1,093.2 กรัมต่อแปลงย่อย รองลงมาคือชิวเกลี้ยง กำลืมผัว และทับทิมชุมแพ โดยมีผลผลิตเท่ากับ 830.7, 803.8 และ 690.1 กรัมต่อแปลงย่อย ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้อยที่สุดคือพันธุ์สันป่าตอง 1 สำหรับจังหวัดสกลนครพบว่า พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดคือกำลืมผัว มีผลผลิตเท่ากับ 1,185.1 กรัมต่อแปลงย่อย รองลงมาคือชิวเกลี้ยง โดยมีผลผลิตเท่ากับ 820.2 กรัมต่อแปลงย่อย และพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้อยที่สุดคือสันป่าตอง 1 ส่วนพื้นที่จังหวัดตราด พันธุ์ที่มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงที่สุด คือพันธุ์กล่ำเฟืองโดยมีผลผลิตเท่ากับ 974.4 กรัมต่อแปลงย่อย

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า พันธุ์ข้าวที่ค่อนข้างให้ผลผลิตได้ดีในทุกสถานที่ปลูกคือพันธุ์ชิวเกลี้ยง ส่วนพันธุ์กล่ำเฟืองให้ผลผลิตสูงในจังหวัดกรุงเทพมหานคร แต่กลับให้ผลผลิตต่ำเมื่อปลูกในจังหวัดสกลนคร เช่นเดียวกับพันธุ์กล่ำลืมผัวที่ให้ผลผลิตดีในจังหวัดสกลนครและกรุงเทพมหานคร แต่ไม่เหมาะในการปลูกในจังหวัดตราดเนื่องจากให้ผลผลิตต่ำ ส่วนพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำในทุกสภาพแวดล้อมคือพันธุ์สันป่าตอง อาจเนื่องมาจากข้าวพันธุ์นี้เป็นข้าวพื้นถิ่นของทางภาคเหนือของประเทศไทย เมื่อนำมาปลูกในจังหวัดอื่นๆ ที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างจากภาคเหนืออาจส่งผลให้ผลผลิตลดลงได้ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันส่งผลให้ผลผลิตของข้าวแตกต่างกัน ผลการศึกษาคล้ายกับ ปกาสิต และคณะ ที่ทำการศึกษาผลผลิตข้าว 5 พันธุ์ ในสองสถานที่ปลูกของจังหวัดเชียงราย ได้แก่ อำเภอพาน และอำเภอแม่สาย ผลการทดลองพบว่า ข้าวทั้ง 5 พันธุ์ให้ผลผลิตที่อำเภอแม่สายสูงกว่าที่อำเภอพาน โดยให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,084 และ 780 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ [12]

Table 3 Grain yield (g/plot) of five landrace rice varieties growing in three different locations.

Varieties	Grain yield (g/plot)		
	Bangkok	Trat	Sakon Nakhon
Kum Luem Pua	803.3^{abc}	627.3	1,185.1^{a}
Sew Kliang	830.7^{ab}	895.8	820.2^{b}
Tubtim Chumphae	690.1^{bc}	896.9	758.2^{b}
Klam Feuang	1,093.2^{a}	974.4	734.3^{b}
San Pah Tawng 1	435.7^{c}	683.3	725.8^{b}
Average	770.6	815.5	844.7
F-test	*	ns	*
CV (%)	25.0	22.5	18.6

*= significant at $P < 0.05$ level, ns = not significant; Means in the column followed by the same letter were not significantly different by LSD at $P<0.05$

3.4 ปริมาณกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

พันธุ์ข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01) ในลักษณะปริมาณกรดเฟอรูลิกในทุกสถานที่ที่ทำการศึกษา (Table 4) ในจังหวัดกรุงเทพมหานครพบว่า ปริมาณกรดเฟอรูลิกของพันธุ์ก่ำลืมผัวมีปริมาณสูงที่สุด คือ 31.48 มิลลิกรัมต่อเมล็ด 100 กรัม รองลงมาคือพันธุ์กล่ำเฟืองมีปริมาณเท่ากับ 25.75 มิลลิกรัมต่อเมล็ด 100 กรัม และพันธุ์ชิวเกลี้ยงมีปริมาณกรดเฟอรูลิกน้อยที่สุดเท่ากับ 14.80 มิลลิกรัมต่อเมล็ด 100 กรัม สำหรับจังหวัดตราดพบว่า ปริมาณกรดเฟอรูลิกของพันธุ์ก่ำลืมผัวมีปริมาณสูงที่สุด คือ 26.13 มิลลิกรัมต่อเมล็ด 100 กรัม รองลงมาคือพันธุ์กล่ำเฟือง (20.98 มิลลิกรัมต่อเมล็ด 100 กรัม) และพันธุ์ที่มีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อปลูกในจังหวัดตราดคือชิวเกลี้ยง (13.92 มิลลิกรัมต่อเมล็ด 100 กรัม) สำหรับจังหวัดสกลนครพบว่า ปริมาณกรดเฟอรูลิกของพันธุ์ก่ำลืมผัวมีปริมาณสูงที่สุดคือ 27.97 มิลลิกรัมต่อเมล็ด 100 กรัม รองลงมาคือพันธุ์กล่ำเฟือง มีปริมาณเท่ากับ 19.08 มิลลิกรัมต่อเมล็ด 100 กรัม และพันธุ์ที่มีกรดเฟอรูลิกต่ำที่สุดคือ พันธุ์ชิวเกลี้ยง (12.82 มิลลิกรัม/เมล็ด 100 กรัม) จากผลการทดลองในครั้งนี้จะเห็นได้ว่า พันธุ์กล่ำลืมผัวเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงที่สุดในทุกสถานที่ปลูก ในขณะที่พันธุ์ชิวเกลี้ยงมีปริมาณต่ำที่สุดในทุกสถานที่ปลูก รวมทั้งพันธุ์สันป่าตอง1 ก็มีปริมาณเฟอรูลิกค่อนข้างต่ำด้วยเช่นกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า ทั้งชิวเกลี้ยงและสันป่าตอง1 เป็นพันธุ์ข้าวที่มีเยื่อหุ้มสีขาว จึงทำให้มีปริมาณกรดเฟอรูลิกต่ำกว่าพันธุ์อื่นๆ โดยผลการทดลองที่คล้ายกันพบว่า ในข้าวที่มีเยื่อหุ้มสีม่วงเข้มจะมีปริมาณกรดเฟอรูลิกที่สูงกว่าข้าวพันธุ์ที่มีเยื่อหุ้มสีอ่อนกว่า [13] ปริมาณของกรดเฟอรูลิกในการศึกษาครั้งนี้พบว่าอยู่ระหว่าง 12.82-31.48 มิลลิกรัมต่อเมล็ด 100 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่ผ่านมา ที่พบว่าปริมาณกรดเฟอรูลิกในเมล็ดข้าวมีค่าเท่ากับ 42 มิลลิกรัมต่อเมล็ด 100 กรัม[2] สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณสารพฤกษเคมีในเมล็ดข้าวรวมทั้งส่งผลต่อกรดเฟอรูลิกด้วย จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ข้าวมีการสะสมปริมาณกรดเฟอรูลิกที่แตกต่างกันเมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมือนกัน ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Settapramote et al. ที่ทำการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในข้าวไรซ์เบอรี่ ที่ปลูกใน 5 สถานที่ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารฟีนอลิกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในจังหวัดลำปางและเพชรบูรณ์จะมีปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการปลูกในจังหวัดอื่น [7]

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์ต่างๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01) ในทุกสถานที่ที่ทำการศึกษา (Table 5) โดยค่าความสารถในการต้านอนุมูลอิสระในครั้งนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 16.79% - 85.40% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Butsat and Siriamornpun ที่พบว่าข้าวมีค่าการต้านอนุมูลอิสระ (%DPPH) อยู่ในช่วง 30.3-86.5% [14] สำหรับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในจังหวัดกรุงเทพมหานครพบว่า พันธุ์ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือทับทิมชุมแพ (79.32%) รองลงมาคือก่ำลืมผัว (56.14%) และพันธุ์ที่มีความสามารถในการต้านอนมูลอิสระน้อยที่สุดคือ ชิวเกลี้ยง (22.36%) สำหรับจังหวัดตราด พันธุ์ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ ทับทิมชุมแพ (69.44%) รองลงมาคือ ก่ำลืมผัว (50.94%) และพันธุ์ที่มีค่าการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด คือ พันธุ์ชิวเกลี้ยงและสันป่าตอง (22.07%) ส่วนพื้นที่จังหวัดสกลนคร พันธุ์ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ พันธุ์ทับทิมชุมแพ (85.40%) รองลงมาคือ พันธ์ก่ำลืมผัว (60.64%) และพันธุ์ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุดคือ พันธุ์ชิวเกลี้ยง (16.79%) จากผลการทดลองเห็นได้ว่า พันธุ์ทับทิมชุมแพเป็นข้าวที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดในทั้ง 3 สถานที่ ซึ่งอาจ

Table 4 Ferulic acid content of five landrace rice varieties growing in three different locations Varieties.

Varieties	Ferulic acid (mg/100 g seed)		
	Bangkok	Trat	Sakon Nakhon
Kum Luem Pua	31.48[a]	26.13[a]	27.97[a]
Sew Kliang	14.80[d]	13.92[c]	12.82[d]
Tubtim Chumphae	17.53[c]	16.11[c]	16.47[c]
Klam Feuang	25.75[b]	20.98[b]	19.08[b]
San Pah Tawng 1	19.08[c]	15.62[c]	15.87[c]
Average	21.73	18.55	18.44
F-test	**	**	**
CV (%)	5.26	11.04	5.93

**= significant at P < 0.01 level; Means in the column followed by the same letter were not significantly different by LSD at P<0.05.

เป็นเพราะว่าข้าวพันธุ์นี้มีเยื่อหุ้มสีแดง โดยได้มีรายงานว่า ข้าวที่มีเยื่อหุ้มสีแดงจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่มีเยื่อหุ้มสีดำและสีขาว [15]

3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต กรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านนุมูลอิสระ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต ปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพื้นเมือง 5 พันธุ์พบว่า ทั้ง 3 ลักษณะไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ (Figure 2) โดยค่าความสัมพันธ์ (r) ระหว่างผลผลิตเมล็ดและปริมาณกรดเฟอรูลิกเท่ากับ 0.23 และค่าความสัมพันธ์ (r) ระหว่างผลผลิตเมล็ดและความสามรถในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 0.04 นอกจากนี้พบว่า ค่าความสัมพันธ์ (r) ระหว่างกรดเฟอรูลิกและความสามารในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 0.26 จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่างๆ แต่ก็ไม่พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างลักษณะต่างๆ เช่นกัน ดังนั้น การปรับปรุงพันธุ์ข้าวเพื่อให้มีผลผลิตสูง รวมถึงมีกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงยังมีโอกาสประสบผลสำเร็จได้

เมื่อพิจารณความสัมพันธ์ของปริมาณกรดเฟอรูลิก และความสามรถในการต้านอนุมูลอิสระ จะพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน แสดงให้เห็นว่า ปริมาณกรดเฟอรูลิกอาจจะไม่ใช่องค์ประกอบหลักของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพียงตัวเดียวในการต้านอนมูลอิสระที่พบในข้าว อาจจะยังมีสารพฤกษเคมีชนิดอื่นที่พบว่ามีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ แอนโทไซยานินเป็นสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มหนึ่งที่สะสมอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าว และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ จากรายงานของ Sutharut and Sudarat พบว่าข้าวที่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงก็จะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย [16]

Table 5 Antioxidant capacities (DPPH, %) of five landrace rice varieties growing in three different locations.

Varieties	Antioxidant capacity (DPPH; %)		
	Bangkok	Trat	Sakon Nakhon
Kum Luem Pua	56.14^{b}	50.94^{ab}	60.64^{b}
Sew Kliang	22.36^{c}	22.07^{c}	16.79^{d}
Tubtim Chumphae	79.32^{a}	69.44^{a}	85.40^{a}
Klam Feuang	31.29^{c}	33.98^{bc}	30.84^{c}
San Pah Tawng 1	27.64^{c}	22.07^{c}	26.47^{cd}
Average	43.35	39.70	44.03
F-test	**	**	**
CV (%)	24.16	31.92	14.91

**= significant at P < 0.01 level; Means in the column followed by the same letter were not significantly different by LSD at P<0.05

4. สรุป

สถานที่ปลูกมีผลต่อปริมาณกรดเฟอรูลิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) ส่วนพันธุ์ข้าวพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01) ในทุกลักษณะที่ทำการศึกษา โดยข้าวพื้นเมืองที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยค่อนข้างสูงในทุกสภาพแวดล้อมคือกล่ำเฟือง โดยให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 734.3 - 1,093.2 กรัมต่อแปลงย่อย พันธุ์กำลืมผัวมีปริมาณกรดเฟอรูลิกสูงที่สุด เท่ากับ 31.48 มิลลิกรัมต่อเมล็ด100 กรัม โดยปริมาณกรดเฟอรูลิกมีค่าอยู่ระหว่าง 26.13 - 31.48 มิลลิกรัมต่อเมล็ด 100 กรัม ส่วนพันธุ์ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงได้แก่ พันธุ์ทับทิมชุมแพ นอกจากนี้พบว่า ลักษณะผลผลิตเมล็ด ปริมาณกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีผลผลิตสูง รวมทั้งมีกรดเฟอรูลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง ย่อมมีโอกาสประสบผลสำเร็จได้

5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง [รหัสโครงการ: 2563-02-04-021] และได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย [รหัสโครงการ: 6121096]

6. References

[1] Panomjan, N. and Amonwiriyachai, W., 2011, Genetic diversity of indigenous rice in Thale Noi Basin of Phatthalung province by seed morphology, Hatyai Academic J. 9(1): 25-31. (in Thai)

[2] Boz, H., 2015. Ferulic acid in cereals-a review, Czech J. Food Sci. 33(1): 1-7.

[3] Shao, Y. and Bao, J., 2015, Polyphenols in whole rice grain: Genetic diversity and health benefits, Food Chem. 180: 86-97.

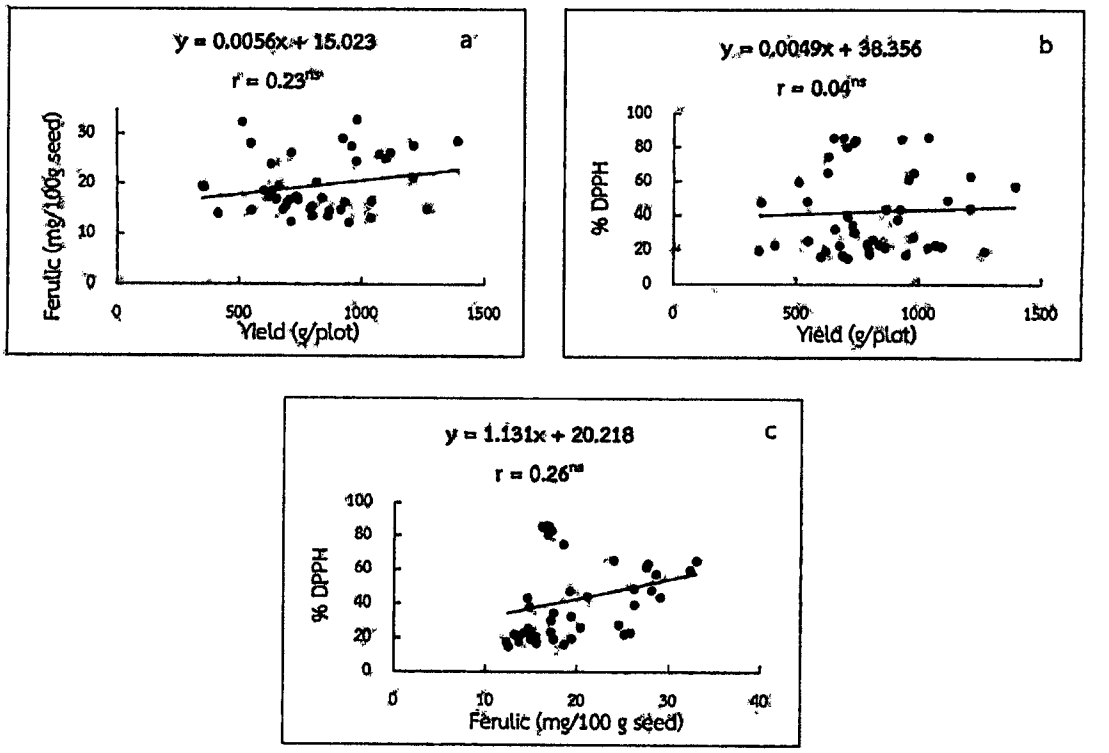

Figure 2 Correlation coefficients (r) between yield and ferulic acid (a), yield and antioxidant capacities (b), and ferulic acid and antioxidant capacities (c) of five landrace rice varieties growing in three different locations.

[4] Pandey, K. B. and Rizvi, S. I., 2009, Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease, Oxidative Med. Cell. Longev. 2(5): 270-278.

[5] Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C., 2004, The distribution of phenolic acids in rice, Food Chem. 87(3), 401-406.

[6] Zupfer, J., Churchill, K., Rasmusson, D. and Fulcher, R., 1998, Variation in ferulic acid concentration among diverse barley cultivars measured by HPLC and microspectrophotometry, J. Agric. Food Chem. 46(4): 1350-1354.

[7] Settapramote, N., Laokuldilok, T., Boonyawan, D. and Utama-ang, N., 2018, Physiochemical, antioxidant activities and anthocyanin of Riceberry rice from different locations in Thailand, FAB Journal. 6(Special): 84–94.

[8] Francini, A., Giro, A. and Ferrante, A., 2019, Biochemical and molecular regulation of phenylpropanoids pathway under abiotic stresses, In Plant Signaling Molecules, Elsevier, pp. 183-192.

[9] Harakotr, B. and Seekram, K., 2020, Genetic variability for antioxidant contents and their capacity of selected 20

landrace rice genotypes based on good agronomic traits, Thai Sci. Technol. J. 29(5): 779-790. (in Thai)

[10] Lilitchan, S., Tangprawat, C., Aryusuk, K., Krisnangkura, S., Chokmoh, S. and Krisnangkura, K., 2008, Partial extraction method for the rapid analysis of total lipids and γ-oryzanol contents in rice bran, Food Chem. 106(2): 752-759.

[11] Heinonen, I. M., Lehtonen, P. J. and Hopia, A. I., 1998, Antioxidant activity of berry and fruit wines and liquors, J. Agric. Food Chem. 46(1): 25-31.

[12] Tadphukeaw, P., Sangtong V., Pongjaroenkit, S. and Sakulsingharoj, C., 2016, The Multi-environment yield trials of semi-dwarf and non-photoperiod sensitivity in glutinous rice lines in dry season, King Mongkut's Agri. J. 34(2): 105-113. (in Thai)

[13] Sing, S. X., Lee, H. H., Wong, S. C., Bong, C. F. J. and Yiu, P. H., 2015, Ferulic acid, gamma oryzanol and GABA content in whole grain rice and their variation with bran colour, Emir. J. Food Agric. 706-711.

[14] Butsat, S. and Siriamornpun, S., 2010, Antioxidant capacities and phenolic compounds of the husk, bran and endosperm of Thai rice, Food Chem. 119(2), 606-613.

[15] Deng, G. F., Xu, X. R., Zhang, Y., Li, D., Gan, R. Y. and Li, H. B., 2013, Phenolic compounds and bioactivities of pigmented rice, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 53(3): 296-306.

[16] Sutharut, J. and Sudarat, J., 2012, Total anthocyanin content and antioxidant activity of germinated colored rice, Int. Food Res. J. 19: 215-221.