

**ผลของสภาวะเครียดจากความเค็มต่อการงอกของเมล็ด
และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญพืชเพาะงอก**
**EFFECTS OF SALINITY STRESS ON SEED GERMINATION
AND ANTIOXIDANT ACTIVITIES OF GERMINATED CEREAL GRAINS**

วารุณี จอมกิตติชัย *

Warunee Chomkitichai*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

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

(Received: 10 April 2023; Revised: 16 May 2023; Accepted: 21 May 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาวะเครียดจากความเค็มต่อการงอกของเมล็ดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดธัญพืชเพาะงอก โดยนำเมล็ดธัญพืช 10 ชนิด ได้แก่ ข้าวขง 43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมลิ้นลิ ข้าวเหนียวดำลิ้มผิว ข้าวหอมมะลิ ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ข้าวโพด และงาคำ แต่ละชนิดนำไปเพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม 5 ระดับความเข้มข้น คือ 0% (ชุดควบคุม) 0.5% 1% 1.5% และ 2% โดยแช่เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำไปบ่มเพาะต่อเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวรากทุก 12 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า สภาวะเครียดจากความเค็ม 0.5% สามารถชักนำการงอกของเมล็ดธัญพืชทั้ง 10 ชนิดได้ดีที่สุด จากนั้นศึกษาผลของสภาวะเครียดจากความเค็ม 0.5% ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิด โดยเปรียบเทียบกับการเพาะงอกในสภาวะปกติ (ชุดควบคุม) ซึ่งทำการแช่เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำไปบ่มเพาะต่อเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทุก 12 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าเมล็ดธัญพืชทั้ง 10 ชนิด ที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม 0.5% มีปริมาณประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิก รวมทั้งศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH และ FRAP สูงกว่าชุดควบคุมที่เพาะในสภาวะปกติ ดังนั้นการแช่และเพาะงอกเมล็ดธัญพืชในสภาวะเครียดจากความเค็มก่อนนำไปประกอบอาหารเพื่อบริโภคจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารของเมล็ดธัญพืชได้

คำสำคัญ: เมล็ดธัญพืช การงอกของเมล็ด สภาวะเครียด สารต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

The purpose of this research was to study the effects of salinity stress on seed germination and antioxidant activities of germinated cereal grains. Ten cereal grains such as RD 43 rice, berry rice, black rice, black glutinous rice, jasmine rice, mung bean, black bean, red beans, corn, and black sesame seed were evaluated. The grains were germinated under 5 levels of salinity stress at concentrations of 0% (control), 0.5%, 1%, 1.5% and 2% by soaked for 12 hours and germinated for 48 hours. The germinated grains were randomly sampled every 12 hours to analyzed germination percentage and root length. The results showed that 0.5% salinity stress condition was the best induction of germination of all 10 grains. Then, the effect of 0.5% salinity stress on antioxidant activity was compared with the control. The 10 cereal grains were germinated under 0.5% salinity stress condition by soaked for 12 hours and germinated for 48 hours. The germinated grains were randomly sampled every 12 hours to analyzed antioxidant activities. The results showed that total phenolic compound content, ascorbic acid content and antioxidant activities by DPPH and FRAP methods of all grains germinated under salinity stress condition had higher than the grains germinated under normal condition. Therefore, seed soaking and germinating under salinity stress before cooking is another way can increase the nutritional value of whole grains.

Keywords: Cereal grains, Seed germination, Stress, Antioxidant

บทนำ

ปัจจุบันคนส่วนใหญ่หันมาใส่ใจสุขภาพกันมากขึ้น การบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพพวกธัญพืชเพาะงอก จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เป็นที่นิยม เนื่องจากมีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายในปริมาณสูงและมีสารต้านอนุมูลอิสระบางชนิด ซึ่งสามารถยับยั้งการสร้างและกำจัดอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคได้ การศึกษาหาวิธีการในการเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดธัญพืชเพาะงอกจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อเกษตรกรผู้ผลิตผู้ประกอบการเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตผล สามารถจำหน่ายในราคาที่สูงขึ้นได้ และยังส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค

ธัญพืช (Cereals) หมายถึง พืชที่ใช้เมล็ดเป็นอาหาร ส่วนใหญ่ได้แก่พืชในวงศ์หญ้า (Gramineae หรือ Poaceae) เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต และลูกเดือย นอกจากนี้ ยังรวมถึงถั่วและงาชนิดต่างๆ (พินิจ, 2565) เมื่อเมล็ดธัญพืชเกิดกระบวนการงอกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีสลายอาหารที่เก็บสะสมเพื่อนำไปใช้ในการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อน (สมบุญ,

2544) สารประกอบเหล่านี้เป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้ยังมีสารกาบา เอนไซม์ที่สำคัญ และสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) บางชนิด ซึ่งสามารถยับยั้งการสร้างและกำจัดอนุมูลอิสระต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคได้ (วรมพร และคณะ, 2555)

เมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดจากปัจจัยภายนอกที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป การได้รับรังสี ความเค็ม หรือสารเคมีต่างๆ จะชักนำการสร้างและสะสมอนุมูลอิสระ (Free radicals) สูงขึ้นจากสภาวะปกติ โดยเฉพาะอนุมูลอิสระกลุ่มออกซิเจน (Reactive oxygen species; ROS) (ธนากร, 2557; ยงยุทธ, 2559; Sharma et al., 2012) ถ้าอนุมูลอิสระเหล่านี้มีปริมาณสูงเกินไป จะทำให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidation stress) ซึ่งเป็นอันตรายต่อพืชได้ ดังนั้นเมื่อพืชได้รับสภาวะเครียดจึงปรับตัวโดยกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นด้วยระบบต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant defense system) มีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น เพื่อให้เกิดความสมดุลและไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ เช่น สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) กลูตาไธโอน (Glutathione) และอัลฟาโทโคเฟอรอล (α -Tocopherol) (Chomkitichai et al., 2014) ดังมีรายงานการศึกษาในเมล็ดพืชเพาะงอกหลายชนิดที่ได้รับสภาวะเครียดจะมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น เช่น เมล็ดถั่วเหลืองที่ได้รับสภาวะเครียดจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ (จันทร์จิรา และศิริพรรณ, 2559; นภวรรณ และศิริพร, 2559) เมล็ดทานตะวันที่ได้รับสภาวะเครียดจากกรดซาลิซิลิก (สุชาวลีวรรณ และชนิกาญจน์, 2560) และโซเดียมคลอไรด์ (อินทรี และเบญจมาศ, 2562) และเมล็ดถั่วลิสงที่ได้รับสภาวะเครียดจากกรดซาลิซิลิก (ชนิกาญจน์, 2560) เป็นต้น

การชักนำให้เมล็ดธัญพืชที่กำลังเพาะงอกอยู่ในสภาวะเครียดจากความเค็มน่าจะส่งเสริมการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระให้เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการงอกในสภาวะปกติได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาวะเครียดจากความเค็มต่อการงอกของเมล็ดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดธัญพืชเพาะงอก ทั้งนี้เพื่อนำเมล็ดธัญพืชเพาะงอกที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงนี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านอาหารต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างพืชทดลอง โดยนำเมล็ดธัญพืชที่มีการใช้ประโยชน์ด้านอาหารกันอย่างกว้างขวางและหาง่ายตามท้องตลาดทั่วไป จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ข้าวขง 43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมลิ้นลิ ข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว ข้าวหอมมะลิ ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ข้าวโพด และงาดำ นำมาคัดเลือกเมล็ดที่สมบูรณ์ ขนาดใกล้เคียงกัน ไม่มีร่องรอยความเสียหายจากโรคและแมลง มาใช้ในการทดลอง ดังนี้

1. การศึกษาผลของสภาวะเครียดจากความเค็มต่อการงอกของเมล็ดธัญพืช

นำเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิด 2,250 เมล็ด แบ่งเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 450 เมล็ด แต่ละกลุ่มนำมาแช่ในสภาวะเครียดจากความเค็มจากเกลือแกง (99.9% NaCl) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร 5 ระดับความเข้มข้น คือ 0% (ชุดควบคุม) 0.5% 1% 1.5% และ 2% เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นย้ายเมล็ดไปบ่มเพาะต่อในสภาวะเครียดจากความเค็มที่ระดับความเข้มข้นเดิมที่แช่ บ่มเพาะเมล็ดธัญพืชแต่ละกลุ่ม จำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 150 เมล็ด แต่ละซ้ำบ่มเพาะในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิด ขนาด 16x24x6 เซนติเมตร กล่องละ 30 เมล็ด ที่มีผ้าขนหนูเปียกชุ่มด้วยสารละลายเกลือแกงแต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นวัสดุในการบ่มเพาะ ทำการบ่มเพาะที่อุณหภูมิห้อง 30 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สุ่มเก็บตัวอย่างแต่ละชุดการทดลองทุก 12 ชั่วโมง มาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดและความยาวของรากแรกเกิด ดังนี้

1.1 เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด

คำนวณเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดจากจำนวนของเมล็ดที่งอกทั้งหมดในแต่ละชั่วโมงต่อจำนวนเมล็ดทั้งหมดที่บ่มเพาะในแต่ละกล่องในชั่วโมงเริ่มต้น โดยถือว่าเมล็ดนั้นงอกเมื่อมีรากแรกเกิด (Radicle) งอกออกมาพ้นเปลือกหุ้มเมล็ด

1.2 ความยาวของรากแรกเกิด

วัดความยาวรากแรกเกิดที่งอกพ้นเปลือกหุ้มเมล็ดจากเมล็ดที่งอกในแต่ละซ้ำโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ที่มีความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร ความยาวรากที่วัดได้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

2. การศึกษาผลของสภาวะเครียดจากความเค็มต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญพืชเพาะงอก

นำเมล็ดธัญพืชทั้ง 10 ชนิด มาแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรกเป็นชุดควบคุมที่บ่มเพาะในสภาวะปกติ (ความเค็ม 0%) และกลุ่มที่ 2 เป็นชุดทดลอง นำไปบ่มเพาะในสภาวะเครียดจากความเค็ม 0.5% ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ชักนำการงอกของเมล็ดได้ดีที่สุดจากการศึกษาในข้อ 1 บ่มเพาะเมล็ดด้วยวิธีเดียวกันกับขั้นตอนแรก และสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ผลทุก 12 ชั่วโมง โดยวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจากสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิก และวิเคราะห์ศักยภาพการรวมการต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH และ FRAP ดังนี้

2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดัดแปลงจากวิธีการของ Singleton & Rossi (1965) โดยนำเมล็ดธัญพืชเพาะงอกแห้งละเยียด 1 กรัม มาบั่นสีกัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ด้วยสารละลาย 80% Ethanol 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารผสมที่ได้ไปเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำส่วนของเหลวใสชั้นบน 0.5 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลาย 10% Folin-Ciocalteu's phenol reagent 2.5 มิลลิลิตร

วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 นาที จากนั้นเติมสารละลาย 7.5% Sodium carbonate 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid; GA) ซึ่งมีหน่วยเป็น mgGAE/gFW

2.2 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ดัดแปลงจากวิธีการของ Deepa et al. (2006) โดยนำตัวอย่างเมล็ดธัญพืชเพาะงอกแห้งละเอียด 1 กรัม มาปั่นสกัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ด้วยสารละลาย 3% Metaphosphoric acid 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารผสมที่ได้ไปเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำส่วนของเหลวใส ชั้นบนที่ได้ 2 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย 3% Metaphosphoric acid 5 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปไทเทรตกับสารละลาย 0.1 mM 2,6-Dichloroindophenol (DPIP) โดยใช้ฟีนอลฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ จนถึงจุดยุติ เมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณกรดแอสคอร์บิก ซึ่งมีหน่วยเป็น $\mu\text{gAsA/gFW}$

2.3 ศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี คือ วิธีการทำลายอนุมูล ดีพีพีเอช (DPPH radical scavenging) และวิธีวัดความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidant power; FRAP) ดังวิธีการต่อไปนี้

2.3.1 การสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ โดยนำตัวอย่างเมล็ดธัญพืชเพาะงอกแห้งละเอียด 1 กรัม มาปั่นสกัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ด้วยสารละลาย 80% Ethanol ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำสารผสมที่ได้ไปเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำส่วนของเหลวใสชั้นบนที่ได้ซึ่งเป็นสารสกัดหยาบไปใช้วิเคราะห์ศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH และ FRAP ต่อไป

2.3.2 การวิเคราะห์ศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH ดัดแปลงจากวิธีการของ Mun'im, Negishi & Ozawa (2003) โดยเตรียมสารละลายวิเคราะห์ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วย 0.3 M Acetate buffer pH 5.5 ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร 0.12 mM DPPH ที่ละลายใน 80% Ethanol 2.5 มิลลิลิตร และสารสกัดหยาบ 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้ววางไว้ในที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คำนวณศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสาร Trolox ซึ่งมีหน่วยเป็น $\mu\text{mol TE/gFW}$

2.3.3 การวิเคราะห์ศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP ดัดแปลงจากวิธีการของ Benzie & Strain (1999) โดยเตรียมสารละลายวิเคราะห์ปริมาตร 2.7 มิลลิลิตร ซึ่ง

ประกอบด้วย 0.3 M Acetate buffer pH 6.3 10 mM TPTZ และ 20 mM Ferric chloride จากนั้นเติมสารสกัดหยาบ 0.3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันวางไว้ในที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คำนวณศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระโดยเทียบกราฟมาตรฐานของสาร Ferrous sulphate ซึ่งมีหน่วยเป็น $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{gFW}$

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

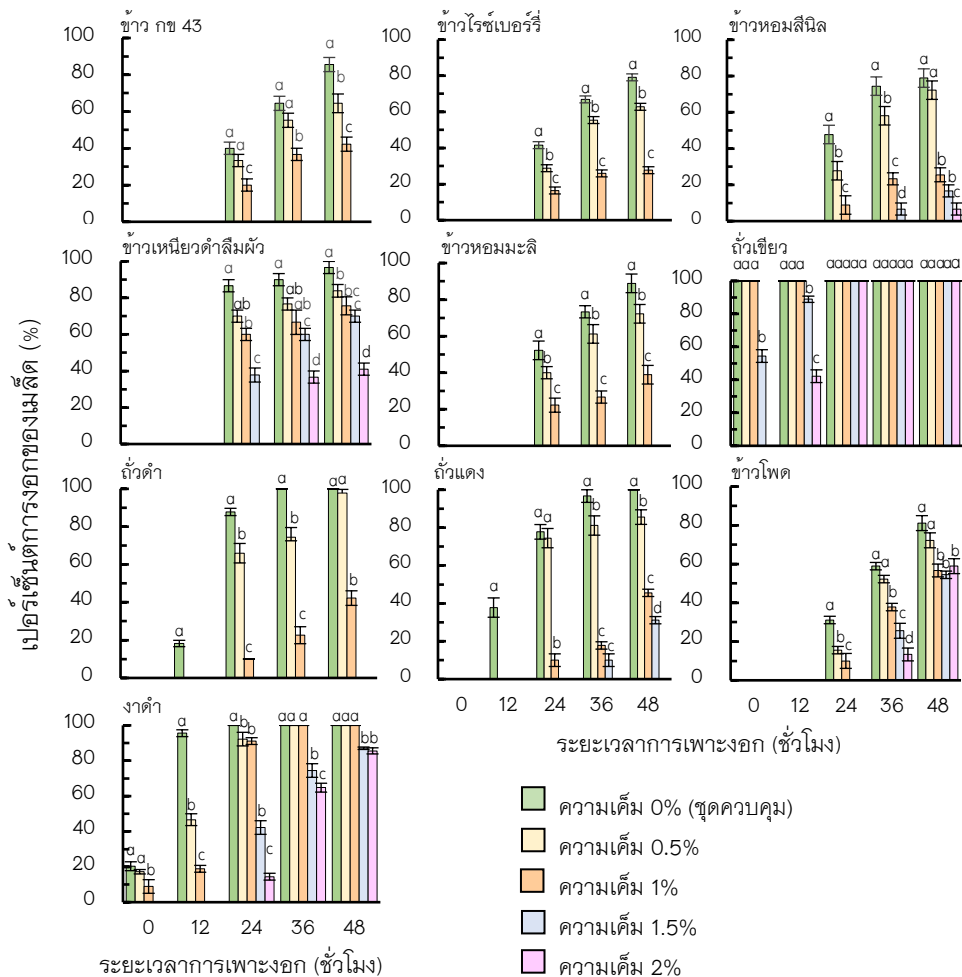
วิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's multiple range test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P=0.05$)

ผลการวิจัย

1. ผลของสภาวะเครียดจากความเค็มต่อการงอกของเมล็ดธัญพืช

1.1 เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด

เมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็มทั้ง 5 ระดับความเข้มข้น มีเปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเพาะงอก โดยเมล็ดที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็มระดับความเข้มข้นต่ำเกิดการงอกได้เร็วกว่าและมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าการเพาะงอกในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น ดังภาพที่ 1 โดยสภาวะเครียดจากความเค็มระดับความเข้มข้น 0.5% และ 1% เท่านั้นที่สามารถชักนำการงอกของเมล็ดธัญพืชได้ทั้ง 10 ชนิด ซึ่งที่ระดับความเข้มข้น 0.5 % มีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด โดยชักนำการงอกของเมล็ดถั่วเขียวได้ดีที่สุด คือ มีเปอร์เซ็นต์การงอก 100% ตั้งแต่ในชั่วโมงที่ 0 ของการเพาะงอก เช่นเดียวกับชุดควบคุม รองลงมาคือเมล็ดงาดำ ซึ่งเริ่มงอกในชั่วโมงที่ 0 เช่นเดียวกัน และมีเปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มขึ้นเป็น 100% ในชั่วโมงที่ 36 ของการเพาะงอก ซึ่งข้าวข 43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมลิ้นข้าวเหนียวดำลิ้มผิว ข้าวหอมมะลิ ถั่วดำ ถั่วแดง ข้าวโพด และงาดำ ที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม 0.5% มีเปอร์เซ็นต์การงอกน้อยกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเพาะงอก คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 18.55 22.84 24.08 15.74 19.55 38.18 33.71 24.09 และ 14.86 ตามลำดับ ส่วนที่สภาวะเครียดจากความเค็มระดับความเข้มข้น 1.5% และ 2% สามารถชักนำการงอกของเมล็ดธัญพืชได้บางชนิดเท่านั้น

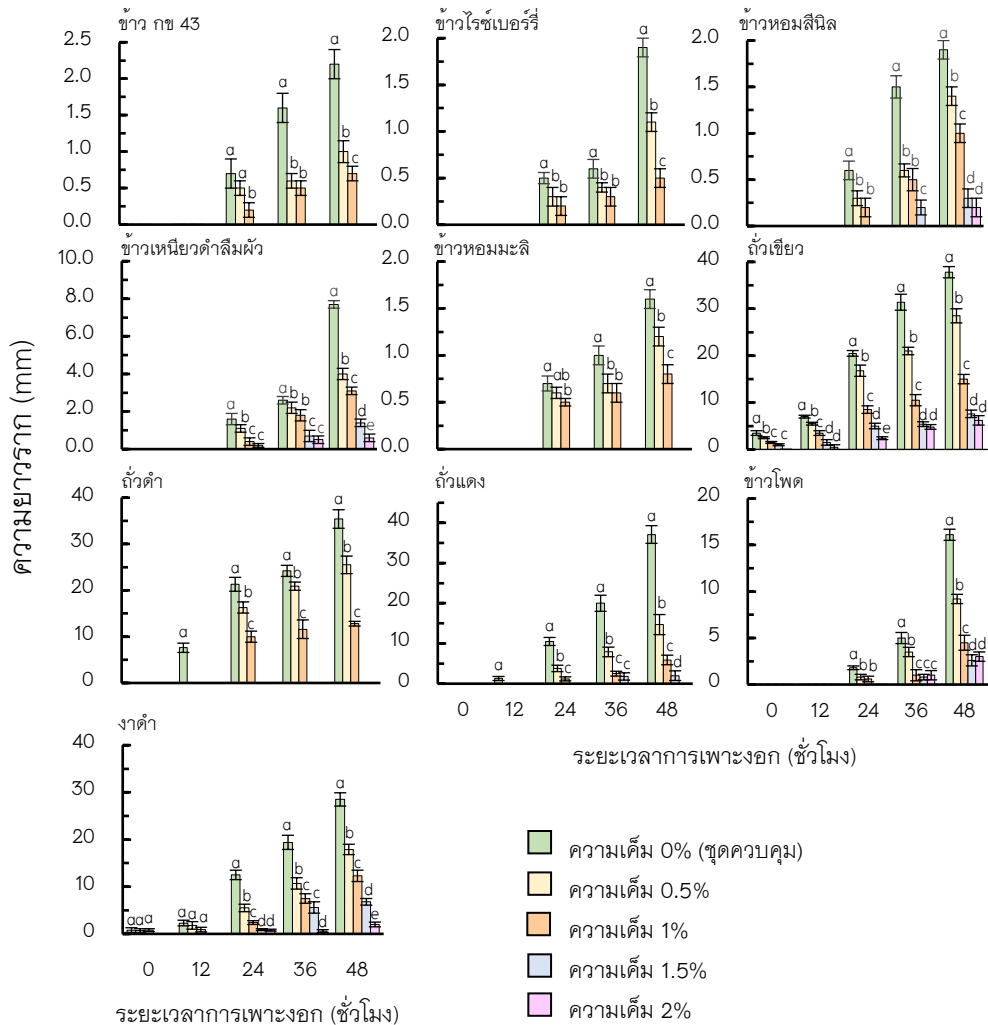


ภาพที่ 1 เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดธัญพืชระหว่างการเพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม

1.2 ความยาวของรากแรกเกิด

เมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็มทั้ง 5 ระดับความเข้มข้น มีความยาวรากเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเพาะงอก เมล็ดที่เพาะงอกในความเข้มข้นต่ำ มีความยาวรากยาวกว่าการเพาะงอกในความเข้มข้นที่สูงขึ้น ซึ่งเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดที่เพาะในสภาวะปกติ (ความเค็ม 0%) มีความยาวรากแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดธัญพืช ส่วนเมล็ดที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็มในระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีความยาวรากสั้นกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังภาพที่ 2 โดยที่ระดับความเค็ม 0.5 % มีความยาวรากใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด ซึ่งข้าว กข 43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมลิ้นจี่ ข้าวเหนียวดำลิ้มผัว ข้าวหอมมะลิ ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ข้าวโพด และงาดำ มีความยาวรากน้อยกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลา

การเพาะงอกคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 48.53 35.48 45.44 31.56 23.09 25.15 41.27 71.17 42.80 และ 34.46 ตามลำดับ



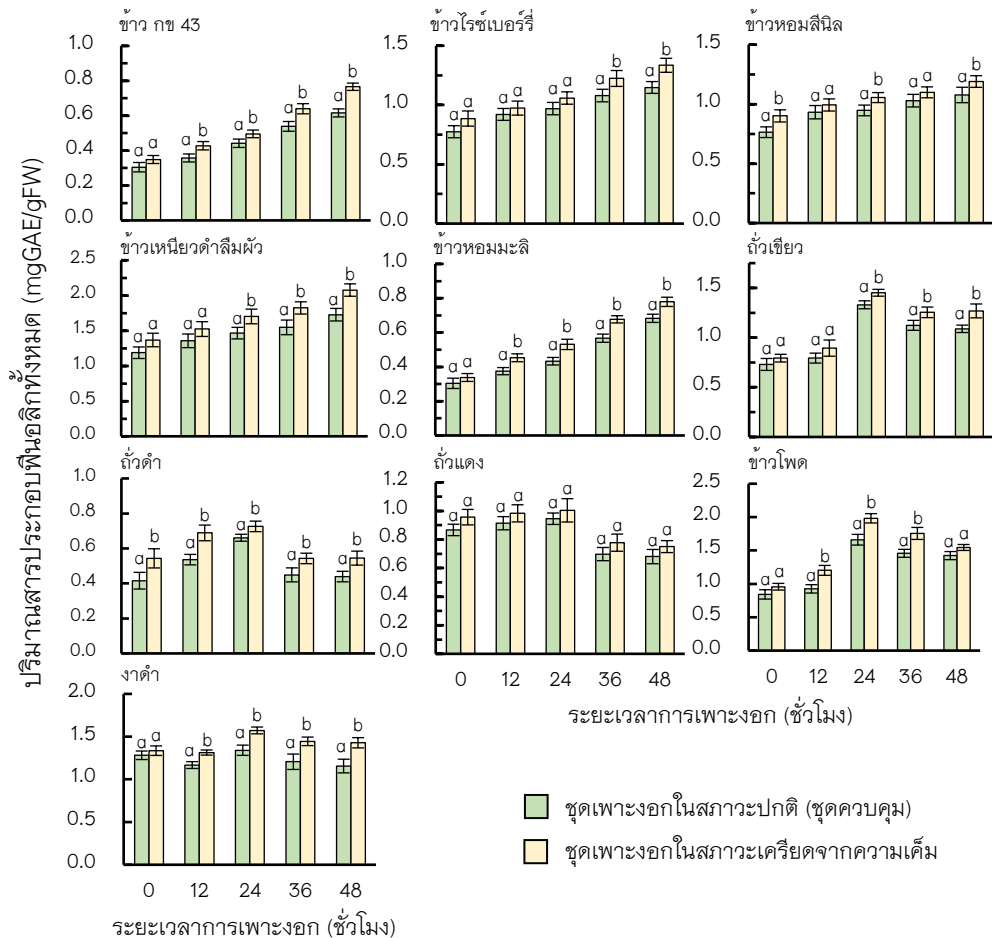
ภาพที่ 2 ความยาวรากของเมล็ดธัญพืชระหว่างการเพาะงอกในสถานะเครียดจากความเค็ม

2. ผลของสถานะเครียดจากความเค็มต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดธัญพืชเพาะงอก

2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ข้าว กข 43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมลิ้นจี่ ข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว และข้าวหอมมะลิ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเพาะงอก ส่วนข้าวเจ้า ข้าวเจ้า ข้าวเจ้า และข้าวเจ้า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงสุดในชั่วโมงที่ 24 ดังภาพที่ 3 เมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสถานะเครียดจากความเค็ม 0.5% มีปริมาณสารประกอบ

พินอลิกทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมที่เพาะในสภาวะปกติ ซึ่งข้าวข 43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมลิ้นลิ ข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว ข้าวหอมมะลิ ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ข้าวโพด และงาดำ ที่เพาะงอกใน สภาวะเครียดจากความเค็มมีปริมาณสารประกอบพินอลิกทั้งหมดสูงกว่าชุดควบคุมที่เพาะงอก ในสภาวะปกติตลอดระยะเวลาการเพาะงอก คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 17.56 11.77 10.64 16.37 17.61 11.73 22.79 9.15 18.38 และ 15.50 ตามลำดับ

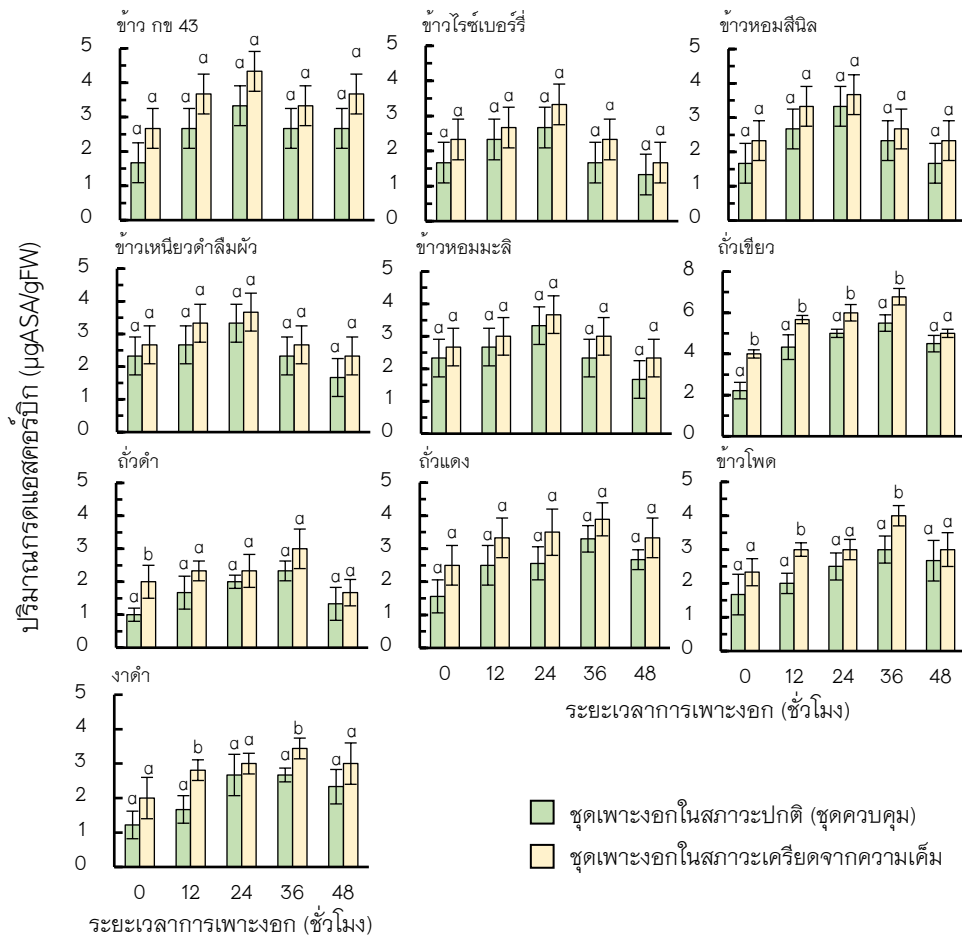


ภาพที่ 3 ปริมาณสารประกอบพินอลิกทั้งหมดของเมล็ดธัญพืชระหว่างการเพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม

2.2 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

ข้าวข 43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมลิ้นลิ ข้าวเหนียวดำลิ้มฟัว และข้าวหอมมะลิ มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นสูงสุดในชั่วโมงที่ 24 ส่วนถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ข้าวโพด และงาดำ มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นสูงสุดในชั่วโมงที่ 36 หลังจากนั้นจะมีปริมาณลดลง ดังภาพที่ 4

เมล็ดธัญพืชเพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม 0.5% มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าชุดควบคุมที่เพาะในสภาวะปกติ ซึ่งข้าวข 43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมสีนิล ข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว ข้าวหอมมะลิ ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ข้าวโพด และงาดำ ที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าชุดควบคุมที่เพาะงอกในสภาวะปกติตลอดระยะเวลาการเพาะงอก คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 37.91 28.78 25.71 20.73 21.09 33.10 40.02 37.10 31.17 และ 40.46 ตามลำดับ

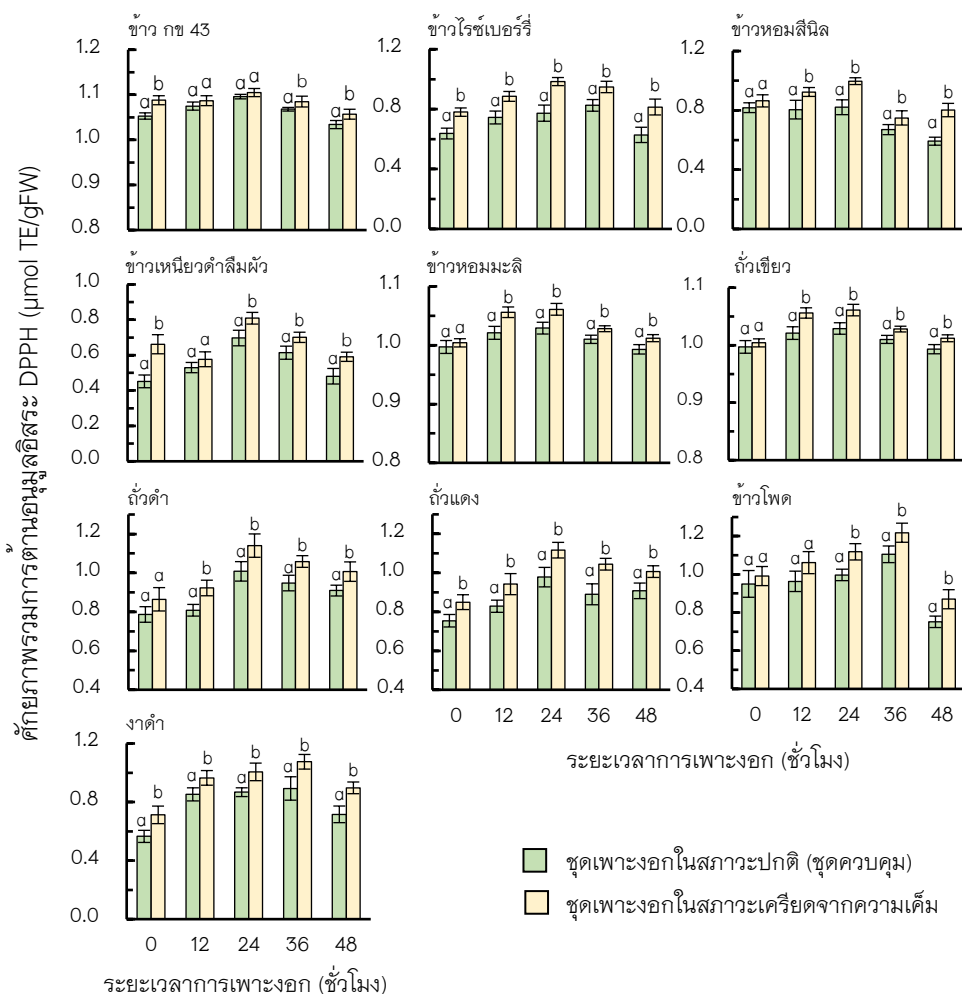


ภาพที่ 4 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเมล็ดธัญพืชระหว่างการเพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม

2.3 ศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระ

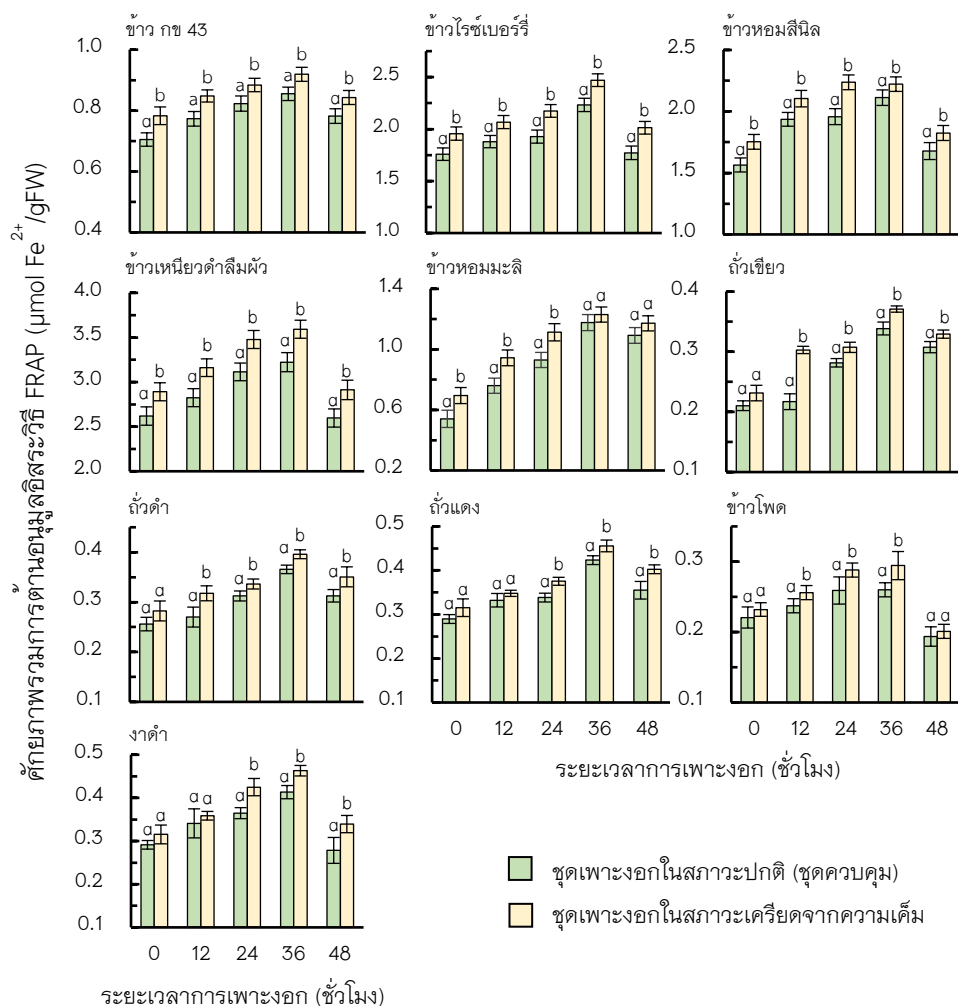
เมล็ดธัญพืชเพาะงอกมีศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเพาะงอก โดยข้าวข 43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมสีนิล ข้าวเหนียวดำลิ้มผั่ว

ข้าวหอมมะลิ ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วดำ มีการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดในช่วงเวลาที่ 24 ส่วนข้าวโพดและงาดำ มีการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดในช่วงเวลาที่ 36 ดังภาพที่ 5 เมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม 0.5% มีการต้านอนุมูล DPPH สูงกว่าชุดควบคุมที่เพาะในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งข้าว喀什 33 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมลิ้นลิ ข้าวเหนียวดำลิ้มผิว ข้าวหอมมะลิ ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ข้าวโพด และงาดำ ที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม มีการกำจัดอนุมูล DPPH สูงกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเพาะงอก คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 7.82 22.64 17.82 21.69 2.19 30.00 11.91 13.73 10.52 และ 20.18 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเมล็ดธัญพืชระหว่างการเพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม

เมล็ดธัญพืชทั้ง 10 ชนิด มีศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเพาะงอก โดยเพิ่มขึ้นสูงสุดในชั่วโมงที่ 36 ดังภาพที่ 6 เมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม 0.5% มีศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าชุดควบคุมที่เพาะในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งข้าวข 43 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมลิ้นลิ ข้าวเหนียวดำลิ้มผัว ข้าวหอมมะลิ ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ข้าวโพด และงาดำ ที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม มีศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP สูงกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเพาะงอก คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 8.69 11.67 9.78 11.50 16.84 15.06 11.21 9.12 8.24 และ 12.78 ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระวิธี FRAP ของเมล็ดธัญพืชระหว่างการเพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม

อภิปรายผล

เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดและความยาวของรากแรกเกิดของเมล็ดธัญพืชทั้ง 10 ชนิด เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการงอก ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของต้นอ่อนในขณะที่เกิดกระบวนการงอกของเมล็ด โดยภายหลังการดูดน้ำของเมล็ด น้ำจะเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ ภายในเมล็ด มีอัตราการหายใจสูงขึ้น มีการกระตุ้นการสร้างเอนไซม์หลายชนิดเพื่อย่อยสลายสารอาหารที่สะสมในเมล็ดให้มีโมเลกุลเล็กลง และลำเลียงไปยังส่วนที่กำลังเจริญเติบโต การทำงานเอนไซม์ที่เกิดขึ้นจะกระตุ้นการสร้างฮอร์โมนพืชที่เร่งการแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเอมบริโอจนกระทั่งรากอ่อนแทงทะลุเปลือกหุ้มเมล็ดออกมา (สมบุญ, 2544)

การเพาะงอกเมล็ดธัญพืชในสภาวะเครียดจากความเค็ม มีเปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวรากเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเพาะงอก โดยเมล็ดที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็มระดับความเข้มข้นต่ำเกิดการงอกได้เร็วกว่าและมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าการเพาะงอกในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น ซึ่งที่สภาวะเครียดจากความเค็ม 0.5% มีเปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวรากมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ และสามารถเกิดการงอกได้ปกติใกล้เคียงกับชุดควบคุม ทั้งนี้ อาจเกี่ยวข้องกับการบรรเทาความเครียดในพืช (ยงยุทธ, 2559) สภาวะเครียดในระดับต่ำสามารถชักนำระบบการต้านทานของพืช ทำให้เมล็ดธัญพืชงอกสามารถปรับตัวกับสภาวะเครียดจากความเค็มในระดับความเข้มข้นดังกล่าว ส่งผลให้สามารถเกิดการงอกได้และเจริญเติบโตต่อไปได้ ในขณะที่สภาวะเครียดจากความเค็มระดับความเข้มข้นสูงขึ้น 1% 1.5% และ 2% มีเปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวรากน้อยลงหรือไม่เกิดการงอกเลย อาจเนื่องมาเป็นจากสภาวะเครียดจากความเค็มในระดับสูงเกินไป ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เซลล์พืชดูดน้ำมาใช้ได้ยากขึ้น ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลต่างๆ จนเป็นพิษต่อเมล็ดธัญพืช (จิรนนท์ และคณะ, 2560; วิจิตพล และคณะ, 2553) จึงมีผลชะลอหรือยับยั้งการงอกของเมล็ดธัญพืช สอดคล้องกับการศึกษาในเมล็ดทานตะวันที่ได้รับสภาวะเครียดจากโซเดียมคลอไรด์ (อินทรา และเบญจมาศ, 2562) และกรดซาลิซิลิก (สุชาวสิวรรณ และชนิกานุจน์, 2560) และเมล็ดถั่วลิสงที่ได้รับสภาวะเครียดจากกรดซาลิซิลิก (ชนิกานุจน์, 2560) อย่างไรก็ตามเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดมีเปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวรากแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของธัญพืช

การเพาะงอกเมล็ดธัญพืชในสภาวะเครียดจากความเค็มจากเกลือ 0.5% สามารถชักนำฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระให้สูงกว่าการเพาะงอกเมล็ดในสภาวะปกติได้ โดยมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดสูงขึ้น เช่น สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กรดแอสคอร์บิก และมีศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น ทั้งวิธี DPPH และ FRAP ทั้งนี้เมื่อเมล็ดธัญพืชได้รับสภาวะเครียดจากความเค็มจะชักนำการสร้างและสะสมอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นอันตรายต่อพืช ดังนั้นเมล็ดที่ได้รับสภาวะเครียดจึงปรับตัวโดยกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นด้วยระบบต้านอนุมูล

อิสระเพื่อให้เกิดความสมดุลและไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ (ธนากร, 2557; ยงยุทธ, 2559) จึงส่งผลให้สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแอสคอร์บิกของเมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็มมีปริมาณสูงกว่าเมล็ดที่เพาะงอกในสภาวะปกติ ดังผลการศึกษาในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์ปทุมธานี 1 หอมนิล และไรซ์เบอร์รี่ ที่แช่ในสภาวะเครียดจากสารละลายเกลือแกงและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Maksup, 2016) ใบมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ได้รับสภาวะเครียดจากสารละลายเกลือสินเธาว์ (สุพัตรา, 2562) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมล็ดธัญพืชเพาะงอกทั้ง 10 ชนิดมีศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH และ FRAP แตกต่างกันตามชนิดของเมล็ดธัญพืช แต่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเพาะงอกคล้ายกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระนี้อาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการเพาะงอก (Chomkitichai et al., 2014) ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิก ดังกล่าวข้างต้น นอกจากนี้ยังอาจเกี่ยวข้องกับปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดด้วย ดังการศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวหอมดอกมะลิ 105 (กาญจนา และคณะ, 2562) เมล็ดธัญพืชเพาะงอกทั้ง 10 ชนิดที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม 0.5% มีศักยภาพรวมในการต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH และ FRAP สูงกว่าชุดควบคุมที่เพาะในสภาวะปกติ แสดงให้เห็นว่า เมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะเครียดมีความสามารถกำจัดอนุมูลอิสระ และมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ เพื่อให้ปริมาณอนุมูลอิสระลดลงมากกว่าเมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะปกติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะเครียดจากความเค็มสามารถชักนำการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น จึงส่งผลทำให้มีศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นทั้งวิธี DPPH และ FRAP ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกรดแอสคอร์บิกของเมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็ม ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าเมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะปกติดังกล่าวข้างต้น เช่นเดียวกันกับการงอกของเมล็ดทานตะวันในสภาวะเครียดจากสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (อินทิรา และเบญจมาศ, 2562) และกรดซาลิซิลิก (สุชาวสิวรรณ และชนิกาญจน์, 2560) ข้าวกล้องงอกและใบมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ได้รับสภาวะเครียดจากความเค็ม (สุพัตรา, 2562; Maksup, 2016) ซึ่งมีศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น

สรุปผลการวิจัย

สภาวะเครียดจากความเค็มมีผลต่อการงอกของเมล็ด โดยผลจากการศึกษา พบว่าความเค็มที่ระดับความเข้มข้น 0.5 % เหมาะสมที่สุดในการชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ด และสภาวะเครียดจากความเค็มมีผลชักนำฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดธัญพืชเพาะงอกทั้ง 10 ชนิด โดยเมล็ดที่เพาะงอกในสภาวะเครียดจากความเค็มมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และกรดแอสคอร์บิก รวมทั้งมีศักยภาพรวมการต้านอนุมูลอิสระวิธี DPPH และ FRAP สูงกว่าเมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกในสภาวะปกติ ทั้งนี้เพื่อนำเมล็ดธัญพืชเพาะงอกที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงนี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านอาหารต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) สำหรับงบประมาณสนับสนุนการทำวิจัย และขอขอบคุณหลักสูตรชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา เสือมัน, สไมพร บักยี, อภิญา อาบสุวรรณ, รพีกร หนองสัพพัญญู, ภรภัทร ลำอาจ, ปันดา จันทรเนย, และกุลวดี ปิ่นวัฒนะ. (2562). การวิเคราะห์หาสารต้านอนุมูลอิสระในข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวหอมดอกมะลิ 105. *PSRU Journal of Science and Technology*, 4(3), 95–108.
- จันทรธิรา ดวงจันทร์, และศิริพรรณ บรรหาร. (2559). ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ปริมาณโปรตีน และกิจกรรมของเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส ใน ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill). *วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร*, 38(2), 36–49.
- จิรนนท์ นาสะอาน, ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธิ์, วัฒนชัย ล้นทม, และนันทวรรณ คณะวาปี. (2560). ผลของการแช่เมล็ดก่อนเพาะต่อสรีรวิทยาบางประการของข้าวในสภาพเครียดเกลือ. *วารสารแก่นเกษตร*, 45(1), 1031–1038.
- ชนิกานุจน์ จันทรมาทอง. (2560). ผลของการแช่เมล็ดในกรดซาลิซิลิกต่อการงอกของเมล็ด การเติบโต และศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนถั่วลิสง. *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25(1), 102–109.
- ธนากร แสงสง่า. (2557). พืจิอาร์: บทบาทในการส่งเสริมและป้องกันพืชภายใต้สภาวะเครียด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 22(4), 553–570.
- นภาพรณ มัณยานนท์, และศิริพรรณ บรรหาร. (2559). อิทธิพลของความเค็มต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของ ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merr.) พันธุ์นครสวรรค์ 1 และพันธุ์เชียงใหม่ 60. *วารสารวิชาการเกษตร*, 34(1), 54–64.
- พินิจ จันทร. (2565). *สุดยอดธัญพืชและเมล็ดพันธุ์ อาหารที่ชาวโลกต้องการ*. กรุงเทพฯ: เพชรพินิจ.

- ยงยุทธ โอสถสภ. (2559). ความเครียดของพืชและการบรรเทาความเครียด. **วารสารดินและปุ๋ย**, 38(1–4), 47–78.
- วรมัพร วงศ์สุติน, พัชรภรณ์ รัตนธรรม, ญัฏฐา เลหากุลจิตต์, และอรพิน เกิดชูชื่น. (2555). การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญในข้าวกล้องงอก. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, 43(2), 553–556.
- วิจิตพล มีแก้ว, ญัฏฐพล ชันธปราบ, และสุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. (2553). การปรับตัวของพืชภายใต้ภาวะที่มีความเค็ม. **วารสารกาวทันโลกวิทยาศาสตร์**, 10(2), 28–37.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. (2544). **สรีรวิทยาของพืช**. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุชาวสิวรรณ ตริเสน, และชนิกานัญญ์ จันทร์มาทอง. (2560). ผลของการแช่เมล็ดด้วยกรดซาลิซิลิกต่อความออกของเมล็ด การเจริญเติบโต และศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**, 4(4), 36–40.
- สุพัตรา สารแสน. (2562). ผลของเกลือสินเธาว์ที่มีต่อการพัฒนาการและสารพฤกษเคมีในใบมะนาวให้ (*Carissa carandas*). (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร.
- อินทรา ชุตแก้ว, และเบญจมาศ หุ่นเกษม. (2562). ผลของวิธีการให้สารและความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน. **วารสารแก่นเกษตร**, 47(2), 379–386.
- 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.
- Chomki/tichai, 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.
- Maksup, S. (2016). Effect of salt stress on phenolic, anthocyanin contents and antioxidant activity of germinated brown rice. **Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University**, 3(6), 182–193.
- 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.