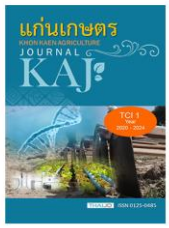
วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



# อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวเหนียวดำ

# Effects of organic and chemical fertilizer on growth, yield and antioxidant in black glutinous rice

**ระพีพรรณ ประจันตะเสน[1]* คคนางค์ รัตนานิคม[1] และ พนอจิต นิติสุข[2]**

**Rapeepun Prajuntasan[1]*, Khakhanang Ratananikom[1] and Panorjit Nitisuk[2]**

*[1] ภาควิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ กาฬสินธุ์ 46000*
*[1] Department of Sciences and Mathematics, Faculty of Sciences and Health Technology, Kalasin University, Kalasin 46000*
*[2] ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ กาฬสินธุ์ 46000*
*[2] Department of Food Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Kalasin 46000*

**บทคัดย่อ:** การศึกษาอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวเหนียวดำ ปลูกในสภาพเรือนทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบ factorial in randomized complete block design มี 4 ซ้ำ โดยมี 2 ปัจจัย คือปัจจัย A ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ 2 พันธุ์ และปัจจัย B ได้แก่ 5 วิธีใส่ปุ๋ย ผลการทดลองพบว่าข้าวก่ำเทพนามีน้ำหนักลำต้น จำนวนเมล็ดต่อรวง ความยาวราก ปริมาณสารแอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวก่ำไร่ แต่อย่างไรก็ตามข้าวก่ำไร่มีความสูงของลำต้น จำนวนรวง และน้ำหนักเมล็ดมากกว่าข้าวก่ำเทพนา สำหรับผลของการใช้ปุ๋ยพบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มให้ข้าวเหนียวดำทั้งสองสายพันธุ์มีน้ำหนักลำต้น จำนวนรวงมากขึ้น และทำให้มีปริมาณสารฟีนอลิกมากที่สุดอีกด้วย นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้ข้าวมีความสูงของลำต้นและจำนวนเมล็ดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยเคมี 25%+น้ำหมักชีวภาพ25%+ปุ๋ยอินทรีย์50% ทำให้จำนวนเมล็ดและน้ำหนักเมล็ดมากกว่าปุ๋ยอื่นๆ และปุ๋ยเคมี50%+ปุ๋ยอินทรีย์50% ทำให้ข้าวเหนียวดำทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาณสารแอนโธไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าปุ๋ยอื่นๆ นอกจากนี้ข้าวที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์50%+น้ำหมักชีวภาพ50% ยังผลิตสารฟีนอลิกและผลผลิตได้มากที่สุด

**คำสำคัญ:** ปุ๋ย; สารต้านอนุมูลอิสระ; การเติบโต; ผลผลิต; ข้าวเหนียวดำ

**ABSTRACT:** Study on effects of organic and chemical fertilizer on growth, yield components and antioxidant in black glutinous rice which were grown in greenhouse conditions. The experiment was factorial in randomized complete block design. There are two factors; Factor A consisted of 2 varieties of black glutinous rice and Factor B included 5 methods of fertilizer application. There were 10 experimental methods with 4 replications. The results showed that Kam Thep Phana (KTP) had higher stem weight, number of grains, root length, anthocyanin content and antioxidant capacity than Kam Rai (KR). However, KR had higher stem height, number of panicle and grain weight than KTP rice. For fertilizer application the use of only organic fertilizer tended to increase the stem weight and number of panicle for both varieties and thus had the highest phenolic content. In addition, using the combination of chemical and organic fertilizers promoted the stem height and number of grains, especially chemical fertilizer 25%+bio-fermented water 25%+organic fertilizer 50% (CF25%+BF25%+OF50%) gave the greater number of grains and weight of grain than other fertilizer. Both varieties of black glutinous rice that received chemical fertilizer 50%+organic fertilizer 50% (CF50%+OF50%) produced more anthocyanin

* Corresponding author: rapeepun.pr@ksu.ac.th

Received: date; June 24, 2021 Accepted: date; November 15, 2021 Published: date; April 1, 2022

content and antioxidant capacity than the other fertilizers. Moreover, rice that received organic fertilizer50%+bio-fermented water50% (OF50%+BF50%) gave the highest values for total phenolic substances and yield
**Keywords:** fertilizer; antioxidant; growth; yield; black glutinous rice

**บทนำ**

ในอดีตเกษตรกรมักปลูกข้าวด้วยการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ โดยไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบต่อความเสื่อมโทรมของดิน สิ่งแวดล้อมและผู้บริโภค ซึ่งล้วนมีผลเสียต่อร่างกาย ถ้าสารพิษปนเปื้อนมีในปริมาณที่มากพอจะทำอันตรายได้ทันทีและในขณะเดียวกันถ้ามีปริมาณน้อยจะสะสมภายในร่างกายซึ่งจะส่งผลเสียต่อไปในอนาคต ปัจจุบันผู้ผลิตและผู้บริโภคให้ความสำคัญกับสุขภาพและสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้บริโภคในปัจจุบันมีความตื่นตัวในเรื่องสุขภาพมากขึ้น จึงทำให้สินค้าเกษตรอินทรีย์ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยประเทศไทยมีชื่อเสียงในการผลิตคือข้าวอินทรีย์ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและดีต่อสุขภาพ และปัจจุบันเป็นที่ต้องการของตลาดมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปี 2561 ไทยส่งออกข้าวอินทรีย์ปริมาณ 16,500 ตัน และคาดว่าภายในปี 2564 จะสามารถผลิตได้ 247,000 ตัน จากข้อมูลของสถาบันวิจัยเกษตรกรรมอินทรีย์ (The Research Institute of Organic Agriculture: FiBL) และสหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ (International Federation of Organic Agriculture Movements: IFOAM) พบว่าในปี 2560 ไทยมีพื้นที่ผลิตเกษตรอินทรีย์เป็นลำดับที่ 7 ของเอเชีย และลำดับที่ 51 ของโลก ด้วยพื้นที่ขนาด 570,409 ไร่ สามารถสร้างมูลค่าจากการส่งออกสินค้าเกษตรอินทรีย์ไทยได้ 1,817 ล้านบาท/ปี โดยพื้นที่ปลูกข้าวอินทรีย์ คิดเป็นสัดส่วน 59% ของพื้นที่ผลิตเกษตรอินทรีย์ทั้งหมด ในปี 2561 ไทยส่งออกข้าวอินทรีย์มีมูลค่า 750 ล้านบาท แม้ว่าจะคิดเป็นสัดส่วนเพียง 0.098% ของปริมาณการส่งออกข้าวไทย แต่สามารถสร้างมูลค่าได้ 0.41% ของมูลค่าการส่งออกข้าวไทย (ศุจิรัตน์, 2562)

ข้าวก่ำ (Purple Rice) เป็นข้าวพื้นเมืองของเอเชีย มีชื่อเรียกหลากหลายเช่น ข้าวเหนียวดำ (Black Sticky Rice) เหนียวดำหรือข้าวนิล ซึ่งมีสารสำคัญคือสารสีม่วงแดงของเปลือกหุ้มเมล็ด ได้แก่ แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) โดยมีคุณสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Natwalinkhol et al., 2018) โดยเฉพาะแอนโทไซยานินชนิดที่พบในข้าวสีม่วงกลุ่มอินดิก้า (indica type) ซึ่งรวมถึงข้าวก่ำไทยที่มีสีม่วงเข้ม สีแดง สีดำ สีทับทิม และสีน้ำตาล เป็นต้น โดยสีของเมล็ดข้าวให้คุณประโยชน์ที่แตกต่างกันและอุดมไปด้วยคุณค่าสารอาหารมากมาย เช่นสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน วิตามินอี ลูทีน เบต้าแคโรทีน แกมมาออไรซานอล ซึ่งสารอาหารเหล่านี้มีคุณสมบัติโดยตรงในการต้านอนุมูลอิสระจึงช่วยป้องกันการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) เช่นโรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจขาดเลือด อีกทั้งกระตุ้นการไหลเวียนของเลือด ลดคลอเลสเตอรอลในเลือด ชะลอการเสื่อมของเซลล์ร่างกาย ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งกระเพาะ ป้องกันโรคความจำเสื่อม รวมทั้งกระตุ้นให้ภูมิคุ้มกันในคนอีกด้วย (ระพีพรรณ, 2562; Iqbal et al., 2005; Chen et al., 2006; Melissa et al., 2011) ซึ่งสารประกอบหลายชนิดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่สะสมอยู่ที่บริเวณเปลือกหุ้มเมล็ด ดังนั้นข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีจะทำให้ความเข้มข้นของสารเหล่านี้ในเมล็ดลดลง นอกจากนี้เมล็ดข้าวยิ่งมีสีเข้ม เช่น ข้าวสีแดงเข้มหรือสีดำจะมีปริมาณโพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากตามไปด้วย (Tian et al., 2004; Zhou et al., 2004) ด้วยคุณประโยชน์อันมากมายของข้าวเหนียวดำ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อสารต้านอนุมูลอิสระ การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวเหนียวดำสองสายพันธุ์ ได้แก่ข้าวก่ำเทพนาและข้าวก่ำไร่ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองและเกษตรกรนิยมปลูก เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรที่ไม่ใช้ปุ๋ยเคมีหรือลดปริมาณการใช้ในการผลิตข้าวซึ่งจะส่งผลดีต่อสุขภาพผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม สามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรต่อไป

**วิธีการศึกษา**

ทำการปลูกข้าวเหนียวดำ 2 สายพันธุ์ลงในกระถางขนาด 12 นิ้ว ซึ่งมีกรรมวิธี ในการปลูกและใส่ปุ๋ยดังนี้ ปัจจัย A = พันธุ์ข้าวเหนียวดำ 2 พันธุ์ ได้แก่ 1) ข้าวก่ำเทพนา (KTP) 2) ข้าวก่ำไร่ (KR) ปัจจัย B = กรรมวิธีการใส่ปุ๋ย 5 กรรมวิธี ได้แก่ 1) ปุ๋ยเคมี 100% = CF100%, 2) ปุ๋ยเคมี 50%+ปุ๋ยอินทรีย์50% = CF50%+OF50%, 3) ปุ๋ยอินทรีย์50%+น้ำหมักชีวภาพ50% = OF50%+BF50% 4) ปุ๋ยเคมี25%+น้ำหมักชีวภาพ25%+ปุ๋ยอินทรีย์

50% = CF25%+BF25%+OF50% และ 5) ปุ๋ยอินทรีย์100% = OF100% นำปุ๋ยแต่ละกรรมวิธีมาหมักดินในกระถางเป็นเวลา 2 สัปดาห์ (ซึ่งดินปลูกเป็นกลุ่มชุดดินที่ 40 มีลักษณะเป็นร่วนปนดินทราย ดินมีสีน้ำตาลอ่อน มีปริมาณธาตุไนโตรเจน 0.024 $mgkg^{-1}$ ฟอสฟอรัส 26.4 $mgkg^{-1}$ โพแทสเซียม 76.2 $mgkg^{-1}$ แคลเซียม 78.4 $mgkg^{-1}$ และแมกนีเซียม 49.7 $mgkg^{-1}$ ความเป็นกรดสูง ซึ่งมีค่า 4.63 ค่าการนำไฟฟ้า 0.02 $dSm^{-1}$ และอินทรียวัตถุ 0.33 % โดยมีอัตราการใส่ปุ๋ยเคมี (สูตร 15-15-15) 5 กรัม/กระถาง, ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลวัว หญ้าแห้ง เศษอาหารผักผลไม้) 0.5 กิโลกรัม/กระถาง และน้ำหมักชีวภาพ 50 มิลลิลิตร/กระถาง ซึ่งแสดงค่าสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์และน้ำหมักชีวภาพดัง **Table 1**) เมื่อต้นกล้าอายุ 15 วัน จึงทำการย้ายปลูกลงในกระถางและใส่ปุ๋ยแต่ละกรรมวิธีอีกครั้งเมื่อต้นข้าวอายุ 40 วัน และ 60 วัน ตามลำดับ เมื่อข้าวอายุ 120 วัน ทำการวัดการเจริญเติบโต เก็บผลผลิต และหาค่าสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial in randomized complete block design มีทั้งหมด 10 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ดังนี้ T1 = ข้าว KTP ร่วมกับ CF100 %, T2 = ข้าว KTP ร่วมกับ CF50%+OF50%, T3 = ข้าว KTP ร่วมกับ OF50%+BF50 %, T4 = ข้าว KTP ร่วมกับ CF25%+BF50%+OF25%, T5 = ข้าว KTP ร่วมกับ OF100%, T6 = ข้าว KR ร่วมกับ CF100 %, T7 = ข้าว KR ร่วมกับ CF50%+OF50%, T8 = ข้าว KR ร่วมกับ OF50%+BF50 %, T9 = ข้าว KR ร่วมกับ CF25%+BF50%+OF25% และ T10 = ข้าว KR ร่วมกับ OF100 %

**การหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน**

วิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดโดยดัดแปลง วิธีของ (Oszmianski and others, 2009) นำตัวอย่าง 0.05 กรัม เติมสารละลายกรดเอทานอลิก 3 มิลลิลิตร เขย่าเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง นำสารที่ได้ใส่หลอดเซนตริฟิวก์ปั่นหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แยกกากและสารละลาย ปรับสารละลายให้ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งใช้เอทานอลิกเป็น Blank แสดงเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร การวิเคราะห์แอนโธไซยานินโดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณของสารแอนโทไซยานินในสูตร Total absorbance = (Absorbance at 535 x Final volume x 100)/ Weight และ Total Anthocyanins = Total absorbance/98.2

**การหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด**

การหาปริมาณสารฟีนอลิกวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกตามวิธีของ Gong et al. (2012) นำตัวอย่าง 100 กรัม ไปสกัดสารจากตัวอย่างเมล็ดข้าวสาร ด้วย 65% Ethanol: 0.1% HCl เขย่าอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลาย Folin-Ciocalteau reagent (1:1) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลาย $NaCO_3$ เข้มข้น 20% (w/v) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมง ในที่มืด วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารผสมที่ 765 นาโนเมตร ด้วยสเปกโตโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer; LAMBDA 25, Perkin Elmer, Inc., Germany) หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Gallic acid

**การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH**

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (ดัดแปลงวิธีจาก Likhitwitayawuid et al., 2006) ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้เตรียมสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบโดยนำสารสกัดข้าวเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายโดยใช่เมทานอลเป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร และสารละลาย DPPH 100 µM ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ใส่ลงไมโครเพลท บ่มในที่มืด อุณหภูมิห้องนาน 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย microplate reader (SPECTRO star Nano, BMG LabTech) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ได้ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง (As) และใช้เมทานอลเป็น blank (Ac) และมีวิตามินซีเป็นสารมาตรฐาน คำนวณหาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันจากสูตร % radical scavenging = [(Ac – As)/Ac] ×100 สร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่างกับ % radical scavenging แล้วหาค่า IC50

**Table 1** Chemical characteristics of organic fertilizers and bio-fermented water

| Chemical characteristics | Organic fertilizers | Bio-fermented water |
|---|---|---|
| OM (%) | 15.43 | - |
| EC (ds/m) | 0.85 | 20.87 |
| N (%) | 0.35 | 0.46 |
| P (%) | 0.49 | 0.28 |
| K (%) | 0.51 | 0.42 |
| C/N ratio | 32.5 | - |

**การบันทึกข้อมูล**

1) การเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ วัดความสูงของลำต้น ความยาวราก น้ำหนักลำต้น และด้านผลผลิต ได้แก่ จำนวนรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักเมล็ด 2) สารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ปริมาณสารแอนโธไซยานิน (Anthocyanin) ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolics) และ ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพิจารณาจาก DPPH-scavenging activity (DPPH) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ผลการศึกษา**

**1. การเจริญเติบโตและผลผลิต**

ข้าว KTP มีน้ำหนักลำต้น (3.24 กรัม) และจำนวนเมล็ด (101.33 เมล็ด/รวง) ซึ่งมากกว่าข้าว KR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ข้าว KR มีน้ำหนักลำต้น 1.67 กรัม และ จำนวนเมล็ด 45.33 เมล็ด/รวง ตามลำดับ นอกจากนี้ความยาวรากของข้าว KTP ยังมีแนวโน้มมากกว่าข้าว KR อย่างไรก็ตามข้าว KR มีความสูงของลำต้น (63.95 ซม.) จำนวนรวง (6.33 รวง) และน้ำหนักเมล็ด (1.81 กรัม/100 เมล็ด) มากกว่าข้าว KTP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 46.88 ซม., 2.73 รวง และ 1.49 กรัม/100 เมล็ด ตามลำดับ (Table 2) ผลการใส่ปุ๋ยพบว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ย CF25%+BF25%+OF50% และOF50%+BF50% ทำให้ลำต้นมีความสูงมากสุดรองลงมาคือ CF50%+OF50%, OF100% และ CF100% มีค่าเท่ากับคือ 63.45, 59.14, 54.07, 50.95 และ 49.46 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ความยาวรากของข้าวที่ได้รับปุ๋ย CF25%+BF25%+OF50% (23.98 ซม.) มีแนวโน้มความยาวมากกว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ยอื่นๆ โดยเฉพาะข้าว KTP ที่ได้รับปุ๋ยสูตรนี้จะความยาวรากมากกว่าหน่วยการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ 28.08 เซนติเมตร นอกจากนี้ข้าวที่ได้รับปุ๋ยดังกล่าวยังให้ผลผลิตจำนวนเมล็ดมากที่สุด รองลงมาคือ OF50%+BF50%, CF100%, CF50%+OF50% และ OF100% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 95.83, 84.50, 69.50, 65.16 และ 51.66 เมล็ด/รวง ตามลำดับ โดยเฉพาะข้าว KTP ที่ได้รับปุ๋ย CF25%+BF25%+OF50% มีเมล็ดมากกว่าหน่วยทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 148.33 เมล็ด/รวง ในขณะที่ข้าวที่ได้รับปุ๋ย OF50%+BF50% มีน้ำหนักเมล็ดมากที่สุด รองลงมาคือ CF25%+BF25%+OF50%, CF100%, OF100% และ CF50%+OF50% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.31, 1.88, 1.55, 1.43 และ 1.07 กรัม/100 เมล็ดตามลำดับ อย่างไรก็ตามปุ๋ย OF100% ทำให้ข้าวมีจำนวนรวงมากที่สุด (5.66 รวง) และมีแนวโน้มให้ลำต้นมีน้ำหนักมาก (2.91 กรัม) โดยเฉพาะข้าว KR เมื่อได้รับปุ๋ย OF100% มีจำนวนรวงมากกว่าหน่วยการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือจำนวน 9 รวง (Table 2,3)

**Table 2** Comparison of black glutinous rice varieties and fertilizer application to growth and yield

| Varieties | Fertilizer | Stem weight (g) | Stem height (cm.) | Root length (cm.) | Number of panicle | Number of grains/panicle | Weight 100 grain (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KTP | | 3.24$^{a}$ | 46.88$^{b}$ | 20.05 | 2.73$^{b}$ | 101.33$^{a}$ | 1.49$^{b}$ |
| KR | | 1.67$^{b}$ | 63.95$^{a}$ | 19.36 | 6.33$^{a}$ | 45.33$^{b}$ | 1.81$^{a}$ |
| LSD $_{0.05}$ | | 0.52 | 6.71 | - | 0.83 | 13.46 | 0.21 |
| F-test | | * | ** | ns | ** | ** | ** |
| | OF100% | 2.91 | 50.95$^{b}$ | 16.80 | 5.66$^{a}$ | 51.66$^{c}$ | 1.43$^{c}$ |
| | CF100% | 2.42 | 49.46$^{b}$ | 21.03 | 4.16$^{bc}$ | 69.50$^{bc}$ | 1.55$^{bc}$ |
| | CF50%+OF50% | 1.72 | 54.07$^{ab}$ | 17.70 | 5.33$^{ab}$ | 65.16$^{bc}$ | 1.07$^{d}$ |
| | OF50%+BF50% | 2.74 | 59.14$^{b}$ | 19.04 | 4.16$^{bc}$ | 84.50$^{ab}$ | 2.31$^{a}$ |
| | CF25%+BF25%+OF50% | 2.48 | 63.45$^{a}$ | 23.98 | 3.33$^{c}$ | 95.83$^{a}$ | 1.88$^{b}$ |
| LSD $_{0.05}$ | | - | 10.61 | - | 1.32 | 21.28 | 0.34 |
| F-test | | ns | * | ns | ** | ** | ** |
| C.V. %) | | 1.36 | 15.78 | 24.69 | 24.13 | 23.93 | 17.28 |

ns= Not significant; *,** Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level by LSD test

**Table 3** Effects of rice varieties combined with fertilizer application on growth and yield

| Varieties | Fertilizer | Stem weight (g) | Stem height (cm.) | Root length (cm.) | Number of panicle | Number of grains/panicle | Weight 100 grain (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KTP | OF100% | 4.17 | 39.48 | 16.47$^{bc}$ | 2.33$^{d}$ | 49.00$^{def}$ | 1.21$^{cd}$ |
| | CF100% | 3.43 | 45.16 | 22.05$^{abc}$ | 3.00$^{cd}$ | 116.00$^{b}$ | 1.98$^{b}$ |
| | CF50%+OF50% | 2.08 | 46.84 | 14.02$^{c}$ | 3.00$^{cd}$ | 96.00$^{bc}$ | 0.28$^{e}$ |
| | OF50%+BF50% | 3.49 | 44.21 | 19.05$^{bc}$ | 3.00$^{cd}$ | 97.33$^{bc}$ | 2.13$^{ab}$ |
| | CF25%+BF25%+OF50% | 3.02 | 58.71 | 28.08$^{a}$ | 2.33$^{d}$ | 148.33$^{a}$ | 1.83$^{b}$ |
| KR | OF100% | 1.64 | 62.42 | 17.12$^{bc}$ | 9.00$^{a}$ | 54.33$^{de}$ | 1.65$^{bc}$ |
| | CF100% | 1.41 | 53.76 | 19.31$^{bc}$ | 5.33$^{b}$ | 23.00$^{f}$ | 1.12$^{d}$ |
| | CF50%+OF50% | 1.35 | 61.30 | 21.38$^{abc}$ | 7.66$^{a}$ | 34.33$^{ef}$ | 1.87$^{b}$ |
| | OF50%+BF50% | 2.00 | 74.07 | 16.02$^{bc}$ | 5.33$^{b}$ | 71.67$^{cd}$ | 2.49$^{a}$ |
| | CF25%+BF25%+OF50 % | 1.95 | 68.18 | 22.99$^{ab}$ | 4.33$^{bc}$ | 43.33$^{def}$ | 1.92$^{b}$ |
| LSD $_{0.05}$ | | - | - | 8.34 | 1.89 | 30.10 | 0.48 |
| F-test | | ns | ns | * | ** | ** | ** |
| C.V. (%) | | 31.36 | 15.78 | 24.69 | 24.13 | 23.93 | 17.28 |

ns= Not significant; *,** Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level by LSD test

**2. สารต้านอนุมูลอิสระ**

**2.1 ปริมาณสารแอนโธไซยานิน**

ข้าว KTP มีปริมาณสารแอนโทไซยานิน (66.30 มก./100 กรัม) มากกว่าข้าว KR (13.43 มก./100 กรัม) และปัจจัยการใส่ปุ๋ยมีผลต่อความแตกต่างของปริมาณสารแอนโธไซยานินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ซึ่งพบว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ย CF50%+OF50% มีปริมาณสารแอนโธไซยานินมากที่สุดคือ 74.28 มก./100 กรัม รองลงมาคือปุ๋ย OF100% มีค่า 47.62 มก./100 กรัม และ OF50%+BF50% มีค่าต่ำสุดคือ 11.51 มก./100 กรัม **(Table 4)** โดยเฉพาะหน่วยทดลองข้าว KTP เมื่อได้รับปุ๋ย CF50%+OF50% ส่งผลให้มีปริมาณสารแอนโธไซยานินมีค่าสูงสุดคือ 131.99 มก./100 กรัม **(Table 5)**

**2.2 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด**

ข้าว KR มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (31.77 มก./ลิตร) มากกว่าข้าว KTP (19.61 มก./ลิตร) และปุ๋ยมีผลต่อความแตกต่างของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งว่าพบว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ย OF100% มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดคือ 28.81 มก./ลิตร รองลงมาคือ OF50%+BF50% มีค่า 27.47 มก./ลิตร และ CF50%+OF50% มีค่าต่ำสุดคือ 20.45 มก./ลิตร (**Table 4**) โดยเฉพาะหน่วยทดลองข้าว KR ที่ได้รับปุ๋ย OF50%+BF50% มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือ 40.37 มก./ลิตร **(Table 5)**

**2.3 DPPH-scavenging activity (DPPH)**

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพิจารณาจาก DPPH (1, 1- diphenyl-2-picrylhydrazyl) พบว่าข้าว KTP มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) มากกว่าข้าว KR ซึ่งมีค่า 3.52% และ 0.71% ตามลำดับ นอกจากนี้ปัจจัยปุ๋ยมีต่อความแตกต่างต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ซึ่งพบว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ย CF50%+OF50% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด คือ 3.94% รองลงมาคือ OF100% มีค่า 2.53% และ OF50%+BF50% มีค่าต่ำสุดคือ 0.61% ตามลำดับ **(Table 4**) โดยเฉพาะข้าว KTP ที่ได้รับปุ๋ย CF50% + OF50% มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด คือ 7.01% **(Table 5)**

**Table 4** Comparison of black glutinous rice varieties and fertilizer application to anthocyanin content, total phenolics and DPPH

| Varieties | Fertilizer | Anthocyanin (mg/100g) | Total phenolics (mg/liter) | DPPH (%) |
|---|---|---|---|---|
| KTP | | 66.30$^{a}$ | 19.61$^{b}$ | 3.52$^{a}$ |
| KR | | 13.43$^{b}$ | 31.77$^{a}$ | 0.71$^{b}$ |
| LSD $_{0.05}$ | | 11.31 | 3.55 | 0.60 |
| F-test | | ** | ** | ** |
| | OF100% | 47.62$^{b}$ | 28.81$^{a}$ | 2.53$^{b}$ |
| | CF100% | 38.00$^{bc}$ | 25.98$^{ab}$ | 2.01$^{bc}$ |
| | CF50%+OF50% | 74.28$^{a}$ | 20.45$^{b}$ | 3.94$^{a}$ |
| | OF50%+BF50% | 11.51$^{d}$ | 27.47$^{a}$ | 0.61$^{d}$ |
| | CF25%+BF25%+OF50% | 27.90$^{cd}$ | 25.81$^{ab}$ | 1.48$^{cd}$ |
| LSD $_{0.05}$ | | 17.89 | 5.62 | 0.95 |
| F-test | | ** | * | ** |
| C.V. (%) | | 37.00 | 18.05 | 36.99 |

ns= Not significant; *,** Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level by LSD test

**Table 5** Effects of rice varieties combined with fertilizer application on anthocyanin content, total phenolics and DPPH

| Varieties | Fertilizer | Anthocyanin (mg/100g) | Total phenolics (mg/liter) | DPPH (%) |
|---|---|---|---|---|
| KTP | OF100% | 82.61$^{b}$ | 28.92$^{bc}$ | 4.38$^{b}$ |
| | CF100% | 64.00$^{c}$ | 24.40$^{c}$ | 3.40$^{bc}$ |
| | CF50%+OF50% | 132.00$^{a}$ | 7.21$^{d}$ | 7.01$^{a}$ |
| | OF50%+BF50% | 12.57$^{e}$ | 14.57$^{d}$ | 0.66$^{e}$ |
| | CF25%+BF25%+OF50% | 40.32$^{cd}$ | 23.09$^{c}$ | 2.14$^{cd}$ |
| KR | OF100% | 12.63$^{e}$ | 28.71$^{bc}$ | 0.67$^{e}$ |
| | CF100% | 12.02$^{e}$ | 27.57$^{bc}$ | 0.63$^{e}$ |
| | CF50%+OF50% | 16.56$^{de}$ | 33.69$^{ab}$ | 0.88$^{de}$ |
| | OF50%+BF50% | 10.45$^{e}$ | 40.37$^{a}$ | 0.55$^{e}$ |
| | CF25%+BF25%+OF50 % | 15.49$^{de}$ | 28.54$^{bc}$ | 0.82$^{de}$ |
| $LSD_{0.05}$ | | 25.30 | 7.95 | 0.63 |
| F-test | | ** | ** | ** |
| C.V. (%) | | 25.30 | 7.95 | 18.05 |

ns= Not significant; *,** Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level by LSD test

**วิจารณ์**

ข้าวเหนียวดำทั้งสองสายพันธุ์มีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน โดยพบว่าข้าวก่ำเทพนาให้ผลผลิตมากกกว่าข้าวก่ำไร่ โดยข้าวก่ำเทพนามีน้ำหนักลำต้นมากกว่าข้าวก่ำไร่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติส่งผลให้มีจำนวนเมล็ด/ต้น มากตามไปด้วย เนื่องด้วยลำต้นมีขนาดใหญ่สามารถสังเคราะห์แสงและสะสมอาหารในรูปของเมล็ดได้มากกว่าลำต้นขนาดเล็ก (Zhao et al., 2007) อีกทั้งความยาวรากของข้าว ก่ำเทพนามีแนวโน้มยาวมากกว่าข้าวก่ำไร่อีกด้วย พืชจึงสามารถดูดแร่ธาตุอาหารในดินได้ดีกว่า ส่งผลให้ลำต้นมีความแข็งแรงและสร้างอาหารได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามข้าวก่ำไร่มีความสูงลำต้น การแตกกอ และน้ำหนักเมล็ดมากกว่าข้าวก่ำเทพนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ข้าวก่ำเทพนายังมีปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) มากกว่าข้าวก่ำไร่ ซึ่งปริมาณสารแอนโธไซยานินแปรผันตามความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากข้าวก่ำเทพนามีสีเข้มกว่าข้าวก่ำไร่ ดังนั้นข้าวที่มีสีเข้มจะส่งผลต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระที่สูงขึ้นด้วย (สัญชัย, 2552; Tian et al., 2004) สอดคล้องกับพัชราภรณ์ (2556) พบว่าข้าวเหนียวดำมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ($DPPH^{\cdot}$) และมีสารแอนโธไซยานินมากกว่าข้าวหอมนิลและข้าวไรซ์เบอร์รี่

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีแนวโน้มให้ข้าวเหนียวดำทั้งสองสายพันธุ์มีน้ำหนักลำต้นและมีจำนวนรวงมากที่สุด โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวก่ำไร่เมื่อได้รับปุ๋ยอินทรีย์ 100% มีจำนวนรวงมากกว่าหน่วยทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์มีอินทรียวัตถุจากซากพืชซากสัตว์ที่มีคุณสมบัติในการเพิ่มคุณภาพดิน (Bronick and Lal, 2005) และยังมีจุลินทรีย์ที่สามารถไปย่อยสลายวัสดุอินทรีย์โดยเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ในรูปของแร่ธาตุอาหารที่พืชต้องการ (Hopkins and Shiel, 1996 ; Marinari et al., 2000 ; Jannoura et al., 2014) จึงส่งผลให้ข้าวเจริญเติบโตและส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตได้ นอกจากนี้ความยาวรากของข้าวที่ได้รับปุ๋ยร่วมกันระหว่างปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และน้ำหมักชีวภาพ มีแนวโน้มความยาวรากมากกว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวก่ำเทพนาเมื่อได้รับปุ๋ย CF25%+BF25%+OF50 % มีความยาวรากมากกว่าปุ๋ยสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้ข้าวเหนียวดำทั้งสองสายพันธุ์เมื่อใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์โดยเฉพาะปุ๋ย CF50%+OF50% สามารถผลิตสารแอนโธไซยานินและมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าปุ๋ยสูตรอื่น ๆ และสอดคล้องกับ เสาวภาและคณะ (2560) พบว่าการ

บำรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์มีผลทำให้ข้าวไร่พันธุ์ว้องลายมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้น และข้าวไร่พันธุ์บือเกะ กิพู และว้องลายมีฤทธิ์การต้านอนมุลอิสระสูงขึ้น และข้าวที่ปลูกโดยใช้เฉพาะปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียว ได้แก่ ปุ๋ย OF100% และ OF50%+BF50% พบว่ามีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ Qi et al., 2011 พบว่าพืชที่ปลูกแบบอินทรีย์ส่วนมากจะผลิตสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าการปลูกแบบใช้ปุ๋ยเคมี

อย่างไรก็ตามสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโธไซยานินเป็นสารทุติยภูมิที่พืชผลิตขึ้นโดยมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสารเช่น ชนิดพืช ฤดูกาล การเก็บเกี่ยว สภาพแวดล้อม สภาพการปลูก ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน ความเครียดที่เกิดจากแมลง อุณหภูมิ การขาดแร่ธาตุ การขาดน้ำ ตลอดจนการปรับตัวของพืชภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสม ซึ่งปัจจัยเหล่านี้สามารถส่งผลต่อปริมาณสารเหล่านี้ด้วย (วรรณภาและคณะ, 2556; Dixon and Paiva, 1995; Kesarwani et al.,2014; Edward et al., 2020)

การใช้ปุ๋ยร่วมกันระหว่างปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพส่งผลให้ลำต้นมีความสูงและมีจำนวนเมล็ดต่อต้นมากสุด โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวก่ำเทพนาที่ได้รับปุ๋ย CF25%+BF25%+OF50 % มีจำนวนเมล็ดต่อต้นมากกว่าหน่วยทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 148.33 เมล็ด/ต้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดอยู่ในเกณฑ์สูงด้วย ดังนั้นการใช้ปุ๋ยร่วมกันระหว่างปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ สามารถเพิ่มผลผลิตได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพโดยเฉพาะปุ๋ยน้ำหมักที่ทำจากเนื้อสัตว์ เช่นหอยเชอรี่มีธาตุโพแทสเซียมและแคลเซียมสูง เป็นธาตุอาหารพืชที่สำคัญต่อการสังเคราะห์โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ช่วยในการเพิ่มอัตราการขนส่งสารจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจากแหล่งผลิต (source) มายังที่แหล่งรองรับสาร (sink) ได้ดีขึ้นอีกด้วย ส่งผลในการเพิ่มจำนวนและการเจริญเติบโตของเมล็ดพืช (ลิลลี่และคณะ, 2552) นอกจากนี้น้ำหมักชีวภาพจากสัตว์ประกอบไปด้วยกรดอะมิโนที่สามารถจับตัวกับธาตุอาหาร ทำให้ปุ๋ยสามารถดูดซึมเข้าสู่ต้นพืชได้เร็วขึ้น ซึ่งน้ำหมักชีวภาพเป็นแหล่งสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ ซึ่งประกอบไปด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และเกลือแร่ต่างๆ ส่งผลให้เกิดการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ในธรรมชาติเร็วยิ่งขึ้น ทำให้การปลดปล่อยธาตุอาหารสำหรับพืชเพิ่มขึ้น (ราเชนทร์และศิริธรรม, 2551) อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพอาจให้ผลผลิตต่ำโดยเฉพาะในแปลงที่เคยใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็น ระยะเวลานาน (Khaliq et al., 2006) เนื่องจากดินเสื่อมคุณภาพ ดังนั้นหากเกษตรกรลดการใช้ปุ๋ยเคมี และเพิ่มการใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพอย่างต่อเนื่องจะสามารถเพิ่มผลผลิตพร้อมทั้งเป็นการพัฒนาและอนุรักษ์ระบบนิเวศได้อย่างยั่งยืน (Jun et al., 2016)

**สรุปผล**

ข้าวก่ำเทพนามีน้ำหนักลำต้น จำนวนเมล็ดต่อต้น ความยาวราก ปริมาณสารแอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวก่ำไร่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามข้าวก่ำไร่มีความสูงลำต้น การแตกกอ และน้ำหนักเมล็ดมากกว่าข้าว ก่ำเทพนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับผลของการใช้ปุ๋ยพบว่าปุ๋ยอินทรีย์ 100% มีแนวโน้มให้ข้าวเหนียวดำทั้งสองสายพันธุ์มีน้ำหนัก ลำต้นและการแตกกอมากขึ้น อีกทั้งยังทำให้มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดอีกด้วย นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยร่วมกันระหว่างปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพจะช่วยส่งเสริมให้ลำต้นมีความสูง และมีจำนวนเมล็ดต่อต้นมากสุด โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวก่ำเทพนาที่ได้รับปุ๋ย CF25%+BF25%+50% และ OF50%+BF50% พบว่ามีจำนวนเมล็ดและน้ำหนักเมล็ดมากกว่าการใช้สูตรปุ๋ยชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนข้าวที่ได้รับปุ๋ย CF50%+OF50% พบว่ามีปริมาณสารแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าปุ๋ยอื่น ๆ นอกจากนี้ปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อการผลิตสารฟีนอลิกทั้งหมดโดยเฉพาะข้าวที่ได้รับปุ๋ย OF50%+BF50% ผลิตสารฟีนอลิกทั้งหมดและผลผลิตได้มากที่สุด

**คำขอบคุณ**

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

**เอกสารอ้างอิง**

พัชราภรณ์ รัตนธรรม. 2556. สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องสีงอก. วิทยาศาสตร์เกษตร. 44(2): 441-444.

ระพีพรรณ ประจันตะเสน. 2562. ข้าวไทยหลากสีป้องกันโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs). วิจัยและพัฒนาสุขภาพ. 12(2): 182-188.

ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์ และศริรธรรม สิงห์โต. 2551. ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ ทางเลือกใหม่เพื่อการเกษตร. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และสุรียา ตันติวิวัฒน์. 2552. สรีรวิทยาของพืช (Plant Physiology). ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วรรณภา ก่ำถ้วย, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม, ศันสนีย์ จำจด, ณัฏฐิณี ภัทรกุล และชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย. 2556. ผลของการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำต่อผลผลิตและปริมาณสารแอนโทไซยานินในข้าวเหนียวก่ำ 2 พันธุ. แก่นเกษตร. 41(4): 403-410.

สัญชัย ยอดมณี. 2552. คุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ระดับ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เสาวภา สิทธิโชคธรรม, ทวีศักดิ์ เตชะเกรียงไกร, พรรณธิภา ณ เชียงใหม่, ปราโมทย์ แพงคำ, มานะ กาญจนมณีเสถียร, เสาวภา เขียนงาม, ฌานิกา จันทสระ, ยุภา ปู่แตงอ่อน, อำพร แจ่มผล, พรทิพย์ พสุกมลเศรษฐ และกานต์สุดา วันจันทึก. 2560. ผลของการบารุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์ต่อลักษณะทางกายภาพและสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวไร่. น. 953-960. ใน: ประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55 วันที่ 31 มกราคม-3 กุมภาพันธ์ 2560. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุจิรัตน์ สิทธิโรจน์. 2562. Blockchain เพื่อการตรวจสอบย้อนกลับสินค้าเกษตร: สินค้าข้าวอินทรีย์. พื้นเมือง. แหล่งข้อมูล: http://www.tpso.moc.go.th/th/node/10497. ค้นเมื่อ 11 มิถุนายน 2564.

Bronick, C.J., and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma. 124: 3–22.

Chen, P., W. Kuo, C. Chiang, H. Chiou, Y. Hsieh, and S. Chu. 2006. Black rice anthocy-anins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. Chemico-Biological Interactions. 163: 218–229.

Dixon, R.A., and N.L. Paiva. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. Plant Cell. 7: 1085.

Edward, T., A.F. Albergaria, O.U. Morais, and A. Paulino. 2020. The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants. South African Journal of Botany. 131: 12-17.

Gong, Y., X. Liu, W.H. He, H.G. Xu, F. Yuan, and Y.X. Gao. 2012. Investigation into the antioxidant activity and chemical composition of alcoholic extracts from defatted marigold (Tagetes erecta L.) residue. Fitoterapia. 83: 481-489.

Hopkins, D.W., and R.S. Shiel. 1996. Size and activity of soil microbial communities in long-Term experimental grassland plots treated with manure and inorganic fertilizers. Biology and Fertility of Soils. 22: 66-70.

Iqbal, S., M. I., Bhanger, and F. Anwar. 2005. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. Food Chemistry. 93: 265-272.

Jannoura, R., R.G. Joergensen, and C. Bruns. 2014. Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and soil microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oats under organic farming conditions. European Journal of Agronomy. Part B. 52: 259–270.

Jun, Z., N. Tian, L. Jing, L. Qiang, F. Zhiying, H. Qiwei, Z. Ruifu, L. Rong, S. Biao, and S. Qirong. 2016. Effects of organic–inorganic compound fertilizer with reduced chemical fertilizer application on crop yields, soil biological activity and bacterial community structure in a rice–wheat cropping system. Applied Soil Ecology. 99: 1–12.

Kesarwani, A., P. Chiang, and S. Chen. 2014. Distribution of phenolic compounds and antioxidative activities of rice kernel and their relationships with agronomic practice. The Scientific World Journal. 61: 1-6.

Khaliq, A., M.K. Abbasi, and T. Hussain. 2006. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. Bioresource Technology. 97: 967–972.

Likhitwitayawuid, K., A. Sornsute, B. Sritularak, and P. Ploypradith. 2006. Chemicaltransformations of oxyresveratrol (trans-2,4,3,5-tetrahydroxystilbene) into a potenttyrosinase inhibitor and a strong cytotoxicagent. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letter. s16: 5650-5653.

Marinari, S., G. Masciandaro, B. Ceccanti, and S. Grego. 2000. Influence of organic mineral fertilizers on soil biological and physical properties. Bioresource Technology. 72: 9-17.

Melissa, W., and E. Marchesan. 2011. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Rice. Brazilian Archives of Biology and Technology. 54: 371-377.

Natwalinkhol, S., L. Thunnop, B. Dheerawan, and U. Niramon. 2018. Physiochemical, Antioxidant Activities and Anthocyanin of Riceberry Rice from Different Locations in Thailand. Food and Applied Bioscience Journal. 6: 84–94.

Oszmianski, J., A. Wojdy, and J. Kolniak. 2009. Effect of L-ascorbic acid, sugar, pectin and freeze–thaw treatmenton polyphenol content of frozen strawberries LWT. Food Science and Technology. 42: 581–586.

Tian, S., K. Nakamura, and H. Kayahara. 2004. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. Journal of Agricural and Food Chemistry. 52: 4808-4813.

Zhao, H., F. Yao, Y. Zhang, B. Xu, J. Yuan, Y. Hu, and X. Yin-long. 2007. Correlation Analysis of Rice Seed Setting Rate and Weight of 1000-Grain and Agro-Meteorology over the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River. China Agricultural Sciences in China. 6(4): 430-436.

Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell, and C. Blanchard. 2004. The distribution of phenolic acids in rice. Food Chemistry. 87: 401-406.

Qi, Y., Baowu, W., C. Feng, H. Zhiliang, W. Xi, and G.L. Pengju. 2011. Comparison of anthocyanins and phenolics in organically and conventionally grown blueberries in selected cultivars. Food Chemistry. 125: 201-208.