

ผลของกรรมวิธีทำแห้งต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของธัญพืชเพาะงอก ในสภาวะเครียดจากความเค็ม

EFFECTS OF DRYING METHODS ON ANTIOXIDANT ACTIVITIES OF GERMINATED GRAINS UNDER SALINITY STRESS

วารุณี จอมกิตติชัย^{1*} อลงกรณ์ อินทา¹ ศิริประภา เฟื่องพันธ์¹ และ ชนิกาญจน์ จันทร์มาทอง²

Warunee Chomkitichai^{1*}, Alongkorn Intha¹, Siraprapha Fuangphan¹,
and Chanikan Junmatong²

¹สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

²สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

¹Biology Program, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

²Biology Program, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

*corresponding author e-mail: warunee.cho@uru.ac.th

(Received: 26 March 2025; Revised: 23 June 2025; Accepted: 6 July 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกรรมวิธีทำแห้งต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญพืชเพาะงอกภายใต้สภาวะเครียดจากความเค็ม โดยนำเมล็ดธัญพืช 10 ชนิด ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วเหลือง งาดำ ข้าว กข43 ข้าวหอมมะลิ ข้าวสาลี และข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว มาเพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม (น้ำเกลือ 0.50%) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำเมล็ดงอกที่ได้ไปอบแห้ง 2 รูปแบบ คือ อบแห้งแบบเต็มเมล็ดและอบแห้งแบบผง จากนั้นนำเมล็ดที่อบแห้งไปวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โพรลีน และกรดแอสคอร์บิก และวิเคราะห์ฤทธิ์การกำจัดอนุมูล 2,2'-Azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) และ 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) รวมทั้งความสามารถการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidant power; FRAP) ผลการวิจัย พบว่า กรรมวิธีการอบแห้งเมล็ดธัญพืชมีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญพืชงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม โดยเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อสภาวะเครียดและกรรมวิธีการอบแห้งแตกต่างกัน การอบแห้งแบบผงสามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแอสคอร์บิกในถั่วเขียว เพิ่มปริมาณโพรลีนในถั่วดำ ถั่วเหลือง ข้าวสาลี และข้าวไรซ์เบอร์รี่ รวมทั้งสามารถเพิ่มฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS ในถั่วแดงได้ ในขณะที่การอบแห้งแบบเต็มเมล็ดสามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในถั่วเหลืองและงาดำ เพิ่มปริมาณโพรลีนในถั่วเขียว งาดำ และ ข้าว กข43 และเพิ่ม

ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในถั่วแดง ข้าว กข43 และข้าวสาลีชนิดได้ รวมทั้งยังเพิ่มFRAP ในงาคั่ว ข้าว กข43 และข้าวสาลีชนิดได้อีกด้วย ผลจากการวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดธัญพืชงอกโดยกรรมวิธีการอบแห้งแบบเต็มเมล็ดและแบบผง เพื่อให้คงคุณค่าทางอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายและเกิดความสะดวกในการนำมาบริโภคและการเก็บรักษา

คำสำคัญ: เมล็ดธัญพืช กรรมวิธีทำแห้ง สภาวะเครียดจากความเค็ม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The purpose of this research was to study the effects of drying methods on the antioxidant activities of germinated cereal grains under salinity stress. Ten cereal grains, mung beans, red beans, black beans, soybeans, black sesame, RD43 rice, jasmine rice, black rice, riceberry and Leum Pua black sticky rice were germinated under both salinity stress (0.50% NaCl) and normal conditions. Following germination, the samples were subjected to two drying methods: whole grain drying and powder drying. Antioxidant content was determined by measuring total phenolic compounds, proline and ascorbic acid. Antioxidant activities were evaluated using 2,2'-Azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid); ABTS and 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl; DPPH radical scavenging assays, as well as ferric reducing antioxidant power; FRAP assay. The results indicated that drying process had differential effects on the antioxidant activity of cereal grains, depending on the drying method and type of grain. Powder drying was found to increase the total phenolic compounds and ascorbic acid content in mung beans, increase the proline content in black beans, soybeans, black rice and riceberry, and enhance the ABTS radical scavenging activity in red beans. While, whole grain drying was found to increase the total phenolic compounds content in soybean and black sesame, increase the proline content in mung bean, black sesame and RD43 rice, and increase the ascorbic acid content in red bean, RD43 rice and black rice, and also increase the FRAP in black sesame, RD43 rice and black rice. The finding of this research can serve as foundational data for extending the shelf life of germinated cereal grains through whole grain drying and powder drying processes. These methods help retain nutritional value and antioxidant compounds beneficial to health and also enhancing the convenience in consumption and storage.

Keywords: Cereal grains, Drying method, Salinity stress, Antioxidant activity

บทนำ

การบริโภคธัญพืชเพาะงอก (Germinated grains) กำลังเป็นที่นิยมในหมู่ผู้รักสุขภาพ เนื่องจากธัญพืชเหล่านี้มีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายสูง และยังคงเต็มไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยลดการสร้างและกำจัดอนุมูลอิสระซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดโรคร้ายต่างๆ นอกจากนี้ การเพาะงอกเมล็ดธัญพืชในสภาวะเครียดยังช่วยเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) ให้สูงกว่าการเพาะงอกในสภาวะปกติ อย่างไรก็ตามธัญพืชเพาะงอกดังกล่าวอาจไม่สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากต้องผ่านกระบวนการเพาะใหม่ทุกครั้ง มีอายุการเก็บรักษาสั้น และต้องรีบนำไปใช้ทันที ดังนั้นการศึกษาวิธีการอบแห้งธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจึงมีความสำคัญ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน เพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ ช่วยให้จำหน่ายในราคาที่สูงขึ้น และยังคงเสริมสุขภาพของผู้บริโภคในระยะยาว

ในกระบวนการงอกของเมล็ดธัญพืชจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยมีการสลายอาหารสะสมเพื่อนำไปใช้ในการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อน (สมบุญ, 2544) ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น กาบา เอนไซม์ที่สำคัญ และสารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดที่ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรค (วรมพร และคณะ, 2555) งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การเพาะงอกเมล็ดธัญพืชภายใต้สภาวะเครียดจากความเค็มในระดับที่เหมาะสมสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าเมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะปกติและเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเพาะงอก (วารุณี, 2566) เนื่องจากเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียด เช่น ความเค็ม พืชจะสร้างและสะสมอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นกว่าปกติ โดยเฉพาะอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจน (Reactive Oxygen Species; ROS) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ ซึ่งหากปริมาณของอนุมูลอิสระเหล่านี้สูงเกินไปจะนำไปสู่ภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidative stress) ที่ส่งผลเสียต่อเซลล์พืช (Sharma et al., 2012) เพื่อป้องกันผลกระทบดังกล่าว พืชจึงพัฒนากลไกป้องกันด้วยการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาสสมดุลภายในเซลล์ ตัวอย่างของสารเหล่านี้ เช่น สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) กลูตาไธโอน (Glutathione) อัลฟาโทโคฟีรอล (α -Tocopherol) และโพรลีน (Proline) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการป้องกันความเสียหายต่อเซลล์พืช และช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ (Chomkitichai et al., 2014)

การทำแห้งอาหาร (Drying) เป็นกระบวนการลดความชื้นในอาหารโดยการดึงน้ำออกเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (วิภาดา, 2561) ซึ่งช่วยป้องกันการเน่าเสีย ลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา และเพิ่มความสะดวกในการขนส่ง (ชมพู่, 2550; พรพล, 2545) อย่างไรก็ตามกระบวนการทำแห้งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพอาหารในหลายด้าน เช่น การหดตัว การเกิดเปลือกแข็ง และการเปลี่ยนสีจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมี เช่น การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา

เมลลาร์ด นอกจากนี้อาจสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินและโปรตีนที่เสื่อมสภาพ จากความร้อนหรือออกซิเดชัน (สิรินาถ, 2548; อรพิน, 2548) แม้จะมีข้อเสียเหล่านี้ แต่หากควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาได้อย่างเหมาะสม กระบวนการทำแห้งสามารถเพิ่มอายุการเก็บรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่ผ่านมามีรายงานว่าอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งมีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด flavonoid และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระลดลง (สุกัญญา และคณะ, 2563) ซึ่งโดยทั่วไปนิยมอบแห้งเมล็ดธัญพืชที่อุณหภูมิประมาณ 40–60 องศาเซลเซียส เนื่องจากช่วยรักษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดี การศึกษาในข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ช่วยรักษาปริมาณ กาบา อัลฟาโทโคฟีรอล และฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH สูงที่สุด (เทวีภา และวรรณุช, 2554) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดธัญพืช ธัญพืชเพาะงอก และธัญพืชเพาะงอกอบแห้ง 5 ชนิด คือ ถั่วดำ ถั่วเขียว ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ถั่วเหลือง และงาขาว พบว่า เมล็ดธัญพืชทั้ง 5 ชนิดที่เพาะงอกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH มากกว่าธัญพืชเพาะงอกอบแห้ง (สกุลกานต์ และคณะ, 2560) ในขณะที่การศึกษาในข้าวเปลือกเริ่มงอก พบว่า การอบแห้งส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (กฤตนิย และชัยยงค์, 2556)

จะเห็นได้ว่าการเพาะงอกเมล็ดธัญพืชก่อนการบริโภคโดยเฉพาะการเพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม ถือเป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณสารพฤกษเคมีในเมล็ด โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตาม การบริโภคเมล็ดธัญพืชในลักษณะของเมล็ดงอกมักมีข้อจำกัดเนื่องจากกระบวนการเพาะงอกต้องใช้เวลาและมีขั้นตอนซับซ้อน อีกทั้งเมล็ดงอกยังมีอายุการเก็บรักษาสั้นและต้องรีบนำไปใช้ทันที การอบแห้งเมล็ดธัญพืชเพาะงอกจึงเป็นทางเลือกที่ช่วยเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถจำหน่ายในราคาที่สูงขึ้น ทั้งยังส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภคในระยะยาวได้อีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกรรมวิธีการอบแห้งต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดธัญพืชเพาะงอกภายใต้สภาวะเครียดจากความเค็ม โดยนำเมล็ดธัญพืชจำนวน 10 ชนิด มาเพาะงอกภายใต้สภาวะเครียดจากความเค็มจากเกลือแกงความเข้มข้น 0.50% (w/v) เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเมล็ดธัญพืชงอกมาอบแห้งแบบเต็มเมล็ดและแบบผง ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โพรลีน และกรดแอสคอร์บิก และวิเคราะห์ฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS และ DPPH รวมทั้งวิเคราะห์ FRAP ของเมล็ดธัญพืชอบแห้งทั้งสองกรรมวิธี เปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ทำการเพาะงอก ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้ไป

ประยุกต์ใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดธัญพืชงอกและเป็นข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นเมล็ดธัญพืชอบแห้งที่มีคุณค่าทางอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพและมีความสะดวกในการนำมาบริโภค

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างเมล็ดธัญพืชเพาะงอกอบแห้ง

1.1 การรวบรวมเมล็ดธัญพืช

นำเมล็ดธัญพืชที่มีการใช้ประโยชน์ด้านอาหารกันอย่างกว้างขวางและหาง่ายตามท้องตลาดทั่วไป จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วเหลือง งาดำ ข้าว กข43 ข้าวหอมมะลิ ข้าวสาลี ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว นำมาคัดเลือกเมล็ดที่สมบูรณ์ ขนาดใกล้เคียงกัน ไม่มีร่องรอยความเสียหายจากโรคและแมลง มาใช้ในการทดลอง

1.2 การเพาะงอกเมล็ดธัญพืชในสภาวะเครียดจากความเค็ม

นำเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิด จำนวน 300 กรัม มาเพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็มจากเกลือแกง (NaCl) ความเข้มข้น 0.50% (w/v) ซึ่งเป็นความเค็มในระดับความเข้มข้นที่ดีที่สุดที่สามารถชักนำฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในธัญพืชเพาะงอกได้ดี (วารุณี, 2566) โดยแช่เมล็ดในน้ำเกลือเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง แล้วย้ายเมล็ดไปบ่มเพาะต่อในน้ำเกลือเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง บ่มเพาะเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิด จำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 100 กรัม แต่ละซ้ำบ่มเพาะในกล่องพลาสติก ขนาด 16x24x6 เซนติเมตร ที่มีผ้าขนหนูเปียกชุ่มด้วยสารละลายเกลือแกงความเข้มข้น 0.50% (w/v) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นวัสดุในการบ่มเพาะ ปิดฝาและบ่มเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิห้องประมาณ 32 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำเมล็ดงอกที่ได้ไปอบแห้งต่อไป

1.3 การอบแห้งเมล็ดธัญพืช

นำเมล็ดธัญพืชงอกแต่ละชนิดไปอบแห้ง 2 รูปแบบ รูปแบบแรกนำไปอบแห้งแบบเต็มเมล็ด และรูปแบบที่ 2 นำไปอบแห้งแบบผง โดยนำเมล็ดธัญพืชไปปั่นให้ละเอียดก่อนนำไปอบแห้ง แล้วร่อนผ่านตะแกรง 40 เมส (mesh) การอบแห้งทั้ง 2 รูปแบบ อบในตู้อบร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งแห้งสนิท จากนั้นนำตัวอย่างเมล็ดธัญพืชที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 2 รูปแบบไปวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่อไป

2. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญพืช

นำเมล็ดธัญพืชงอกในสภาวะเครียดจากความเค็มที่อบแห้งแบบเต็มเมล็ดและอบแห้งแบบผงที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยเทียบกับชุดควบคุมที่เป็นเมล็ดจากท้องตลาดทั่วไปที่ไม่ได้เพาะงอก โดยเมล็ดแต่ละชนิดที่วิเคราะห์มี 3 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เมล็ดธัญพืชจากท้องตลาดที่ไม่ได้เพาะงอก (ชุดควบคุม)

กลุ่มที่ 2 เมล็ดธัญพืชงอกอบแห้งแบบเต็มเมล็ด

กลุ่มที่ 3 เมล็ดธัญพืชงอกอบแห้งแบบผง

นำเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง มาสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ วารุณี (2566) โดยนำตัวอย่างเมล็ดธัญพืชบดละเอียด จำนวน 2 กรัม ไปปั่นสกัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ด้วยสารละลายสารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 80% ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วนำสารผสมที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำส่วนของเหลวใสชั้นบนที่ได้ซึ่งเป็นสารสกัด หยิบไปใช้วิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant content) และวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระวิเคราะห์จากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total antioxidant capacity) โพรลีน (Proline) และกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) ดังต่อไปนี้

2.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดัดแปลงจากวิธีการของ Singleton & Rossi (1965) โดยนำสารสกัดหยาบปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลาย Folin-ciocalteu's phenol reagent ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 นาที จากนั้นเติมสารละลาย Sodium carbonate ความเข้มข้น 7.50% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid; GA) ซึ่งมีหน่วยเป็น mg GAE/gDW

2.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณโพรลีน

การวิเคราะห์ปริมาณโพรลีน ดัดแปลงจากวิธีการของ Boggess et al. (1976) โดยนำสารสกัดหยาบปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลาย Acid-ninhydrin reagent 1 มิลลิลิตร แล้วนำหลอดทดลองไปเร่งปฏิกิริยาในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นหยุดปฏิกิริยาโดยการแช่หลอดทดสอบน้ำแข็งทันที แล้วจึงเติม Toluene ปริมาตร 5 มิลลิลิตรในหลอดทดสอบ ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที สารละลายในหลอดทดลองจะเกิดการแยกชั้น นำเฉพาะสารละลายชั้นบนไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 528 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไป

คำนวณหาปริมาณโพรลีนโดยเทียบกับกราฟของมาตรฐานโพรลีน (Proline; Pro) ซึ่งมีหน่วยเป็น mmol Pro/gDW

2.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ดัดแปลงจากวิธีการของ Deepa et al. (2006) โดยนำสารสกัดหยาบปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายเมตาฟอสฟอริก ความเข้มข้น 3% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลาย 2,6 ไดคลอโรฟีนอลไดฟีนอล (DPIP) ความเข้มข้น 0.10 mM โดยใช้ฟีนอล์ฟทาซีนเป็นอินดิเคเตอร์จนถึงจุดยุติ เมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู นำปริมาณ DPIP ที่ใช้ในการไทเทรตไปคำนวณหาปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid; ASA) ซึ่งมีหน่วยเป็น mg ASA/100gDW

2.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการทดสอบฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS (ABTS radical scavenging) และ DPPH (DPPH radical scavenging) และการทดสอบ FRAP ดังวิธีการต่อไปนี้

2.2.1 การทดสอบฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS

การทดสอบฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS ดัดแปลงจากวิธีการของ Huang, Ou & Prior (2005) โดยเตรียมสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 mM ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย Potassium Persulphate ความเข้มข้น 2.45 mM ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเก็บไว้ในที่มืดอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16–18 ชั่วโมง แล้วนำมาเจือจางด้วย Ethanol ความเข้มข้น 80% ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 0.7 ± 0.02 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ก่อนนำไปใช้ ซึ่งเรียกว่า ABTS solution จากนั้นนำ ABTS Solution ที่ได้ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมกับสารสกัดหยาบปริมาตร 0.02 มิลลิลิตร วางไว้ในที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณการกำจัดอนุมูล ABTS โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของโทรลอกซ์ (Trolox; TE) ซึ่งมีหน่วยเป็น $\mu\text{mol TE/gDW}$

2.2.2 การทดสอบฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH

การทดสอบฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ดัดแปลงจากวิธีการของ Mun'im, Negishi & Ozawa (2003) โดยเตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วย Acetate Buffer pH 5.50 ความเข้มข้น 0.30 M ปริมาตร 0.40 มิลลิลิตร DPPH ความเข้มข้น 0.12 mM ที่ละลายใน Ethanol ความเข้มข้น 80% ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร และสารสกัดหยาบปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้ววางไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณการกำจัดอนุมูล DPPH โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของ โทรอลอกซ์ ซึ่งมีหน่วยเป็น $\mu\text{mol TE/gDW}$

2.2.3 การทดสอบ FRAP

การทดสอบ FRAP ดัดแปลงจากวิธีการของ Benzie & Strain (1996; 1999) โดยเตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาตร 2.70 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วย Acetate buffer pH 6.30 ความเข้มข้น 0.30 M TPTZ ความเข้มข้น 10 mM และ Ferric chloride ความเข้มข้น 20 mM จากนั้นเติมสารสกัดหยาบปริมาตร 0.30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวางไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาการรีดิวซ์เฟอร์ริก โดยเทียบกราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulphate; Fe^{2+}) ซึ่งมีหน่วยเป็น $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{gDW}$

3. การวิเคราะห์สถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสำหรับหลายกลุ่ม ตัวอย่างโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียว (One-way analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยค่า Least significant differences; LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P=0.05$)

ผลการวิจัย

1. ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

1.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

เมล็ดธัญพืชทั้ง 10 ชนิดในชุดควบคุมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 0.432–5.321 mg GAE/gDW การอบแห้งมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเมล็ด ซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการอบแห้งและชนิดของธัญพืช ดังภาพที่ 1(A)

การอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ เมล็ดข้าวหอมมะลิ ถั่วเหลือง งาดำ และถั่วเขียว ให้สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น คิดเป็น 120.60% 37.83% 28.85% และ 19.60% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลลดปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ ถั่วแดง ข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว และถั่วดำ ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 74.52% 68.32% 51.18% และ 28.35% ตามลำดับ

การอบแห้งแบบผงมีผลเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเมล็ดถั่วเขียว และข้าวหอมมะลิ ให้สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น คิดเป็น 69.80% และ 5.35% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบผงมีผลลดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ ถั่วแดง ข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว ข้าว กข43 และถั่วเหลือง ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 63.50% 55.99% 30.19% 26.06% และ 23.76% ตามลำดับ

1.2 ปริมาณโพรลีน

เมล็ดธัญพืชทั้ง 10 ชนิด ในชุดควบคุมมีปริมาณโพรลีน 0.069–0.634 mmol Pro/gDW การอบแห้งมีผลต่อปริมาณโพรลีนในเมล็ด ซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการอบแห้งและชนิดของธัญพืช ดังภาพที่ 1(B)

การอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลเพิ่มปริมาณโพรลีนของเมล็ดถั่วเขียว งาคำ ข้าวสาลี ข้าวหอมมะลิ ข้าว กข43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และถั่วเหลือง ให้สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้น คิดเป็น 357.14% 224.53% 211.59% 163.89% 55.03% 45.43% และ 37.04% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลลดปริมาณโพรลีนของเมล็ดถั่วแดง และข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 29.73% และ 16.42% ตามลำดับ

การอบแห้งแบบผงมีผลเพิ่มปริมาณโพรลีนของเมล็ดข้าวสาลี ถั่วเขียว ข้าวหอมมะลิ ถั่วเหลือง ข้าวไรซ์เบอร์รี่ งาคำ และถั่วดำ ให้สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 524.64% 231.90% 150.00% 91.01% 70.03% 64.62% และ 6.01% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบผงมีผลลดปริมาณโพรลีนของเมล็ดถั่วแดง และข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 39.19% และ 14.53% ตามลำดับ

1.3 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

เมล็ดธัญพืชทั้ง 10 ชนิด ในชุดควบคุมมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก 0.092–0.368 mg ASA/100gDW การอบแห้งมีผลต่อปริมาณโพรลีนในเมล็ด ซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการอบแห้งและชนิดของธัญพืช ดังภาพที่ 1(C)

การอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเมล็ดถั่วแดง ถั่วเขียว ข้าวสาลี ถั่วดำ ข้าวหอมมะลิ และข้าว กข43 ให้สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น คิดเป็น 52.17% 40.52% 18.76% 18.00% 17.86% และ 13.62% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลลดปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเมล็ดงาคำ และถั่วเหลือง ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 46.74% และ 23.14% ตามลำดับ

การอบแห้งแบบผงมีผลเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเมล็ดถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ข้าวหอมมะลิ และ ข้าว กข43 ให้สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น คิดเป็น 66.01% 21.74% 18.00% 17.86% และ 8.12% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบผงมีผลลดปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเมล็ดงาดำ และถั่วเหลือง ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 39.13% และ 26.67% ตามลำดับ

2.ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2.1 ฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS

เมล็ดธัญพืชทั้ง 10 ชนิด ในชุดควบคุมมีฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS 3.126–14.221 $\mu\text{mol TE/gDW}$ การอบแห้งมีผลต่อฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS ในเมล็ด ซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการอบแห้งและชนิดของธัญพืช ดังภาพที่ 2(A)

การอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลเพิ่มฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS ของเมล็ดถั่วแดง ให้สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS เพิ่มขึ้น คิดเป็น 54.70% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลลดฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS ของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ งาดำ ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ข้าวหอมมะลิ และข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว ซึ่งมีฤทธิ์ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 65.78% 64.78% 54.70% 48.88% 35.06% และ 22.48% ตามลำดับ

การอบแห้งแบบผงมีผลเพิ่มฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS ของเมล็ดถั่วแดง ให้สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS เพิ่มขึ้น คิดเป็น 47.54% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบผงมีผลลดฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS ของเมล็ดงาดำ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมมะลิ ข้าวสาลี และข้าว กข43 ซึ่งมีฤทธิ์ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 72.72% 65.23% 39.22% 26.89% และ 16.96% ตามลำดับ

2.2 ฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH

เมล็ดธัญพืชทั้ง 10 ชนิดในชุดควบคุมมีฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH 1.624–10.391 $\mu\text{mol TE/gDW}$ การอบแห้งมีผลต่อฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ในเมล็ด ซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการอบแห้งและชนิดของธัญพืช ดังภาพที่ 2(B)

การอบแห้งแบบเต็มเมล็ดไม่มีผลเพิ่มฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ของเมล็ดธัญพืช อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลลดฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ของเมล็ดข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว ข้าวสาลี ถั่วดำ ถั่วแดง ข้าว กข43 ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และงาดำ ให้ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ลดลง คิดเป็น 55.40% 48.00% 45.99% 41.67% 31.14% 18.48% 15.56% และ 5.84% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ

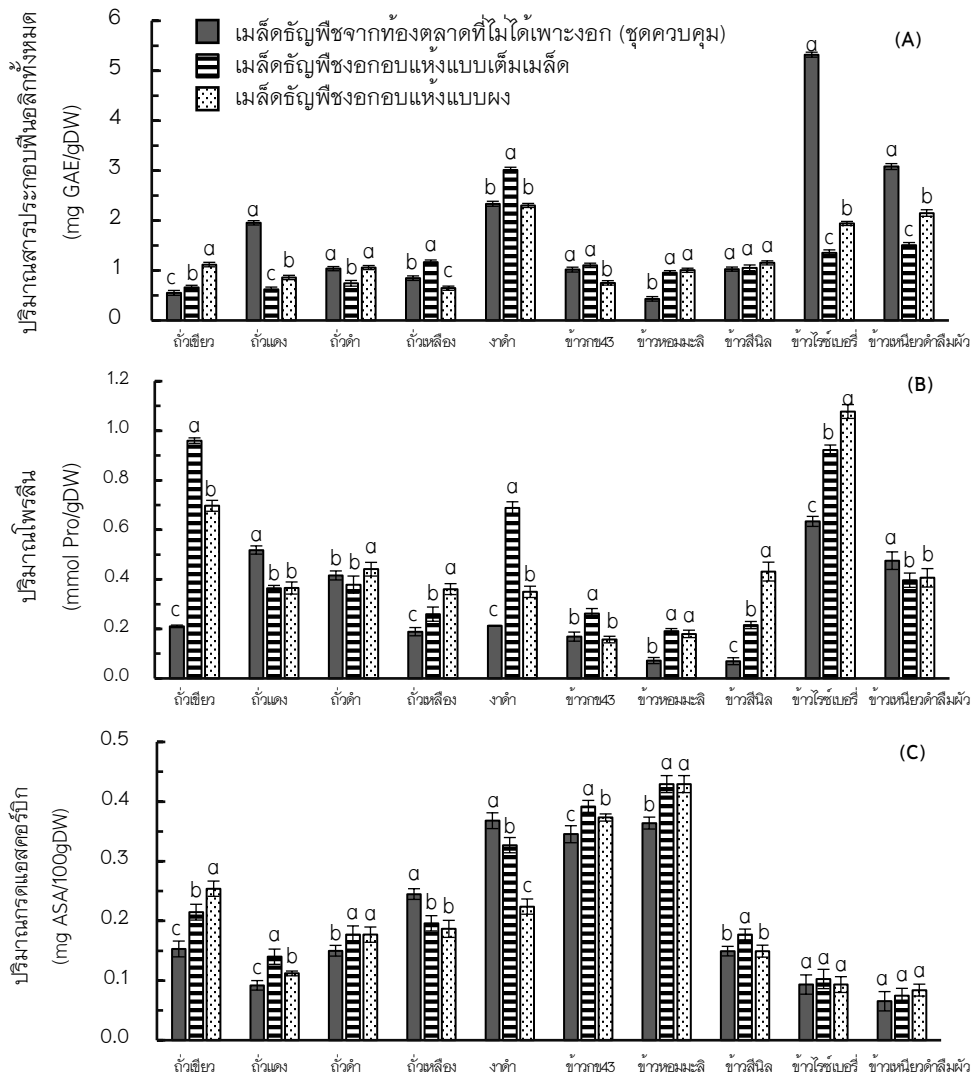
การอบแห้งแบบผงไม่มีผลเพิ่มฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ของเมล็ดธัญพืช อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบผงมีผลลดฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ของเมล็ดถั่วแดง ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว ข้าว กข43 งาดำ ข้าวหอมมะลิ ข้าวสีนิล ถั่วเขียว และถั่วเหลือง ให้ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ลดลง คิดเป็น 49.19% 39.80% 39.75% 35.29% 32.15% 20.27% 14.52% 11.64% และ 10.47% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ

2.3 ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอรริก (FRAP)

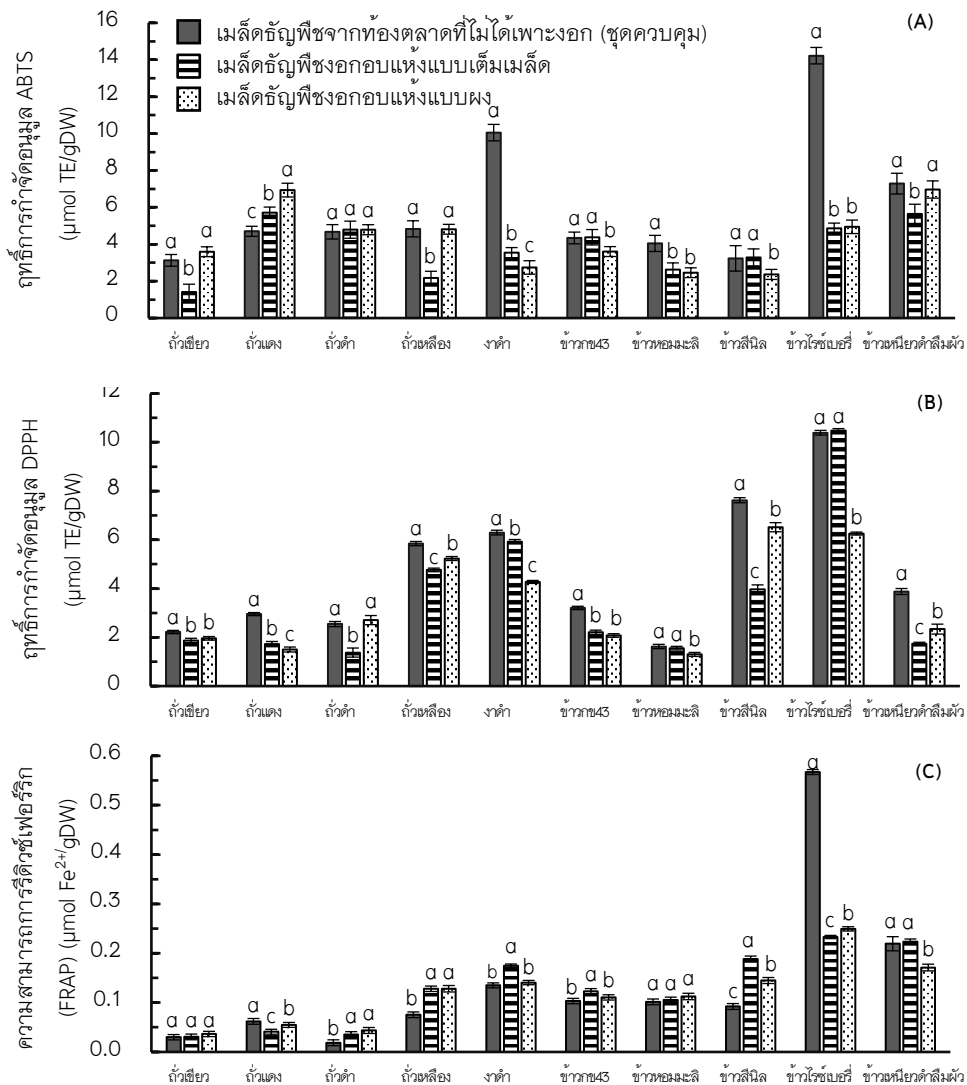
เมล็ดธัญพืชทั้ง 10 ชนิดในชุดควบคุมมี FRAP 0.019–0.567 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{gDW}$ การอบแห้งมีผลต่อ FRAP ในเมล็ด ซึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการอบแห้งและชนิดของธัญพืช ดังภาพที่ 2(C)

การอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลเพิ่ม FRAP ของเมล็ดข้าวสีนิล ถั่วดำ ถั่วเหลือง งาดำ และข้าว กข43 ให้สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมี FRAP เพิ่มขึ้น คิดเป็น 104.35% 84.21% 70.67% 29.63% และ 19.42% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลลด FRAP ของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ และถั่วแดง ซึ่งมี FRAP ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 58.91% และ 33.87% ตามลำดับ

การอบแห้งแบบผงมีผลเพิ่ม FRAP ของเมล็ดถั่วดำ ถั่วเหลือง และข้าวสีนิล ให้สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมี FRAP เพิ่มขึ้น คิดเป็น 131.58% 70.67% และ 57.61% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบผงมีผลลด FRAP ของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว และถั่วแดง ซึ่งมี FRAP ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็น 56.08% 21.92% และ 11.29% ตามลำดับ



ภาพที่ 1 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเมลล็ดธัญพืชเพาะงอกอบแห้ง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (A) ปริมาณโพรลีน (B) และปริมาณกรดแอสคอร์บิก (C) (กราฟแท่งแสดงค่า Mean±S.D. และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (a-c) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%)



ภาพที่ 2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมลล็ดัญพืชเพาะงอกอบแห้ง ฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS (A) ฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH (B) และความสามารถการรีดิวซ์เฟอร์ริก (C) (กราฟแท่งแสดงค่า Mean $\pm$ S.D. และตัวอักษรภาษาอังกฤษ (a-c) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%)

อภิปรายผล

เมล็ดธัญพืชที่ผ่านการเพาะงอกภายใต้สภาวะเครียดจากความเค็มในระดับที่เหมาะสม มีคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะปกติหรือเมล็ดที่ไม่ได้เพาะงอก ทั้งนี้กระบวนการเพาะงอกภายใต้สภาวะเครียดดังกล่าวกระตุ้นให้พืชสร้างอนุมูลอิสระ ซึ่งพืชตอบสนองด้วยการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อควบคุมสมดุลและลดความเสียหาย ส่งผลให้ธัญพืชที่เพาะงอกภายใต้สภาวะเครียดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น (วารุณี, 2566)

การอบแห้งเมล็ดธัญพืชงอกภายใต้สภาวะเครียดจากความเค็มทั้งการอบแบบเต็มเมล็ด และการอบแบบผงส่งผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากความหลากหลายของโครงสร้าง องค์ประกอบทางเคมี กระบวนการเมแทบอลิซึม และการตอบสนองต่อสภาวะเครียดของเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิด กระบวนการอบแห้งอาจส่งผลต่อปริมาณและฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากความร้อนอาจทำให้สารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดเสื่อมสลายได้ การอบแห้งแบบเต็มเมล็ดอาจช่วยป้องกันความร้อนเข้าถึงภายในเมล็ด ได้ทั้งหมดส่งผลให้สารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดยังคงถูกเก็บรักษาไว้ อย่างไรก็ตามสารที่อยู่บริเวณผิวเมล็ดอาจเสื่อมสลายเมื่อสัมผัสกับความร้อน (ปิยพร และศศิธร, 2562) ขณะที่การอบแห้งแบบผง (การบดเมล็ดเป็นผงก่อนอบ) ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ทำให้ความร้อนกระจายตัวได้ทั่วถึง ส่งผลให้มีการปลดปล่อยสารต้านอนุมูลอิสระออกมาในปริมาณมากขึ้น (โพธิ์ทอง, 2563) ทั้งนี้ การควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการรักษาปริมาณและคุณภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ ความร้อนที่สูงเกินไปอาจทำให้สารเสื่อมสลาย ดังนั้นการเลือกอุณหภูมิและวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อการคงคุณภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดธัญพืช (สุกัญญา และคณะ, 2563)

กระบวนการอบแห้งมีอิทธิพลต่อปริมาณและฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดธัญพืช ทั้งนี้ในระดับอุตสาหกรรม การอบแห้งเมล็ดธัญพืชมักใช้อุณหภูมิในช่วง 50–70°C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการลดความชื้นโดยไม่ทำลายสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากนัก โดยอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปอาจใช้เวลานานในการอบ ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์ ขณะที่อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้สารต้านอนุมูลอิสระเสื่อมสลายได้ง่าย (Chanwitheesuk et al., 2005) ในอุตสาหกรรมอาหาร ธัญพืชที่ผ่านการอบแห้งถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท เช่น เครื่องดื่มสุขภาพ ซีเรียล บิสกิต และผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านการอักเสบ และไฟเบอร์ นอกจากนี้ธัญพืชยังสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารฟังก์ชัน (Functional foods) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมสุขภาพ และลดความเสี่ยงของโรคเรื้อรัง อย่างไรก็ตามการควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมเป็น

ปัจจัยสำคัญในการรักษาคุณภาพของสารออกฤทธิ์ในธัญพืช เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในพืชมีบทบาทสำคัญในการป้องกันความเสียหายจากอนุมูลอิสระและการตอบสนองต่อสภาวะเครียดต่างๆ การเพิ่มขึ้นของสารฟีนอลิกในสภาวะเครียดช่วยให้พืชปรับตัวและอยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยได้ เมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดมีกลไกตอบสนองต่อสภาวะเครียดแตกต่างกัน สภาวะเครียดในระดับปานกลางมักกระตุ้นการผลิตสารประกอบฟีนอลิก ในขณะที่ความเครียดรุนแรงอาจทำให้สารประกอบฟีนอลิกลดลง (อินทรา และสวาทิตี, 2561) ซึ่งผลการวิจัย พบว่า การอบแห้งเมล็ดธัญพืชของในสภาวะเครียดแบบเต็มเมล็ดมีผลเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเมล็ดถั่วเขียว ถั่วเหลือง งาดำ และข้าวหอมมะลิ ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนจากการอบแห้งมีผลยับยั้งเอนไซม์ Polyphenol oxidase; PPO ที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนสารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดดังกล่าว ส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดถูกเก็บรักษาไว้มากขึ้น (Latinovic et al., 2024) และความร้อนจากการอบแห้งมีผลทำให้เยื่อหุ้มเซลล์และออร์แกเนลล์ของพืชเสียหาย ทำให้สารประกอบฟีนอลิกที่อยู่ในแวคิวโอลถูกปลดปล่อยออกมา จึงมีปริมาณเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาในผักชีฝรั่ง ชมัน (Latinovic et al., 2024) และชิง (Chan et al., 2009) อย่างไรก็ตามในเมล็ดถั่วแดง ถั่วดำ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว ที่อบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าชุดควบคุม ส่วนการอบแห้งแบบผงมีผลเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเมล็ดถั่วเขียว และข้าวหอมมะลิ ในขณะที่เมล็ดถั่วแดง ถั่วเหลือง ข้าว กข43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าชุดควบคุม

โพรลีนเป็นกรดอะมิโนที่สำคัญที่พืชผลิตขึ้นเพื่อตอบสนองต่อสภาวะเครียดจากความเค็ม โดยทำหน้าที่เป็นสารออสโมโพรเทคแตนท์ (Osmoprotectant) ช่วยรักษาสมดุลของน้ำในเซลล์ ช่วยป้องกันความเสียหายต่อเซลล์ และเพิ่มความทนทานของพืชต่อสภาวะเครียด การสะสมโพรลีนเพิ่มขึ้นในสภาวะเครียดเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยให้พืชสามารถปรับตัวและอยู่รอดในสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (สุรศักดิ์ และคณะ, 2566) เมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดมีกลไกตอบสนองต่อสภาวะเครียดแตกต่างกัน การอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลเพิ่มปริมาณโพรลีนของเมล็ดถั่วเขียว ถั่วเหลือง งาดำ ข้าว กข43 ข้าวหอมมะลิ ข้าวสีนิล และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทั้งนี้เนื่องจากจากการอบแห้งทำให้เกิดภาวะเครียดจากการขาดน้ำ (Drought stress) ซึ่งกระตุ้นการสะสมโพรลีนในเนื้อเยื่อพืช เป็นกลไกที่พืชใช้ในการปรับตัวและป้องกันความเสียหายจากความเครียดที่เกิดจากการขาดน้ำ ช่วยรักษาความเสถียรของโปรตีนและเยื่อหุ้มเซลล์ รวมถึงการกำจัดอนุมูลอิสระ (สุรศักดิ์ และคณะ, 2566) อย่างไรก็ตามในเมล็ดถั่วแดง และข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว ที่อบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีปริมาณโพรลีนน้อยกว่าชุดควบคุม ส่วนการอบแห้งแบบผงมีผลเพิ่มปริมาณโพร

รลินของเมล็ดถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วเหลือง งาดำ ข้าวหอมมะลิ ข้าวสาลี และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในขณะที่เมล็ดถั่วแดง และข้าวเหนียวดำลืมหั่ว มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าชุดควบคุม

กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในพืช มีบทบาทในการปกป้องเซลล์จากความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ ซึ่งเกิดขึ้นได้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมปกติของพืชหรือเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียด โดยกรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยตรงและยังมีบทบาทในการหมุนเวียนสารต้านอนุมูลอิสระอื่น เช่น กลูตาไธโอน ทำให้ระบบป้องกันอนุมูลอิสระในพืชมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Chomkitichai et al., 2014) เมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดมีกลไกตอบสนองต่อสภาวะเครียดแตกต่างกัน การอบแห้งแบบเต็มเมล็ดมีผลเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเมล็ดถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ข้าว กข43 ข้าวหอมมะลิ และข้าวสาลี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการอบแห้งทำให้เมล็ดอยู่ในสภาวะเครียด เมล็ดจึงสร้างและสะสมอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งหากปริมาณของอนุมูลอิสระเหล่านี้สูงเกินไปจะนำไปสู่ภาวะเครียดออกซิเดชันที่ส่งผลเสียต่อเซลล์พืช ดังนั้นพืชจึงพัฒนากลไกป้องกันด้วยการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น กรดแอสคอร์บิก เพิ่มมากขึ้น (Sharma et al., 2012) อย่างไรก็ตามในเมล็ดถั่วเหลืองและงาดำ มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกน้อยกว่าชุดควบคุม ส่วนการอบแห้งแบบผงมีผลเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเมล็ดถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ข้าว กข43 และข้าวหอมมะลิ ในขณะที่เมล็ดถั่วเหลือง และงาดำ มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกน้อยกว่าชุดควบคุม

เมล็ดธัญพืชอยู่ในสภาวะเครียดที่อบแห้งทั้งแบบเต็มเมล็ดและแบบผงที่สามารถรักษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โปรตีน และกรดแอสคอร์บิกได้ อาจส่งผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญเหล่านั้น เมื่อพิจารณาฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระของธัญพืชทั้ง 10 ชนิด พบว่า มีเพียงถั่วแดงอบแห้งทั้ง 2 กรรมวิธีมีฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้เพาะงอก ส่วนเมล็ดธัญพืชชนิดอื่นมีฤทธิ์การกำจัดอนุมูลทั้ง ABTS และ DPPH ต่ำกว่าชุดควบคุม และเมื่อพิจารณาความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกหรือ FRAP พบว่า มีเพียง ถั่วดำ ถั่วเหลือง งาดำ ข้าว กข43 และข้าวสาลีเท่านั้นที่มี FRAP สูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้เพาะงอก

จะเห็นได้ว่ากรรมวิธีการอบแห้งเมล็ดธัญพืชมีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากความเค็ม โดยเมล็ดพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อสภาวะเครียดและกรรมวิธีการอบแห้งแตกต่างกัน เมล็ดธัญพืชอบแห้งทั้งแบบเต็มเมล็ดและแบบผงบางชนิดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าชุดควบคุม บางชนิดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าชุดควบคุม อาจเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิด และความไวต่ออนุมูลในการอบแห้ง ซึ่งอาจมีผลทำให้สารต้านอนุมูลอิสระสลายตัวหรือสูญเสียองค์ประกอบทางเคมีบางชนิดไประหว่างการอบแห้ง (ปิยพร และศิริธร, 2562)

อย่างไรก็ตาม ในเมล็ดธัญพืชบางชนิดที่มีสีม่วงเข้ม เช่น ถั่วดำ งาดำ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในชุดควบคุมที่ไม่ได้เพาะงอกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง แต่ในชุดเพาะงอกและนำไปอบแห้งทุกกรรมวิธีมีฤทธิ์ต้านอนุมูลลดต่ำลง สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ขณะที่โพรลีนและกรดแอสคอร์บิกมีปริมาณค่อนข้างสูงก็ตาม ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่น เช่น แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) ซึ่งเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ในกลุ่มสารฟีนอลิกที่พบได้ทั่วไปในพืช เป็นรงควัตถุที่ให้สีแดง น้ำเงิน และม่วง ในดอกไม้ ผลไม้ ใบไม้ และธัญพืช มีคุณสมบัติการละลายน้ำได้ดี (จริงแท้, 2549) ดังนั้นในการเพาะงอกเมล็ดธัญพืชที่มีสีดังกล่าวอาจส่งผลให้เกิดการละลายของแอนโทไซยานินออกจากเมล็ดธัญพืช ส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงน้อยกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้เพาะงอก

สรุปผลการวิจัย

กรรมวิธีการอบแห้งเมล็ดธัญพืชมีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญพืชงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม โดยเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อสภาวะเครียดและกรรมวิธีการอบแห้งแตกต่างกัน การอบแห้งแบบผงสามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแอสคอร์บิกในถั่วเขียว เพิ่มปริมาณโพรลีนในถั่วดำ ถั่วเหลือง ข้าวสาลี และข้าวไรซ์เบอร์รี่ รวมทั้งสามารถเพิ่มฤทธิ์การกำจัดอนุมูล ABTS ในถั่วแดงได้ ในขณะที่การอบแห้งแบบเต็มเมล็ดสามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในถั่วเหลืองและงาดำ เพิ่มปริมาณโพรลีนในถั่วเขียว งาดำ และ ข้าว กข43 และเพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิกในถั่วแดง ข้าว กข43 และ ข้าวสาลีได้ รวมทั้งยังเพิ่ม FRAP ในงาดำ ข้าว กข43 และ ข้าวสาลีได้อีกด้วย ผลจากการวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดธัญพืชงอก โดยกรรมวิธีการอบแห้งแบบเต็มเมล็ดและแบบผง เพื่อให้คงคุณค่าทางอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย และเกิดความสะดวกในการนำมาบริโภคและการเก็บรักษา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) สำหรับงบประมาณสนับสนุนการทำวิจัย และขอขอบคุณหลักสูตรสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กฤตณัย แก้วยศ, และชัยยงค์ เดชะโพธิ์โรจน์. (2556). อิทธิพลของการอบแห้งของข้าวเปลือกเริ่มงอกต่อสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**, 32(4), 449–455.
- จริงแท้ ศิริพานิช. (2549). **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชมพู ยิ้มโต. (2550). **จุลชีววิทยาทางอาหาร**. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- เทวีกา กิรีตบุรณะ, และวรรณุช ศรีเชษฐารักษ์. (2554). ผลของการอบแห้งแบบถาดของข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 อกต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ. ใน **การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ครั้งที่ 12**, (น.729–734). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปิยพร สีแวง, และศิริธร ศิริอมรพรรณ. (2562). ผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของหน่อไม้ดองลิ้มแล้ง (*Bambusa beecheyana*). **วารสารแก่นเกษตร**, 47(1), 1385–1392.
- พรพล รมย์นุกูล. (2545). **การถนอมอาหาร**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- โพธิ์ทอง ประณีตพลกรัง. (2563). เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นพวยสำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร. **วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย**, 12(2), 347–361.
- วรมพร วงศ์สุดิน, พัทธราภรณ์ รัตนธรรม, ญัฏฐา เลหากุลจิตต์, และอรพิน เกิดชูชื่น. (2555). การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญในข้าวกล้องงอก. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, 43(2), 553–556.
- วารุณี จอมกิตติชัย. (2566). ผลของสภาวะเครียดจากความเค็มต่อการงอกของเมล็ดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญพืชเพาะงอก. **PSRU Journal of Science and Technology**, 8(2), 40–55.
- วิภาดา มุรินทร์พมาศ. (2561). **หลักการแปรรูปและถนอมอาหาร**. ยะลา: ศูนย์ส่งเสริมการทำผลงานวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- สกุลกานต์ ลิ้มลา, สุรศักดิ์ บุญแดง, และสรพงศ์ เบญจศรี. (2560). ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดพืช เมล็ดพืชงอก และเมล็ดพืชงอกอบแห้ง. **วารสารแก่นเกษตร**, 45(พิเศษ1), 1259–1264.
- สมบุญ เดชะภิญญาววัฒน์. (2544). **สรีรวิทยาของพืช**. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุกัญญา จันทร์สุนะ, ลลิตา เจริญทรัพย์, เยาวพา จิระเกียรติกุล, และพรชัย หาระไครต. (2563). ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ. **Thai Science and Technology Journal**, 28(12), 2261–2272.
- สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ, ทรงกรต ไบยา, อาภรณ์ บัวหลวง, และบงกช บุญบุรพงศ์. (2566). บทบาทของโปรตีนและบีเทนต่อแบบจำลองเซลล์พืชภายใต้สภาวะเครียดจากเกลือและออกซิเดติก. **วารสารวิทยาศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย**, 3(1), 88–103.
- สิรินาถ ดันตเกษม. (2548). **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร 2**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- อรพิน ชัยประสพ. (2548). **การถนอมอาหาร**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- อินทรา ชุตแก้ว, และสวาทิตรี ที่กระโทก. (2561). ผลของกลูโคสและโซเดียมคลอไรด์ต่อผลผลิตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนถั่วเขียว. **วารสารแก่นเกษตร**, 46(6), 1075–1082.

- Boggess, S.F., Stewart, C.R., Aspinall, D., & Peleg, L.G. (1976). Effect of water stress on proline synthesis from radioactive precursors. **Plant Physiology**, **58**, 398–401.
- Benzie, I.F.F., & Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of ‘antioxidant power’: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, **239**, 70–76.
- Benzie, I.F.F., & Strain, J.J. (1999). Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant capacity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. **Methods in Enzymology**, **299**, 15–27.
- Chan, E.W.C., Lim, Y.Y., Wong, K.K., Lim, K.K., Tan, S.P., Lianto, F.S., & Yong, M.Y. (2009). Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. **Food Chemistry**, **113**(1), 166–172.
- Chanwitheesuk, A., Teerawutgulrag, A., & Rakariyatham, N. (2005). Screening of antioxidant activity and antioxidant compounds of some edible plants of Thailand. **Food Chemistry**, **92**(3), 491–497.
- Chomkitichai, W., Faiyue, B., Rachtanapun, P., Uthaibutra, J., & Saengnil, K. (2014). Enhancement of the antioxidant defense system of post-harvested ‘Daw’ longan fruit by chlorine dioxide fumigation. **Scientia Horticulturae**, **178**(23), 138–144.
- Deepa, N., Kaur, C., Singh, B., & Kapoor, H.C. (2006). Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, **19**(6), 572–578.
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R.L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, **53**, 1841–1856.
- Latinovic, S., Vasilism, L., Pezo, L., Karalic, N.L., Cvetkovic, D., Ranitovic, A., Brunet, S., Cvanic, T., & Vulic, J. (2024). Impact of drying methods on phenolic composition and bioactivity of celery, parsley, and turmeric—chemometric approach. **Food**, **13**, 1–22.
- Mun'im, A., Negishi, O., & Ozawa, T. (2003). Antioxidant compounds from *Crotalaria sessiliflora*. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, **67**(2), 410–414.
- Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, **2012**, 1–26.
- Singleton, V.L., & Rossi, J.R. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, **16**, 144–157.