

การประเมินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในเมล็ดข้าวเพื่อการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวไทย (*Oryza sativa* L.)

Assessments of phenolic compounds and flavonoids contents in rice seeds for screening of Thai rice varieties (*Oryza sativa* L.)

สุธี ชุติไพจิตร^{1,*}, ธนวัช สุจริตรกุล² และ ธนัทธกุล มงคลอัสวรัตน์³

¹วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

³สถาบันบัณฑิตศึกษาจุฬาภรณ์ ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์ เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

E-mail: natadee24@hotmail.com

Sutee Chutipaijit^{1,*}, Thanawat Sutjaritvorakul² and Thanuttkhul Mongkolaussavarat³

¹College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,

Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

²Faculty of Science and Technology, Pathumwan Institute of Technology,

Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand

³Chulabhorn Graduate Institute, Chulabhorn Royal Academy, Lak Si, Bangkok 10210, Thailand

E-mail: natadee24@hotmail.com

บทคัดย่อ

สภาวะในการเพาะปลูกและสายพันธุ์ข้าวนั้นมีผลต่อความหลากหลายของสารทุติยภูมิที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เมล็ดข้าวไทย 6 สายพันธุ์ที่ได้จากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี และศูนย์วิจัยข้าวร้อยเอ็ด โดยมีข้าวขาว 3 สายพันธุ์ (หางยี71 ชัยนาท1 และกข49) และข้าวสี 3 สายพันธุ์ (ข้าวเหนียวคำอูบล ข้าวท่าอูบล และข้าวท่าอูคร) มาใช้วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์จะถูกพบในปริมาณที่สูงในเมล็ดข้าวสี ซึ่งมากกว่าที่พบในเมล็ดข้าวขาว โดยที่ข้าวเหนียวคำอูบลจะพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์สูงที่สุด (670 mg Gallic/L.g และ 380 mg Catechin/L.g ตามลำดับ) ตามมาด้วยข้าวท่าอูบล และข้าวท่าอูคร นอกจากนี้ยังมีการนำสารสกัดจากเมล็ดข้าวไปวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และ DPPH สารสกัดจากเมล็ดข้าวเหนียวคำอูบลให้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดทั้งจากวิธี ABTS (14 μ M Trolox/g) และ DPPH (6 ไมโครลิตร)

เช่นเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารฟเลโวนอยด์ที่พบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารฟเลโวนอยด์ และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดข้าวที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้ในการเพิ่มมูลค่า และคุณค่าทางสารอาหารในข้าวสายพันธุ์ไทยได้

คำสำคัญ: ฟเลโวนอยด์, สารประกอบฟีนอลิก, เมล็ด, ข้าวไทย

Abstract

The variation of secondary metabolites in rice seeds are affected by environmental cultivation and rice varieties. This research used six varieties of Thai rice seeds from Pathumthani, Ubon Ratchathani and Roiet Rice Research Center. Three varieties of non-pigmented rice (Hahng Yi71, Chai Nat1 and RD49) and three varieties of pigmented rice (Glutinous rice Ubon, Khum Ubon and Khum Udon) were investigated for their total phenolic compound and total flavonoids profiles. The high contents of total phenolic compound and total flavonoids were also observed in pigmented rice seeds which more than in non-pigmented rice seeds. Glutinous rice Ubon variety presented the highest levels of total phenolic compound and total flavonoids (670 mg Gallic/g and 380 mg Catechin/g, respectively) followed by Khum Ubon and Khum Udon varieties. Moreover, these rice extracts were evaluated for their antioxidant capacities by ABTS and DPPH assay. The rice extracts from Glutinous rice Ubon variety presented the highest antioxidant activities both ABTS (14 μ M Trolox/g) and DPPH (6 μ L) assay as well as total phenolic compound and total flavonoids contents. The quantitative total phenolic compound, total flavonoids and antioxidant capacities profiles of rice seeds can be useful to value-added and nutrient enrichment in Thai rice varieties.

Keywords: Flavonoids, Phenolic compounds, Seed, Thai rice

1. บทนำ

จากพฤติกรรมของผู้บริโภคในปัจจุบันที่มีความสนใจในอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่เสริมสุขภาพหรือดูแลสุขภาพมากขึ้น [1,2] อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมทั้งทางกายภาพ และทางชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดสภาวะเครียดและความเจ็บป่วยได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ผู้บริโภคมีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง เพื่อลดความเจ็บป่วยต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต [3] และผู้บริโภคยังมีความเชื่อที่ว่าผลิตภัณฑ์หรือสารอาหารที่ได้จากธรรมชาติ นั้น มีความปลอดภัยและเหมาะกับการบริโภคมากกว่าสารที่สังเคราะห์หรือผลิตด้วยกระบวนการทางเคมี [4]

จึงทำให้ผู้บริโภคมีความสนใจในการเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติแต่ละชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) และสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ที่มีประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านเซลล์มะเร็ง ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ ลดโคเลสเตอรอลในเลือด เป็นต้น [5,6] ซึ่งสารประกอบฟีนอลิก และสารกลุ่มฟลาโวนอยด์นั้น พบอยู่ในผัก และผลไม้ตามธรรมชาติ และพบในปริมาณสูงในผลไม้จำพวกเบอร์รี่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลไม้จากต่างประเทศ และมีราคาที่สูง [7-9] จึงมีความสนใจที่จะวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ในพืชท้องถิ่นให้มากยิ่งขึ้น [10,11] เพื่อให้ผู้บริโภคในทุกระดับเข้าถึงข้อมูล และสามารถหาบริโภคได้ต่อไป อันจะส่งผลต่อสุขภาพของประชากรในประเทศให้ดียิ่งขึ้น โดยที่หนึ่งในพืชที่น่าสนใจ ได้แก่ ข้าว เนื่องจากข้าวเป็นทั้งอาหารหลักของประชากรในประเทศ และเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศเป็นอย่างสูง [12,13] อีกทั้งข้าวในประเทศไทยนั้นมีสายพันธุ์ที่หลากหลาย ทำให้มีความแตกต่างกันทั้งทางด้านสัณฐานวิทยา (morphology) สรีรวิทยา (physiology) และสารเมตาบอไลต์ (metabolites) ที่อยู่ในเมล็ดข้าว และประชากรทุกกลุ่มสามารถหาซื้อหรือบริโภคได้อย่างกว้างขวาง

ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ รวมถึงฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่เป็นหนึ่งในคุณสมบัติของสารกลุ่มดังกล่าว ที่ได้จากสารสกัดในเมล็ดข้าวไทยสายพันธุ์ที่เป็นที่นิยมในการเพาะปลูกและบริโภค เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าของข้าวไทย และยังเป็นองค์ความรู้ให้เกิดผู้บริโภคในการเลือกบริโภคข้าวที่นอกจากจะเป็นอาหารหลักแล้ว ยังเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสารอาหารให้แก่ผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นข้อมูลให้แก่เกษตรกรในการเลือกเพาะปลูกข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ให้เหมาะสมต่อพฤติกรรมผู้บริโภคและเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรอีกทางหนึ่ง

2. วิธีการวิจัย

2.1 ตัวอย่างพืช

ในงานวิจัยนี้ใช้เมล็ดข้าวไทย 6 สายพันธุ์ โดยแบ่งเป็นข้าวขาว (non-pigmented rice) 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์หางยี71 ชัยนาท1 และกข49 ที่ได้จากแหล่งเพาะปลูกในพื้นที่ภาคกลาง และข้าวสี (pigmented rice) 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวดำอุบล ข้าวกำอูบล และข้าวกำอูคร ที่ได้จากแหล่งเพาะปลูกในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยนำเมล็ดข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์มาแกะเปลือกออกด้วยมือ จากนั้นนำไปบด และนำตัวอย่างเมล็ดข้าวที่บดแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่แห้งและมีมืด จนกว่าจะนำมาใช้ในการสกัดต่อไป

2.2 การสกัดจากเมล็ดข้าว

นำตัวอย่างเมล็ดข้าวที่บดแล้วทั้ง 6 สายพันธุ์ มาสกัดด้วยเมทานอล:กรดไฮโดรคลอริก (99:1) ในอัตราส่วนสารสกัดปริมาตร 4 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักเมล็ดข้าวบด 1 กรัม ทำการสกัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ตามวิธีของ Harborne (1998) [14] จากนั้นทำการแยกสารสกัดที่ได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารกลุ่มฟเลโวนอยด์

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้จากสารสกัดในการทดลองตอนที่ 2.2 ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ตามวิธีของ Alothman และคณะ (2009) [15] ทำการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้กับสารมาตรฐาน Gallic acid ค่าที่ได้จะแสดงในหน่วย mg Gallic acid/g

ทำการหาปริมาณสารกลุ่มฟเลโวนอยด์ที่ได้จากสารสกัดในการทดลองตอนที่ 2.2 ตามวิธีของ Zhishen และคณะ (1999) [16] ทำการเปรียบเทียบสารกลุ่มฟเลโวนอยด์ที่ได้กับสารมาตรฐาน Catechin ค่าที่ได้จะแสดงในหน่วย mg Catechin/g

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากสารสกัดในการทดลองตอนที่ 2.2 โดยนำมาวิเคราะห์หาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ตามวิธีของ Re และคณะ (1999) [17] และวิธี DPPH ตามวิธีของ Brand-Williams และคณะ (1995) [18]

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

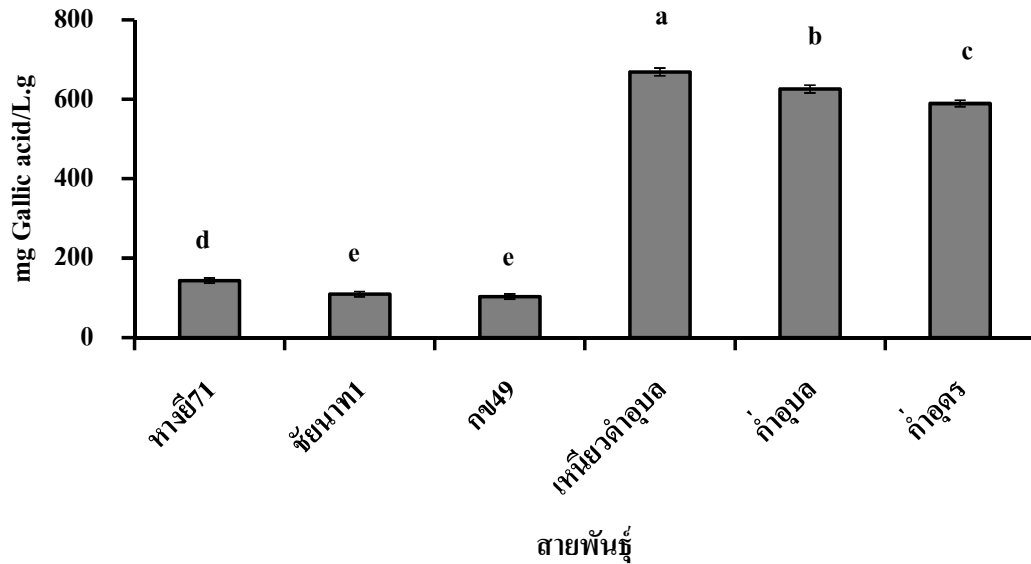
ทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำในแต่ละชุดการทดลอง (n=5) ออกแบบการทดลองโดยใช้ CRD ผลที่ได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA และ Duncan's multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 15.0 (SPSS for Windows, SPSS Inc., USA)

3. ผลการศึกษาและการอภิปราย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารกลุ่มฟเลโวนอยด์ที่อยู่ในเมล็ดข้าวไทยสายพันธุ์ที่นิยมในการเพาะปลูกของเกษตรกรทั้งหมด 6 สายพันธุ์ แบ่งเป็นข้าวขาว 3 สายพันธุ์ และข้าวสี 3 สายพันธุ์ จากผลการทดลองพบว่าในเมล็ดข้าวสีทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวดำอูบล ข้าวดำอูบล และข้าวดำอุดร มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอยู่ที่ประมาณ 580-670 mg Gallic/g ซึ่งสูงกว่าที่พบในเมล็ดข้าวขาว 3 สายพันธุ์ (ข้าวหางยี71 ชัยนาท1 และกข49) ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอยู่ที่ประมาณ 100-145 mg Gallic/g โดยพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุดในข้าวเหนียวดำอูบล และน้อยที่สุดในข้าวสายพันธุ์ชัยนาท1 (รูปที่ 1)

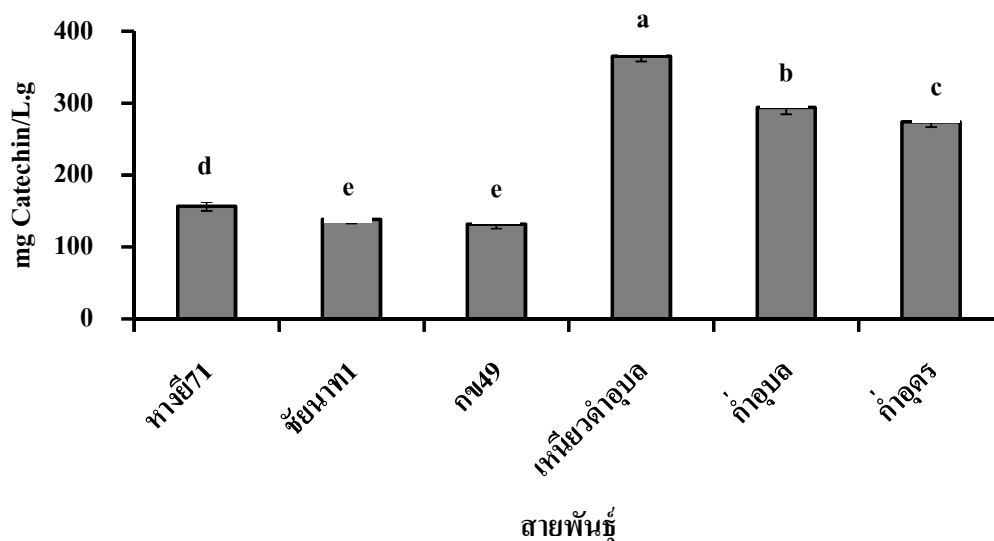
เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารกลุ่มฟเลโวนอยด์ในเมล็ดข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์จะพบผลการทดลองที่ได้นั้นมีแนวโน้มการพบปริมาณสารกลุ่มฟเลโวนอยด์คล้ายคลึงกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยพบปริมาณสารกลุ่มฟเลโวนอยด์ในปริมาณที่สูงในเมล็ดข้าวสี (ข้าวเหนียวดำอูบล ข้าวดำอูบล และข้าวดำอุดร) อยู่ที่ประมาณ 270-380 mg Catechin/g มากกว่าที่พบในเมล็ดข้าวขาว (ข้าวหางยี71 ชัยนาท1 และกข49) 2-3 เท่า ซึ่งมีปริมาณสารกลุ่มฟเลโวนอยด์อยู่ที่ประมาณ 125-150 mg Catechin/g (รูปที่ 2) จากผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าในเมล็ดข้าวสีนั้นมีคุณค่าหรือมีสารที่สำคัญมากกว่าในข้าวขาว สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่มีการศึกษาในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ของแต่ละพื้นที่ในต่างประเทศ [19-21] เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสาร

กลุ่มฟีนอลอยด์ที่พบในพืชชนิดอื่น ยังพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารกลุ่มฟีนอลอยด์ที่พบในเมล็ดข้าวยังมีปริมาณที่น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับพืชจำพวกเบอร์รี่ หรือพวกผักบางชนิด [22-25] แต่เมื่อเปรียบเทียบทางด้านราคาและความแพร่หลายในการเพาะปลูกภายในประเทศนั้น ข้าวยังคงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ และสามารถหาบริโภคได้ในผู้บริโภคทุกระดับภายในประเทศ



รูปที่ 1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้จากสารสกัดในเมล็ดข้าวไทยทั้ง 6 สายพันธุ์ ค่าที่ได้แสดงเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Gallic acid ในหน่วย mg Gallic acid/g ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดยวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Duncan's multiple range test (DMRT)

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้นำสารสกัดที่ได้จากเมล็ดข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์มาศึกษาถึงฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญของสารประกอบฟีนอลิก และสารกลุ่มฟีนอลอยด์ [26] โดยทำการวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และวิธี DPPH ที่เป็นวิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่าง [27-29]



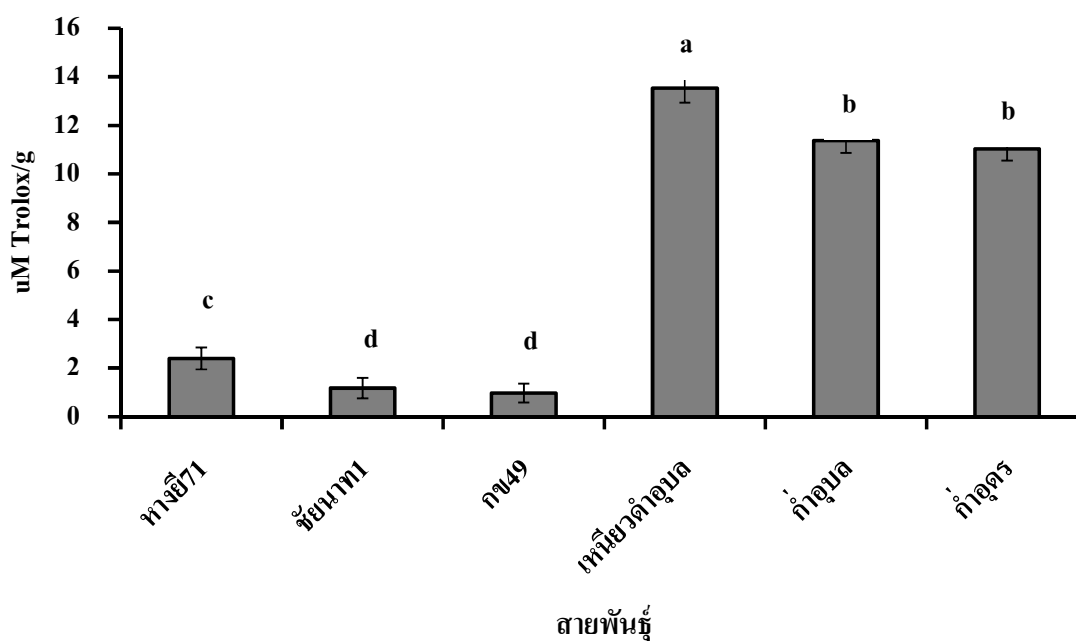
รูปที่ 2 ปริมาณกลุ่มฟเลโวนอยด์ที่ได้จากสารสกัดในเมล็ดข้าวไทยทั้ง 6 สายพันธุ์ ค่าที่ได้แสดงเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Catechin ในหน่วย mg Catechin/g ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดยวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Duncan's multiple range test (DMRT)

จากผลการทดลองในรูปที่ 3 นั้น เมื่อทำการวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS พบว่าสารสกัดที่ได้จากเมล็ดข้าวสาลีทั้ง 3 สายพันธุ์นั้นมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน Trolox พบว่ามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ที่ประมาณ 11-14 μM Trolox/g ซึ่งสูงกว่าที่พบในสารสกัดที่ได้จากเมล็ดข้าวขาวทั้ง 3 สายพันธุ์ที่พบอยู่ที่ประมาณ 1-2.5 μM Trolox/g

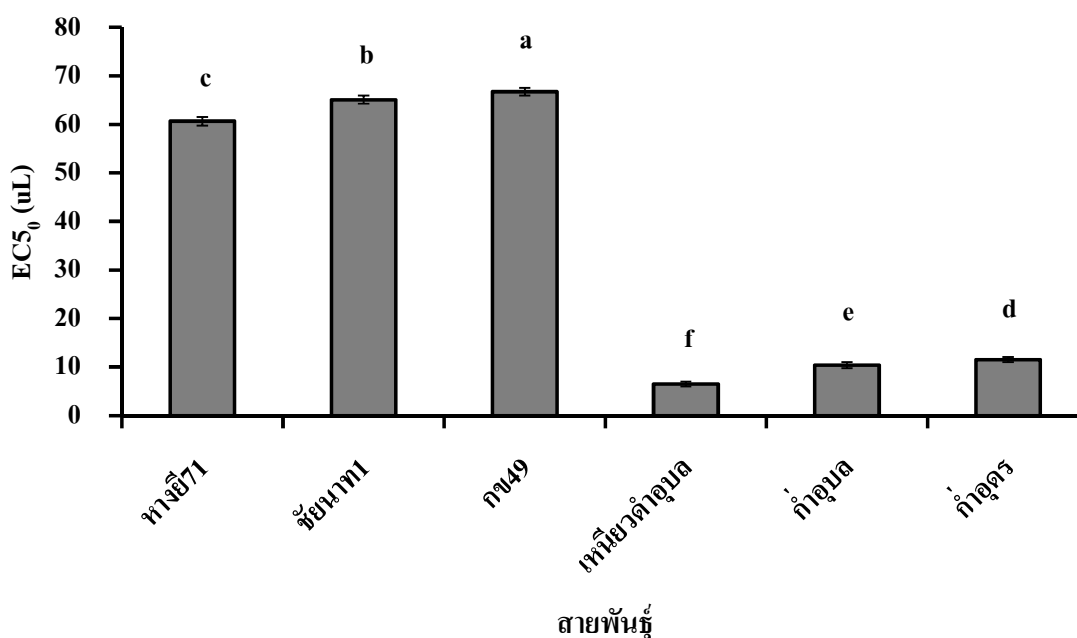
ในขณะที่การวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ดังที่แสดงในรูปที่ 4 จะแสดงผลที่ได้ในปริมาณสารสกัดหน่วยของไมโครลิตร (μL) EC_{50} ซึ่งแสดงถึงปริมาณสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครึ่งหนึ่งของปริมาณอนุมูลอิสระทั้งหมด (50% Inhibition) จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดที่ได้จากเมล็ดข้าวสาลีทั้ง 3 สายพันธุ์นั้นในมีค่า EC_{50} อยู่ที่ประมาณ 6-12 ไมโครลิตร ซึ่งน้อยกว่าค่า EC_{50} ที่พบในสารสกัดที่ได้จากเมล็ดข้าวขาวทั้ง 3 สายพันธุ์ (60-68 ไมโครลิตร) ถึงประมาณ 5-10 เท่า แสดงให้เห็นว่าสารสกัดที่ได้จากเมล็ดข้าวสาลีนั้นให้ปริมาณสารสกัดในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครึ่งหนึ่งที่น้อยกว่าสารสกัดที่ได้จากเมล็ดข้าวขาว

ผลการทดลองที่ได้นั้นสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารกลุ่มฟเลโวนอยด์ในเมล็ดข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์ ที่ทำการศึกษาในตอนก่อนหน้านี้ โดยสายพันธุ์ข้าวที่พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารกลุ่มฟเลโวนอยด์ที่สูง สารสกัดที่ได้จะมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าสารสกัดที่ได้จากเมล็ดข้าวไทยนั้น มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งในปัจจุบันคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระนั้นเป็นที่สนใจต่อผู้บริโภคเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในอาหารหลักที่นิยมบริโภค

กันเป็นประจำอยู่แล้ว [30,31] ซึ่งสามารถช่วยลดความเป็นพิษจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ได้ ส่งผลให้เซลล์สิ่งมีชีวิตนั้นสามารถทนต่อสภาวะเครียดทั้งสภาวะเครียดทางกายภาพ (abiotic stress) และสภาวะเครียดทางชีวภาพ (biotic stress) ที่จะก่อให้เกิดการสะสมอนุมูลอิสระภายในเซลล์ และก่อให้เกิดการทำลายขององค์ประกอบภายในเซลล์ เช่น ดีเอ็นเอ โปรตีน หรือเยื่อหุ้มเซลล์ ต่อไปได้ [32,33]



รูปที่ 3 ปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากสารสกัดในเมล็ดข้าวไทยทั้ง 6 สายพันธุ์ ด้วยวิธี ABTS ค่าที่ได้แสดงเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox ในหน่วย $\mu\text{M Trolox/g}$ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดยวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Duncan's multiple range test (DMRT)



รูปที่ 4 ปริมาณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากสารสกัดในเมล็ดข้าวไทยทั้ง 6 สายพันธุ์ ด้วยวิธี DPPH ค่าที่ได้แสดงในหน่วยของ EC₅₀ (The term half maximal effective concentration) โดยวิเคราะห์จากปริมาณสารสกัดที่ได้จากเมล็ดข้าวไทยที่สามารถยับยั้งปริมาณอนุมูลอิสระได้ครึ่งหนึ่งของปริมาณอนุมูลอิสระทั้งหมด (50% Inhibition) ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดยวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Duncan's multiple range test (DMRT)

4. สรุป

จากผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าข้าวสายพันธุ์ไทยนั้น นอกจากจะเป็นอาหารหลักให้กับประชากรในประเทศแล้ว ยังมีคุณค่าทางโภชนาการหรือสารอาหารที่หลากหลาย และเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มข้าวสี ข้อมูลที่ได้นั้นนอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคแล้ว ยังเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรในการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าว เพื่อนำไปเพาะปลูก ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2558A11802094 และ A118-59-090) และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี และศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวร้อยเอ็ดที่เอื้อเฟื้อเมล็ดพันธุ์ข้าว และวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Casado, D. Martín, C. Torres and G. Reglero, "Phospholipases in food industry: a review," *Methods in Molecular Biology*, Vol. 861, 2012, pp. 495–523.
- [2] F.V. Dulf, D.C. Vodnar, E.H. Dulf and M.I. Tosa, "Total phenolic contents, antioxidant activities, and lipid fractions from berry pomaces obtained by solid state fermentation of two *Sambucus* species with *Aspergillus niger*," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 63, 2015, pp. 3489–3500.
- [3] N. Gonzalez-Abuin, M. Pinent, A. Casanova-Marti, L. Arola, M. Blay and A. Ardevol, "Procyanidins and their healthy protective effects against type 2 diabetes," *Current Medicinal Chemistry*, Vol. 22, 2015, pp. 39–50.
- [4] R.R. Holt, C. Heiss, M. Kelm and C.L. Keen, "The potential of flavanol and procyanidin intake to influence age-related vascular disease," *Journal of Nutrition in Gerontology and Geriatrics*, Vol. 31, 2012, pp. 290–323.
- [5] J. Zhao, Y. Pang and R.A. Dixon, "The mysteries of proanthocyanidin transport and polymerization," *Plant Physiology*, Vol. 153, 2010, pp. 437–443.
- [6] N.N. Rosa, C. Barron, C. Gaiani, C. Dufour and V. Micard, "Ultra-fine grinding increases the antioxidant capacity of wheat brain," *Journal of Cereal Science*, Vol. 57, 2013, pp. 84–90.
- [7] J.L. Qian, D. Liu and A.G. Huang, "The efficiency of flavonoids in polar extracts of *Lycium chinense* mill fruits as free radical scavenger," *Food Chemistry*, Vol. 87, 2004, pp. 283–288.
- [8] N.P. Seeram, L.S. Adams, Y. Zhang, D. Sand and D. Herber, "Blackberry, black raspberry, blueberry, cranberry, red raspberry and strawberry exhibit growth and stimulate apoptosis of human cancer cells *in vitro*," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 54, 2006, pp. 9329–9339.
- [9] C.C. Wang, S.C. Chang, I.B. Stephen and B.H. Chen, "Isolation of carotenoids, flavonoids and polysaccharides from *Lycium barbarum* L. and evaluation of antioxidant activity," *Food Chemistry*, Vol. 120, 2010, pp. 184–192.
- [10] M. Kosar, B. Buzan, F. Temelli and K.H.C. Baser, "Antioxidant activity and phenolic composition of sumac (*Rhus coriaria* L.) extracts," *Food Chemistry*, Vol. 103, 2007, pp. 952–959.
- [11] J.J. Chavan, U.B. Jagtap, N.B. Gaikwad, G.B. Dixit and V.A. Bapat, "Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of Saptarangi (*Salacia chinensis* L.) fruit pulp," *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, Vol. 22, 2013, pp. 409–413.

- [12] K. Pitija, M. Nakornriab, T. Sriseadka, A. Vanavichit and S. Wongpornchai, “Anthocyanin content and antioxidant capacity in bran extracts of some Thai black rice varieties,” *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 48, 2013, pp. 300–308.
- [13] R. Sompong, S. Siebenhandl-Ehn, G. Linsberger-Martin and E. Berghofer, “Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka,” *Food Chemistry*, Vol. 124, 2011, 132–140.
- [14] J.B. Harborne, “Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis,” London, Chapman & Hall, 1998.
- [15] M. Alothman, R. Bhat and A.A. Karim, “Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents,” *Food Chemistry*, Vol. 115, 2009, pp. 785–788.
- [16] J. Zhishen, T. Mengcheng and W. Jianming, “The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals,” *Food Chemistry*, Vol. 64, 1999, pp. 555–559.
- [17] R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans, “Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay,” *Free Radical Biology and Medicine*, Vol. 26, 1999, pp. 1231–1237.
- [18] W. Brand-Williams, M.E. Cuvelier and C. Berset, “Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity,” *LWT- Food Science and Technology*, Vol. 28, 1995, pp. 25–30.
- [19] M.H. Chen, A.M. McClung and C.J. Bergman, “Concentrations of oligomers and polymers of proanthocyanidins in red and purple rice bran and their relationships to total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity and whole grain color,” *Food Chemistry*, Vol. 208, 2016, pp. 279–287.
- [20] D. Sumczynski, E. Kotásková, H. Družbiková and J. Mlček, “Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolics compounds and in vitro digestibility of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties,” *Food Chemistry*, Vol. 211, 2016, pp. 339–346.
- [21] Z. Zhou, X. Chen, M. Zhang and C. Blanchard, “Phenolics, flavonoids, proanthocyanidin and antioxidant activity of brown rice with different pericarp colors following storage,” *Journal of Stored Products Research*, Vol. 59, 2014, pp. 120–125.
- [22] M. Naczk and F. Shahidi, “Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis,” *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Vol. 41, 2006, pp. 1523–1542.
- [23] N. Alshikh, A.C. De Camargo and F. Shahidi, “Phenolics of selected lentil cultivars: Antioxidant activities and inhibition of low-density lipoprotein and DNA damage,” *Journal of Functional Foods*, Vol. 18, 2015, pp. 1022–1038.

- [24] M. Ayoub, A.C. De Camargo and F. Shahidi, "Antioxidants and bioactivities of free, esterified and insoluble-bound phenolics from berry seed meals," Food Chemistry, Vol. 197, 2016, pp. 221–232.
- [25] H.I. Jun, B.T. Kim, G.S. Song and Y.S. Kim, "Structural characterization of phenolic antioxidants from purple perilla (*Perilla frutescens* var. *acuta*) leaves," Food Chemistry, Vol. 148, 2014, pp. 367–372.
- [26] M. Ben Farhat, M.J. Jordán, R. Chaouech-Hamada, A. Landoulsi and J.A. Sotomayor, "Variations in essential oil, phenolic compounds, and antioxidant activity of Tunisian cultivated *Salvia officinalis* L.," Journal of Agricultural and Food Chemistry, Vol. 57, 2009, pp. 10349–10356.
- [27] A. Floegel, D.O. Kim, S.J. Chung, S.I. Koo and O.K. Chun, "Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods," Journal of Food Composition and Analysis, Vol. 24, 2011, pp. 1043–1048.
- [28] L. Müller, K. Fröhlich and V. Böhm, "Comparative antioxidant activities of carotenoids measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP), ABTS bleaching assay (ABTEAC), DPPH assay and peroxyl radical scavenging assay," Food Chemistry, Vol. 129, 2011, pp. 139–148.
- [29] N. Gurnani, M. Gupta, D. Mehta and B.K. Mehta, "Chemical composition, total phenolic and flavonoid contents, and *in vitro* antimicrobial and antioxidant activities of crude extracts from red chilli seeds (*Capsicum frutescens* L.)," Journal of Taibah University for Science, Vol. 10, 2016, pp. 462–470.
- [30] Y. Shao, G. Zhang and J. Bao, "Total phenolic content and antioxidant capacity of rice grains with extremely small size," African Journal of Agricultural Research, Vol. 6, 2011, pp. 2289–2293.
- [31] M.H. Chen, S.H., Choi, N. Kozukue, H.J. Kim and M. Friedman, "Growth-inhibitory effects of pigmented rice bran extracts and three red bran fractions against human cancer cells: Relationships with composition and antioxidative activities," Journal of Agricultural and Food Chemistry, Vol. 60, 2012, pp. 9151–9161.
- [32] G. Pereira-Caro, G. Cros, T. Yokota and A. Crozier, "Phytochemical profiles of black, red, brown, and white rice from the Camargue region of France," Journal of Agricultural and Food Chemistry, Vol. 61, 2013, pp. 7976–7986.
- [33] B. Min, A.M. McClung and M.H. Chen, "Phytochemicals and antioxidant capacities in rice brans of different color," Journal of Food Science, Vol. 76, 2011, pp. C117–C126.