ผลของช่วงอายุการเก็บเกี่ยวของต้นอ่อนข้าวสามสายพันธุ์ ต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

Influence of Harvesting Period of Three Rice Seedlings on DPPH Radical Scavenging Activity

มยุรา ทองช่วง[1] กิติยา เอกเชวง[2] กิติศาสตร์ กระบวน[3] และ อำนาจ ชินพงษ์พานิช[*4]

Mayura Thongchuang[1], Kitiya Ekchaweng[2], Kitisart Kaboun[3], & Aumnart Chinpongpanich[*4]

[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

[2]สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการความปลอดภัยของอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

[4]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University

[2]Division of Health and Applied Sciences, Faculty of Science, Prince of Songkla University

[3]Division of Food Safety Management and Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep

[4]Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

Submitted 22/2/2022 ; Revised 8/4/2022 ; Accepted 13/4/2022

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเกษตรกรประสบปัญหาราคาข้าวตกต่ำ การแปรรูปผลิตภัณฑ์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่า นอกจากนี้กระแสความนิยมในการรับประทานต้นอ่อนพืชกำลังมากขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวและอายุที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยคัดเลือกจากต้นอ่อนข้าว 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์สินเหล็ก พบว่าต้นอ่อนข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ที่อายุ 7 10 และ 14 วัน มีน้ำหนักสดใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออายุ 21 วัน ต้นอ่อนข้าวสินเหล็กมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าข้าวสายพันธุ์อื่น ต้นอ่อนข้าวไรซ์เบอร์รี่อายุ 7 วัน มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดเท่ากับ 42.86 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่สัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลรวมที่มีค่ามากที่สุดที่อายุ 21 วัน นอกจากนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของต้นอ่อนข้าวทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อต้นอ่อนข้าวมีอายุมากขึ้น โดยต้นอ่อนข้าวไรซ์เบอร์รี่อายุ 18 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์สูงสุด ดังนั้นจากงานวิจัยนี้ ต้นอ่อนข้าวไรซ์เบอร์รี่อายุ 7 วันเป็นสายพันธุ์และอายุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำมาบริโภคสด หรือนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จากต้นอ่อนข้าวเพราะมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

คำสำคัญ: ต้นอ่อนข้าว ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ปริมาณฟีนอลรวม คลอโรฟิลล์

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: aumnart.c@rmutp.ac.th

Abstract

Presently, farmers face the problems of low-priced rice. Product processing provides an opportunity to increase the value of rice. Moreover, trend in consumption of crop sprout has been increasing in popularity. This research aimed to select the proper rice cultivars and their harvesting times to receive the highest antioxidant capacity. Three different rice cultivars (*Oryza sativa* L. cvs. Khao Dok Mali 105, Riceberry and Sin Lek) were studied. The results showed that fresh weight of all three seedlings at harvesting times of 7, 10 and 14 days was similar. However, at 21 days, fresh and dry weights of Sin Lek seedlings revealed higher than the others. In terms of DPPH radical scavenging assay, Riceberry seedlings on day 7 had the highest antioxidant capacity (42.86 milligrams per 100 grams of fresh weight). This was not correlated with the highest total phenolic content which found on day 21. In addition, the chlorophyll and carotenoid contents of all three rice seedlings tended to increase with the age of rice seedlings. Riceberry seedlings on day 18 exhibited the highest contents of chlorophylls and carotenoids. Therefore, in this research, Riceberry seedlings on day 7 is the most suitable for fresh consumption or for development as a product from rice sprouts due to its highest antioxidant capacity.

Keywords: rice seedling, antioxidant capacity, total phenolic content, chlorophyll

บทนำ

ข้าวจัดเป็นธัญพืชที่คนไทยบริโภคเป็นอาหารหลักมาช้านาน แต่ปัจจุบันเกษตรกรมีปัญหาในด้านปริมาณข้าวที่ผลิตได้ต่อปีล้นตลาด ส่งผลให้ราคาข้าวตกต่ำ ดังนั้นการเพิ่มมูลค่าข้าวโดยการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง นอกจากนี้กระแสการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพโดยเฉพาะการรับประทานต้นอ่อนพืชกำลังได้รับความนิยมในกลุ่มคนรักสุขภาพมากขึ้น การบริโภคต้นอ่อนพืชเป็นประจำมีส่วนช่วยในการป้องกันโรคได้หลายชนิดและมีส่วนช่วยในการส่งเสริมสุขภาพได้ [1] เช่น การชะลอวัย ลดริ้วรอย [2] ป้องกันโรคเบาหวาน และโรคหัวใจ [3] เป็นต้น เนื่องจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นองค์ประกอบในต้นอ่อนพืชเหล่านั้น

ในการอยู่รอดของพืชโดยการปรับตัวเข้าสู่สภาวะแวดล้อมใหม่ มีรายงานว่าต้นอ่อนพืชที่มีอายุ 4-10 วัน มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยมีทั้งสารอาหารหลัก สารอาหารรอง และสารพฤกษเคมีที่สร้างขึ้นเพื่อลดสภาวะเครียดที่เกิดขึ้นจากออกซิเดชัน [1] งานวิจัยของ Khanthapok และคณะที่พบว่าน้ำสกัดจากต้นอ่อนข้าวสาลีที่อายุ 7 วัน มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงที่สุดในช่วงอายุการเก็บเกี่ยว 6-15 วัน [4] และมีรายงานวิจัยถึงความสามารถในการต้านออกซิเดชันของต้นอ่อนทานตะวันว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเพาะต้นอ่อนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลรวมที่ลดลง [5] นอกจากนี้เสรีและคณะ พบว่า ค่าดัชนีความเขียวของส่วนที่บริโภคได้ของผักเชียงดามีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์และมีอิทธิพลในเชิงบวกต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ [6, 7] แสดงให้เห็นว่า อายุการเก็บเกี่ยวต้นอ่อนพืชมีผลต่อปริมาณสารอาหาร ปริมาณรงควัตถุ รวมทั้งปริมาณฟีนอลรวม ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาอายุการเก็บเกี่ยวต้นอ่อนข้าว 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และพันธุ์สินเหล็ก เนื่องจากข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และไรซ์เบอร์รี่เป็นสายพันธุ์ที่หาง่ายในท้องตลาด ส่วนสายพันธุ์สินเหล็กมีดัชนีน้ำตาลต่ำ และมีปริมาณธาตุเหล็กสูงทำให้ระดับฮีโมโกลบินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น [8] อย่างไรก็ตามข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ยังไม่มีข้อมูลการศึกษาระยะเวลาเก็บเกี่ยวต้นอ่อนที่เหมาะสมต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ให้กับผู้บริโภคในกรณีเลือกรับประทานสด นอกจากนี้คณะผู้วิจัยต้องการข้อมูลการคัดเลือกสายพันธุ์และอายุในการเก็บเกี่ยวผลผลิตต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพื่อนำไปต่อยอดการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากต้นอ่อนข้าวต่อไป

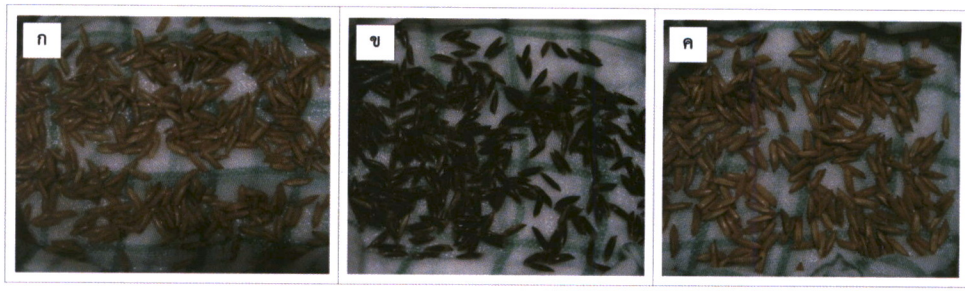
วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันของต้นอ่อนข้าว 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์สินเหล็ก และศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวต้นอ่อนข้าวเพื่อให้ได้ปริมาณสารต้านออกซิเดชันสูงที่สุด

วิธีดำเนินการวิจัย

เมล็ดพันธุ์ข้าวและวัสดุปลูก

เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษานี้มี 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์สินเหล็ก (ภาพที่ 1) โดยเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ ส่วนเมล็ดข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และพันธุ์สินเหล็กได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

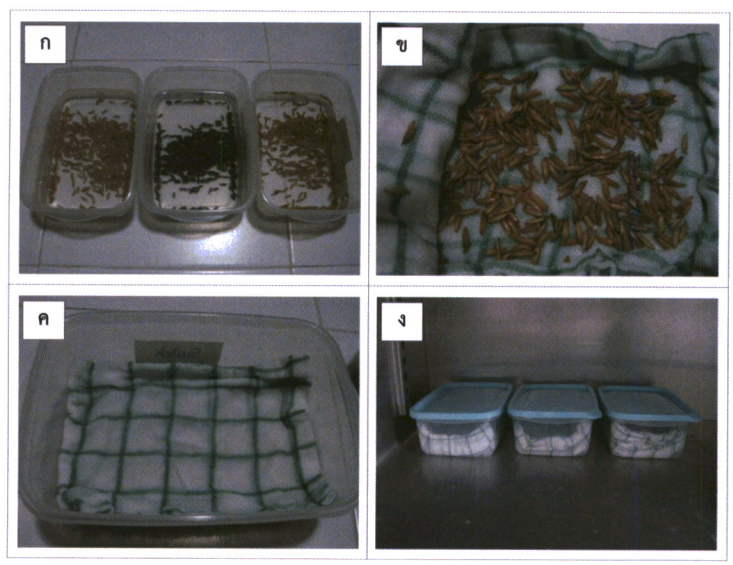


ภาพที่ 1 เมล็ดพันธุ์ข้าว 3 สายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา คือ สายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ก) พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (ข) และพันธุ์สินเหล็ก (ค)

วัสดุปลูกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ดินสีดา จากห้างหุ้นส่วนจำกัด ส. สมานท่าทราย ประกอบด้วยดินเผาปุ๋ยอินทรีย์ ทราย และแร่ธาตุอื่น ๆ

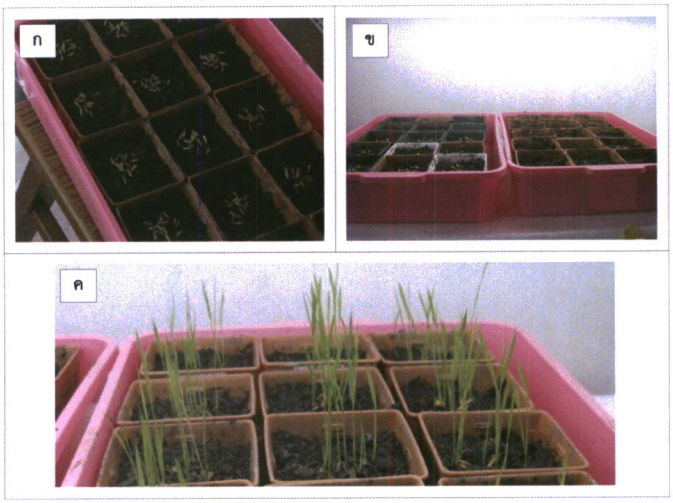
การเพาะต้นอ่อนข้าว

วิธีการเพาะต้นอ่อนข้าวแสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งดัดแปลงจากงานวิจัยของวริพัสย์และคณะ [9] โดยนำเมล็ดข้าว 3 สายพันธุ์ มาแช่ในน้ำสะอาดทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาให้รินน้ำออกแล้วห่อเมล็ดด้วยผ้าสะอาดที่ชุบน้ำหมาด ๆ นำไปบ่มในตู้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เมล็ดงอก



ภาพที่ 2 วิธีการเพาะต้นอ่อนข้าว การแช่เมล็ดในน้ำ (ก) เมล็ดหลังจากการรินน้ำออก (ข) การห่อเมล็ดด้วยผ้าชุบน้ำ (ค) การบ่มเมล็ดในตู้บ่ม (ง)

การเตรียมกระบะเพาะ โดยนำดินใส่ในกระถางเพาะต้นกล้า ใน 1 กระบะ ประกอบด้วย 15 กระถาง หนึ่งสายพันธุ์ใช้ 3 กระบะ วางเมล็ดข้าวที่งอกลงบนดินให้มีจำนวน 12-15 เมล็ดต่อกระถาง (ภาพที่ 3ก) ยกกระถางวางลงในกระบะเพื่อหล่อน้ำ เติมน้ำลงในกระบะให้ระดับน้ำสูงสามในสี่ส่วนของกระถาง นำไปวางในห้องปลูกพืช (ภาพที่ 3ข) ซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 25±2 องศาเซลเซียส ค่าความเข้มของแสง (light intensity) ที่ 70-100 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ให้แสง 12 ชั่วโมงต่อวัน ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวต้นอ่อนข้าว คือ เมื่อต้นอ่อนมีอายุ 7, 10, 14, 18 และ 21 วัน ตามลำดับ ตัวอย่างต้นอ่อนข้าวในห้องปลูกพืชแสดงดังภาพที่ 3ค



ภาพที่ 3 การเพาะต้นอ่อนข้าว การวางเมล็ดข้าวที่งอกลงบนดินในกระถาง (ก) การวางกระบะในห้องปลูกพืช (ข) ต้นอ่อนข้าวในห้องปลูกพืช (ค)

การศึกษาการเจริญของต้นอ่อนข้าว

การศึกษาการเจริญของต้นอ่อนข้าว ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Kaewneramit และคณะ [10] โดยเก็บเกี่ยวต้นอ่อนที่เป็นต้นกล้าที่แข็งแรงดี มีลักษณะต้นและความสูงใกล้เคียงกันในสายพันธุ์เดียวกัน มีใบเรียวเรียบ และไม่เสียหาย (ไม่รวมราก) จากกระบะเพาะเมื่อระยะเวลาการเจริญของต้นอ่อนข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีอายุ 7 10 14 18 และ 21 วัน ตามลำดับ โดยเก็บสายพันธุ์ละ 4 กระถาง แบบสุ่ม (4 ซ้ำ) โดยการตัดต้นอ่อนข้าวทั้งต้นตั้งแต่ส่วนที่โผล่พ้นผิวดินทีละกระถาง ปัดเศษดินออกให้สะอาด นำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกผลเป็นน้ำหนักสดในหน่วยกรัมต่อต้น

หาน้ำหนักแห้ง โดยนำต้นอ่อนข้าวที่หาน้ำหนักสดแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำมาชั่งน้ำหนักจนกระทั่งต้นอ่อนข้าวมีน้ำหนักคงที่ นำออกมาเก็บในโถดูดความชื้น บันทึกผลเป็นน้ำหนักแห้งในหน่วยกรัมต่อต้น

การเก็บเกี่ยวต้นอ่อนข้าวเพื่อวิเคราะห์สารสำคัญ

การเก็บเกี่ยวต้นอ่อนข้าวเพื่อวิเคราะห์สารสำคัญดัดแปลงจากงานวิจัยของ Kaewneramit และคณะ [10] เมื่อต้นอ่อนข้าวมีอายุ 7, 10, 14, 18 และ 21 วัน ตามลำดับ ตัดต้นอ่อนข้าวต้นตั้งแต่ส่วนที่โผล่พ้นผิวดิน สายพันธุ์ละ 4 กระถาง แบบสุ่ม (4 ซ้ำ) ปัดเศษดินออก นำไปแช่ในไนโตรเจนเหลว ห่อด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปเก็บที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการวิเคราะห์ต่อไป

เมื่อต้องการหาปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ จึงนำตัวอย่างพืชที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส มาชั่งในหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ขนาด 1.5 มิลลิลิตร ให้มีน้ำหนักประมาณ 50 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างจำนวน 3-4 หลอดต่อ 1 ซ้ำ จากนั้นจึงนำมาบดให้ละเอียดในไนโตรเจนเหลวด้วยเครื่องบด (Mixture Mill) แล้วจึงสกัดสารสำคัญเพื่อการวิเคราะห์ต่าง ๆ ต่อไป

การเตรียมสารสกัดจากต้นอ่อนข้าว

การเตรียมสารสกัดจากต้นอ่อนข้าวดัดแปลงจากงานวิจัยของ Kaewneramit และคณะ [10] ในการวิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical scavenging) และการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลรวม เตรียมสารสกัดโดยนำต้นอ่อนข้าวที่บรรจุในหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ที่บดในไนโตรเจนเหลวอย่างละเอียดแล้วมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 80 ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบ 15 นาที แยกส่วนใสด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 8,297 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเก็บสารสกัด (สารละลายส่วนใส) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป ส่วนการเตรียมสารสกัดสำหรับการหาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์จะใช้ตัวทำละลายในการสกัดเป็นไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ ประกอบด้วยการวิเคราะห์สารต่าง ๆ ดังนี้

1) การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

นำสารสกัดต้นอ่อนข้าวในตัวทำละลายเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ไปวิเคราะห์ความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH ตามวิธีการของ Brand-Williams และคณะ [11] โดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารมาตรฐาน ปิเปตต์สารสกัดจากต้นอ่อนข้าว ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ลงใน 96-well plate เติมสารละลายเอทานอลร้อยละ 80 ให้มีปริมาตรเป็น 166 ไมโครลิตร จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.3 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 34 ไมโครลิตร โดยใช้สารละลายเอทานอลร้อยละ 80 เป็นชุดควบคุม แล้วนำสารละลายผสมไปบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องไมโครเพลท รีดเดอร์ (microplate reader) แล้วคำนวณหาร้อยละของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (% DPPH radical scavenging) โดยใช้สมการ

ร้อยละของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH = $[(A_{control} - A_{test})/ A_{control}] \times 100$

เมื่อ $A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

A_{test} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากต้นอ่อนข้าวแต่ละสายพันธุ์

เปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกและรายงานผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด

2) การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวม

นำสารสกัดต้นอ่อนข้าวในตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 80 มาทำปฏิกิริยากับสารละลายโฟลิน-ซีโอแคลทู (Folin-Ciocalteu reagent) ดัดแปลงจากวิธีการของ Chan และคณะ [12] โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน นำสารสกัดจากต้นอ่อนข้าว ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 400 ไมโครลิตร นำไปผสมกับสารละลายโฟลิน-ซีโอแคลทู ร้อยละ10 ปริมาตร 250 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปบ่มในที่มืดเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 7.5 ปริมาตร 200 ไมโครลิตร นำไปบ่มในที่มืดต่อเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก แสดงผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด

3) การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

ในการวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์ ทำโดยนำสารสกัดต้นอ่อนข้าวในตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ ที่ความยาวคลื่น 461, 647 และ 664 นาโนเมตร และใช้สมการในการคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์ตามทฤษฎีของ Arnon [13] ดังนี้

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) = $12.70(A_{664}) - 2.79(A_{647})$

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (มิลลิกรัมต่อลิตร) = $20.70(A_{647}) - 4.62(A_{664})$

ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (มิลลิกรัมต่อลิตร) = $17.90(A_{647}) + 8.08(A_{664})$

ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) = $A_{461} \times 200$

แสดงผลปริมาณของรงควัตถุแต่ละชนิดในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด

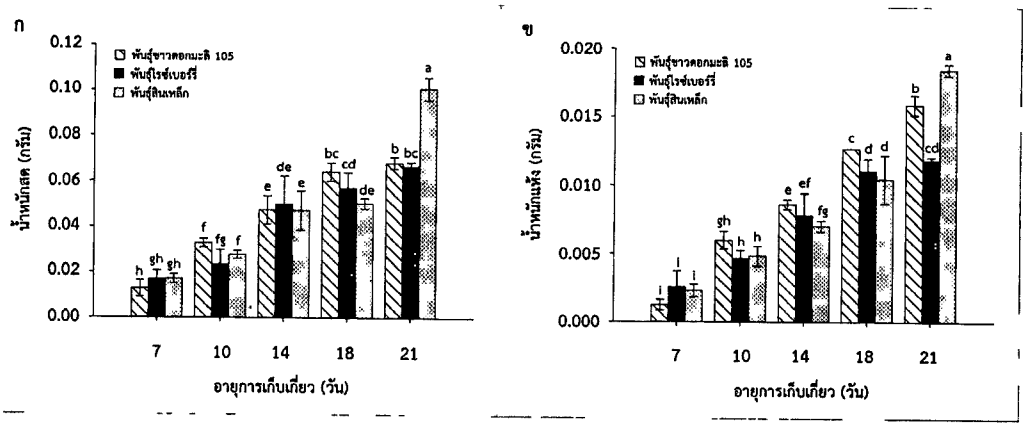
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลการทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของดันแคน (Duncan's New Multiple Range Test; DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทำการทดลอง 4 ซ้ำ

ผลการวิจัย

การเจริญของต้นอ่อนข้าว

ผลการศึกษาการเจริญของต้นอ่อนข้าว 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์สินเหล็ก ที่อายุการเก็บเกี่ยว 7 10 14 18 และ 21 วัน โดยการชั่งน้ำหนัก พบว่า ต้นอ่อนข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และสินเหล็กที่อายุ 7 วัน มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แต่เมื่อต้นอ่อนข้าวมีอายุ 10 วัน พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าพันธุ์สินเหล็กและพันธุ์ไรซ์เบอรี่ และพบว่าเมื่ออายุ 21 วัน พันธุ์สินเหล็กมีน้ำหนักสดสูงที่สุด ส่วนพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และไรซ์เบอร์รี่มีน้ำหนักสดใกล้เคียงกัน ในขณะที่พันธุ์สินเหล็กมีน้ำหนักแห้งมากที่สุด รองลงมาคือพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ตามลำดับ (ภาพที่ 4) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นอ่อนข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อต้นอ่อนข้าวมีอายุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่าที่อายุ 7, 10, 14 และ 18 วัน ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์จะมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออายุ 21 วัน ข้าวพันธุ์สินเหล็กมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าข้าวสายพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ

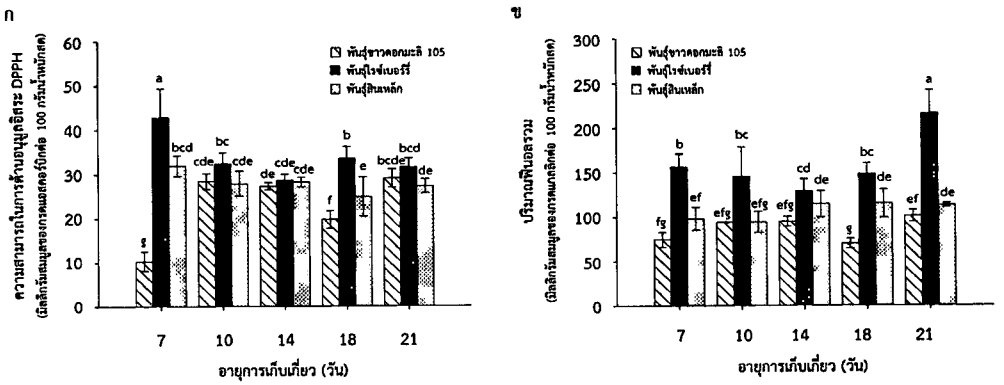


ภาพที่ 4 น้ำหนักสด (ก) และน้ำหนักแห้ง (ข) ของต้นอ่อนข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์สินเหล็ก ที่อายุการเก็บเกี่ยว 7, 10, 14, 18 และ 21 วัน (ตัวอักษรเหนือแท่งกราฟที่ไม่เหมือนกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และปริมาณฟีนอลรวม

ผลการตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของต้นอ่อนข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่อายุการเก็บเกี่ยว 7, 10, 14, 18 และ 21 วัน โดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารมาตรฐาน (ภาพที่ 5ก) พบว่าต้นอ่อนข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อายุ 7 วันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเท่ากับ 42.86 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งมีความแตกต่างจากต้นอ่อนข้าวที่อายุมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับต้นอ่อนข้าวพันธุ์สินเหล็กมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุที่เก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตามต้นอ่อนข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 อายุ 7 วันมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุดและมีค่าสูงขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น โดยที่อายุ 18 วัน มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าอายุ 10 14 และ 21 วัน ซึ่งทั้งสามช่วงอายุการเก็บเกี่ยวนี้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

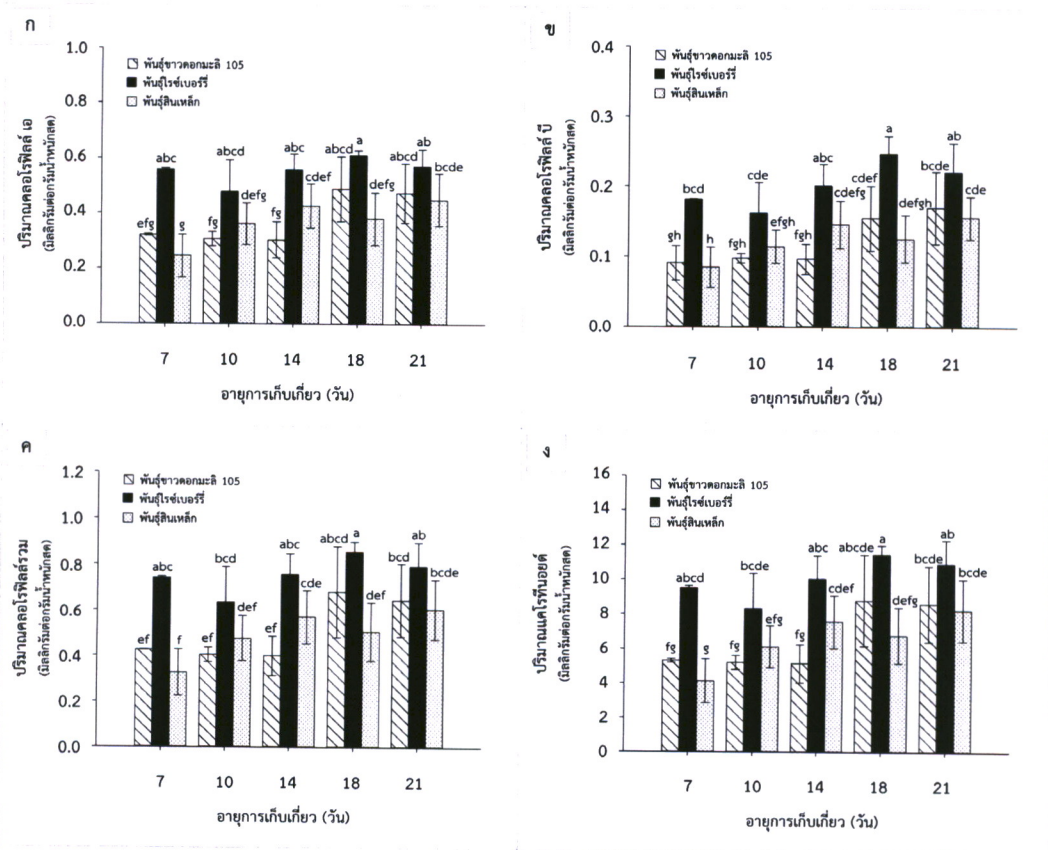
การตรวจสอบหาปริมาณฟีนอลรวมด้วยวิธีโฟลิน-ซีโอแคลทู โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน (ภาพที่ 5ข) พบว่า ต้นอ่อนข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อายุ 21 วัน มีปริมาณฟีนอลรวมสูงที่สุดเท่ากับ 216.08 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือ พันธุ์สินเหล็ก และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยพบว่าปริมาณฟีนอลรวมของต้นอ่อนข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์สินเหล็กในแต่ละช่วงอายุไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นที่อายุ 18 วัน ในขณะที่พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีความแตกต่างกับอีกสองสายพันธุ์อย่างชัดเจน โดยต้นอ่อนข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ในช่วง 18 วันแรกมีปริมาณฟีนอลรวมใกล้เคียงกันแต่จะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อต้นอ่อนมีอายุ 21 วัน นอกจากนี้ในแต่ละช่วงอายุการเก็บเกี่ยวพบว่าต้นอ่อนข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณฟีนอลรวมสูงกว่าสายพันธุ์อื่น



ภาพที่ 5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ก) และปริมาณฟีนอลรวม (ข) ของต้นอ่อนข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และพันธุ์สินเหล็ก ที่อายุการเก็บเกี่ยว 7 10 14 18 และ 21 วัน (ตัวอักษรเหนือแท่งกราฟที่ไม่เหมือนกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ)

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นอ่อนข้าว (ภาพที่ 6) พบว่าต้นอ่อนข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อายุ 7 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอีก 2 สายพันธุ์ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่อายุการเก็บเกี่ยวอื่น ๆ อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของปริมาณรงควัตถุเหล่านี้ในสายพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีค่าสูงกว่าสายพันธุ์อื่นที่อายุเท่ากันทุกช่วงอายุ โดยต้นอ่อนข้าวไรซ์เบอร์รี่อายุ 18 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด เท่ากับ 0.61, 0.25, 0.85 และ 11.47 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณรงควัตถุเหล่านี้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อต้นอ่อนข้าวมีอายุมากขึ้น



ภาพที่ 6 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ก) ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (ข) ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (ค) และปริมาณแคโรทีนอยด์ (ง) ของต้นอ่อนข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ไรซ์เบอร์รี่ และสินเหล็กที่อายุการเก็บเกี่ยว 7 10 14 18 และ 21 วัน (ตัวอักษรเหนือแท่งกราฟที่ไม่เหมือนกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ)

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาการเจริญของต้นอ่อนข้าว 3 สายพันธุ์ แสดงให้เห็นว่าข้าวแต่ละสายพันธุ์มีการเจริญที่แตกต่างกัน ความแตกต่างของการเจริญและพัฒนาการต่าง ๆ ของพืชนั้นขึ้นกับพันธุกรรมของพืชด้วย [14] จากการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าต้นอ่อนข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อายุ 7 วันมีค่าสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากปริมาณแอนโทไซยานินที่เป็นรงควัตถุที่มีอยู่มากในข้าวไรซ์เบอร์รี่ [15] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าข้าวซึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงเป็นองค์ประกอบ เช่น ข้าวก่ำดอยสะเก็ดสามารถป้องกันดีเอ็นเอจากความเสียหายที่เกิดจากการออกซิเดชันได้ [4, 16] สำหรับการตรวจสอบหาปริมาณฟีนอลรวม จากงานวิจัยของนิพัทธาและวริพัสย์ได้ศึกษาปริมาณฟีนอลของเมล็ดข้าว 51 สายพันธุ์ พบว่าปริมาณฟีนอลรวมในกลุ่มข้าวที่มีสี (กลุ่มข้าวสีแดง ข้าวสีม่วงและข้าวเหนียวดำ) มีค่าสูงกว่ากลุ่มข้าวที่ไม่มีสี (ข้าวกล้องและข้าวขัดขาว) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลุ่มข้าวเหนียวดำมีปริมาณฟีนอลรวมสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ข้าวมีผลต่อปริมาณฟีนอลรวม [17] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้ที่พบว่าต้นอ่อนข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณฟีนอลสูงกว่าสายพันธุ์อื่นในทุกช่วงอายุ โดยกลุ่มข้าวที่มีสี คือ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณฟีนอลรวมสูงกว่ากลุ่มข้าวที่ไม่มีสี คือ

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวสินเหล็ก ถึงแม้ว่าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อายุ 7 วันจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกสายพันธุ์และทุกช่วงอายุที่เก็บเกี่ยว แต่ปริมาณฟีนอลรวมไม่ได้สอดคล้องกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งปริมาณฟีนอลรวมมากที่สุดพบในช่วงอายุ 21 วัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนนอกจากจะเกิดจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกลุ่มสาร

ฟีนอลรวม เช่น โทโคฟีรอล ฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิกแล้ว ยังเกิดจากฤทธิ์ทางชีวภาพของสารอื่น ๆ เช่น วิตามินซี คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และเพปไทด์บางชนิด นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของศิรสิทธิ์และพรรณีที่พบว่าแอนโทไซยานินไม่ใช่องค์ประกอบหลักของสารประกอบฟีนอลรวมในข้าวสังข์หยดพัทลุง แต่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเกิดจากสารประกอบฟีนอลชนิดอื่น เช่น กรดเฟอร์รูลิก กรดพารา-คูมาริก และกรดวานิลลิก เป็นต้น [18] อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวมในต้นอ่อนทานตะวันที่ช่วงอายุ 5 – 14 วัน พบว่ามีแนวโน้มสอดคล้องกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH [5] นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ พบว่าปริมาณรงควัตถุเหล่านี้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อต้นอ่อนข้าวมีอายุมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับที่มีรายงานวิจัยว่าในช่วงแรกของการเจริญของพืช ปริมาณธาตุหลัก ธาตุรอง และรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะเพิ่มขึ้น [19] การเพิ่มขึ้นของปริมาณรงควัตถุเหล่านี้ในช่วงแรกของการเจริญของพืชอาจเป็นเหตุผลที่พืชรักษาอัตราส่วนของคลอโรฟิลล์ต่อแคโรทีนอยด์เพื่อทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ หรืออาจกล่าวได้ว่า สมดุลระหว่างปริมาณของคลอโรฟิลล์ต่อแคโรทีนอยด์เป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อกระบวนการรักษาสมดุลของพืช (homeostasis) [20] อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ภาพที่ 5) กับปริมาณรงควัตถุ (ภาพที่ 6) ของต้นอ่อนข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ที่อายุต่าง ๆ พบว่า ปริมาณรงควัตถุเหล่านี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อต้นอ่อนข้าวมีอายุเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนกลับลดลง แสดงให้เห็นว่ารงควัตถุเหล่านี้อาจจะไม่ได้มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนข้าวสายพันธุ์เหล่านี้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเจริญของต้นอ่อนข้าว 3 สายพันธุ์ เป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่าที่อายุ 7, 10 และ 14 วัน ต้นอ่อนข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีน้ำหนักสดใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออายุ 21 วัน ข้าวพันธุ์สินเหล็กมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าข้าวสายพันธุ์อื่น ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อายุ 7 วัน มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุดเท่ากับ 42.86 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งไม่สอดคล้องกับปริมาณฟีนอลรวมที่มีมากที่สุดในช่วงอายุ 21 วัน นอกจากนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อต้นอ่อนข้าวมีอายุมากขึ้น โดยสายพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อายุ 18 วัน มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด จากงานวิจัยนี้ ต้นอ่อนข้าวไรซ์เบอร์รี่อายุ 7 วัน จัดเป็นสายพันธุ์และอายุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำมาบริโภคสดหรือนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์จากต้นอ่อนข้าวต่อไป เช่น การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นข้าวอ่อนชนิดผง ไอศกรีมต้นข้าวอ่อนและชาต้นอ่อนข้าว เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ชุติมา คงจรูญ. (2562). สารทดแทนผงชาเขียว: ผงใบข้าวหอม (หน้า 94-101). ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 29 ประจำปี 2562*. สงขลา.

[2] สุรีวัลย์ ดวงจิตต์, กรกนก สุวรรณราช, กุลภัสสร์ กิตติพินิจนันท, พิชญ์นรี องค์วิสุทธิ์, สุรีวัลย์ บำรุงไทย, ธนะเศรษฐ์ ง้าวหิรัญพัฒน์, พรวนิช เจริญพุทธคุณ, และวริษฎา ศิลาอ่อน. (2562). บทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติสำหรับประยุกต์ใช้ทางผิวหนัง: คุณสมบัติ ประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และระบบนำส่งรูปแบบใหม่. *วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน*, 15(1), 21-48.

[3] Aloo, S. O., Ofosu, F. K., Kilonzi, S. M., Shabbir, U., & Oh, D. H. (2021). Edible plant sprouts: health benefits, trends, and opportunities for novel exploration. *Nutrients*, 13, 2882-2905.

[4] Khanthapok, P., Muangprom, A., & Sukrong, S. (2015). Antioxidant activity and DNA protective properties of rice grass juices. *ScienceAsia*, 41, 119-129.

[5] มยุรา ทองช่วง, ฉัตรกมล คุณสมบัติ, รุ้งนภา โต๊ะทอง, วรรณี นาคนาวา, กิติศาสตร์ กระบวน, วชิราภรณ์ อาชวาคม, และนุชนาถ วุฒิประดิษฐกุล. (2562). ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวันสายพันธุ์ต่าง ๆ และอายุที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์*, 18(2), 79-96.

[6] เสรี เลาเทาะ, ชิติ ศรีตนทิพย์ และ ปริญญาวดี ศรีตนทิพย์. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระกับค่าดัชนีความเขียวในผลผลิตของผักเชียงดาภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกัน. *วารสารแก่นเกษตร (ฉบับพิเศษ)*, 42(3), 795-801.

[7] Hsu, C. Y., Chao, P. Y., Hu, S. P., & Yang, C. M. (2013). The antioxidant and free radical scavenging activities of chlorophylls and pheophytins. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 1-8.

[8] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. (2565). ข้าวหอมดัชนีน้ำตาลต่ำ มีธาตุเหล็กสูง. [ออนไลน์], สืบค้นจาก https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/articles-rice-rsc-rgdu-knowledge/54-sinlek-rice (19 มกราคม 2565).

[9] วริพัสย์ อารีกุล, ธัญวรัตม์ แซ่กู้, ปิยะนุช เชื้อวงศ์งาม, และธนกร เหล่าโรจน์ภิญโญ. (2558). ปริมาณฟีนอลิก คลอโรฟิล และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของต้นอ่อนข้าวดำ (หน้า 1145-1151). ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53*. กรุงเทพฯ.

[10] Kaewneramit, T., Buaboocha, T., Sangchai, P., & Wutipraditkul, N. (2019). OsCaM1-1 overexpression in the transgenic rice mitigated salt-induced oxidative damage. *Biologia Plantarum*, 63, 335-342.

[11] Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28, 25-30.

[12] Chan, E. W. C., Lim, Y. Y., Wong, S. 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, 166-172.

[13] Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoxidase in *Beta Vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.

[14] สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. (2548). *ชีววิทยาพืช (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.

[15] ปณญ์ธีรา แท่งหิน, ธนิต ผิวนิ่ม, และอมลรุจี นาคพลายพันธุ์. (2560). ผลของแคดเมียมต่ออัตราการเจริญเติบโต ความเป็นพิษต่อเซลล์ราก และปริมาณรงควัตถุในข้าวไรซ์เบอร์รี่. *Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University*, 4(3), 10-20.

[16] Devi, P. S., Kumar, M. S., & Das, S. M. (2012). DNA damage protecting activity and free Radical scavenging activity of anthocyanins from red sorghum (*Sorghum bicolor*) bran. *Biotechnology Research International*, 1-9.

[17] นิพัทธา ชาติสุวรรณ, และวริพัสย์ อารีกุล. (2553). พารามิเตอร์สี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ (หน้า 252-260). ใน *การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48.* กรุงเทพฯ.

[18] ศิรสิทธิ์ ศรีนวลปาน, และพรรณี อัศวตรีรัตนกุล. (2559). ผลของไคโตซานต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและการต้านทานโรคใบไหม้ในข้าวสังข์หยดพัทลุง. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร,* 10(2), 114-124.

[19] Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A. R. M., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2014). Changes in macrominerals, macrominerals, trace elements and pigments content during lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth: influence of soil composition. *Food Chemistry*, 152, 603-611.

[20] Hannoufa, A., & Hossain, Z. (2012). Regulation of carotenoid accumulation in plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 1, 198-202.