

**ผลของระยะเวลาในการแช่ต่ออัตราการมีชีวิตของเมล็ดและ
ปริมาณกาบาของข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอก**
**Effects of Soaking Time on Seed Viability and GABA Content of
Germinated Parboiled Rice and Germinated Brown Rice**

ธิดา อมร^{1*} อภิญญา ตั้งเพียร¹ เย็นหทัย แนนหนา¹ และ สุธน เสถียรยานนท์¹
Tida Amon¹ Apinya Tangphein¹ Yenhatay Nannha¹ and Suthon Sathienyanon¹
¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University
วันที่ส่งบทความ : 16 กันยายน 2564 วันที่แก้ไขบทความ : 9 เมษายน 2565 วันที่ตอบรับบทความ : 14 พฤศจิกายน 2565

Received: 16 September 2021, Revised: 9 April 2022, Accepted: 14 November 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณกาบาในข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกของข้าว 7 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวชัยนาท 1 ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมปทุม ข้าวกข 15 ข้าวกข 61 และข้าวกข 41 ที่แช่น้ำตามเวลาของอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์เปรียบเทียบกับแช่น้ำที่ 24 ชั่วโมง จากการศึกษาอัตราการมีชีวิตของเมล็ดข้าวโดยทดสอบอัตราการหายใจด้วยวิธีเทระโซเลียมพบว่า ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีระยะเวลาที่อัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์ต่างกัน เมื่อนำข้าวทั้ง 7 สายพันธุ์มาแบ่งเป็นกลุ่ม ดังนี้ 1) ข้าวดิบ (ข้าวที่ไม่ได้บ่มเพาะงอก) 2) ข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง 3) ข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำตามอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์และนำมาวิเคราะห์ปริมาณกาบาพบว่า ข้าวดิบที่ไม่ได้บ่มเพาะงอกทั้ง 7 สายพันธุ์มีปริมาณกาบา 4.9, 7.4, 6.9, 7, 4, 8.5 และ 6.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมงและแช่น้ำตามอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์จะให้ปริมาณกาบาสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้บ่มเพาะงอกถึง 1.5-3.5 เท่า ข้าวที่ผ่านการบ่มเพาะงอกแต่ละสายพันธุ์ให้ผลปริมาณกาบาสูงสุดที่ระยะเวลาการบ่มเพาะงอกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกาบาสูงสุดของข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมงและข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำตามเวลาอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์พบว่าให้ปริมาณกาบาที่ใกล้เคียงกัน จากผลการวิจัยนี้แสดงว่าข้าวไม่จำเป็นต้องใช้เวลาแช่นาน เนื่องจากพอนำไปบ่มเพาะงอกแล้วจะให้ปริมาณกาบาใกล้เคียงกัน สำหรับผลรวมระยะเวลาดังแต่การแช่น้ำจนถึงระยะเวลาการบ่มเพาะงอกที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุดพบว่า ข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำตามเวลาอัตราการมีชีวิตจะใช้เวลาน้ำน้อยกว่าข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่ 24 ชั่วโมง ซึ่งการใช้เวลาในการแช่น้ำและบ่มเพาะงอกที่น้อยกว่าจะช่วยลดการหมิ่นเหม่ของข้าวได้

คำสำคัญ : กาบา ข้าวฮางอก ข้าวกล้องงอก

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: tidaamon@hotmail.com

Abstract

The objective of this research was to investigate the GABA content in germinated parboiled rice and germinated brown rice of 7 rice varieties, namely Chainat 1, Leuang awn, Khao Dawk Mali 105, Pathum Thani 1, RD15, RD61 and RD41 which were soaked in water for the complete viability rate time compared with those for 24 hours of soaking time. The results showed that each rice cultivar had a different duration of complete viability rate time from an analysis of respiration rate with the tetrazolium test. Seven varieties of rice were divided into three experimental groups as follows: 1) raw rice (non germinated rice 2) germinated parboiled rice and germinated brown rice soaked for 24 hours and 3) germinated parboiled rice and germinated brown rice soaked for viability rate time. The results of the quantitative analysis for GABA content showed that raw rice has GABA content at 4.9, 7.4, 6.9, 7, 4, 8.5 and 6.6 mg/100 g, respectively. The results also showed that GABA content of both germinated parboiled rice and germinated brown rice which were soaked in water for 24 hours and soaked according to the viability rate time was higher than that of non-germinated rice approximately 1.5-3.5 times. Germinated rice gave the highest GABA content at different germination periods. The highest GABA content of germinated parboiled rice and germinated brown rice which were soaked for 24 hours and germinated parboiled rice and germinated brown rice soaked for the complete viability rate time was similar. The results of this research summarized that there was no need to soak rice grain in water for a long time because the GABA content was similar after germination. For the total duration time from soaking to the germination incubation period showing the highest GABA content, it was found that germinated parboiled rice and germinated brown rice which were soaked according to complete viability rate time spent less time than the germinated parboiled rice and germinated brown rice soaked at 24 hours. Then, less time for soaking and incubation of germinated rice will reduce the rancidity of the rice.

Keywords: GABA, Germinated parboiled rice, Germinated brown rice

1. บทนำ

เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดที่เรียกว่าแกลบ (Hull) เมื่อกะเทาะแกลบออกจะเหลือส่วนที่เรียกว่าข้าวกล้อง (Brown Rice หรือ Unpolished Rice) ซึ่งเป็นเมล็ดข้าวที่ยังไม่ได้ขัดสีและมีส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดและคัพพะอยู่ ข้าวกล้องจะมีสีเดียวกับเยื่อหุ้มผลและเยื่อหุ้มเมล็ดซึ่งเป็นส่วนที่มีเส้นใยอาหารและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ข้าวกล้องประกอบด้วย โปรตีน วิตามิน

ไขมัน แร่ธาตุ และกรดอะมิโนที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย [1] ปัจจุบันมีรายงานว่าทั้งเมล็ดข้าวเปลือกที่สมบูรณ์และเมล็ดข้าวกล้องนิยมนำมาบ่มเพาะงอก โดยนำเมล็ดข้าวมาแช่น้ำจนน้ำซึมผ่านเข้าสู่เนื้อเมล็ดจนอืดแล้วนำไปบ่มเพาะงอกจนกระทั่งงอกข้าวงอกตุ่มสีขาว ถ้านำเมล็ดข้าวเปลือกไปแช่น้ำและไปบ่มเพาะงอกจะเรียกว่าข้าวฮางอก (Germinated Parboiled Rice) ส่วนเมล็ดข้าวกล้องที่นำไปแช่น้ำและนำไปบ่มเพาะงอกเรียกว่าข้าวกล้องงอก (Germinated Unpolished Rice หรือ Germinated Brown Rice) [2]

การนำเมล็ดข้าวมาผ่านการแช่น้ำจะส่งผลให้เกิดขบวนการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ภายในเซลล์ โดยสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ เกิดกระบวนการย่อยสลายและลำเลียงสารอาหารที่เก็บสะสมไว้และนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ [1] หลังจากนั้นนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการแช่น้ำไปบ่มเพาะงอกเพื่อให้เกิดกระบวนการทางชีวภาพในการชักนำกิจกรรมของเอนไซม์ โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์และการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบต่าง ๆ ของข้าวในระหว่างการงอก กระบวนการแช่น้ำทำให้ข้าวงอกมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในเมล็ด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolic Process) ในเมล็ดข้าว ซึ่งมีรายงานว่าในเมล็ดพืชที่กำลังงอกจะเกิดกระบวนการสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive Compounds) ตัวอย่างเช่น กรดแกมมา-อะมิโนบิวทิริก (Gamma-Aminobutyric Acid) หรือกาบา (GABA) มีปริมาณสูง [3] โดยกระบวนการสังเคราะห์กาบาเกิดที่บริเวณไซโทซอลของเซลล์ซึ่งกรดอะมิโนกลูตามิกถูกเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลสได้เป็นกาบา [4]

กาบามีบทบาทเป็นสารสื่อประสาทสำหรับยับยั้งการส่งผ่านกระแสประสาทเพื่อรักษาสสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้น ทำให้เกิดการคลายความกังวล [5] นอกจากนี้ยังพบกาบาในระบบประสาทรอบนอกต่อมไร้ท่อ และส่วนที่ไม่ใช่เนื้อเยื่อประสาท กาบายังมีหน้าที่กดกระแสประสาท ยับยั้งการกระตุ้นการปล่อยแอสิติลโคลีน ในส่วนที่ไม่ใช่เนื้อเยื่อประสาทพบว่ากาบามีบทบาทสำคัญต่อการเคลื่อนไหวและการเกาะกลุ่มกันของอสุจิ (Sperm) กระตุ้นการผลิตฮอร์โมนเทสโทสเตอโรน ควบคุมการเคลื่อนไหวของลำไส้ กาบามีบทบาทต่อต่อมไร้ท่อ โดยเกี่ยวข้องกับการควบคุมการหลั่งของฮอร์โมนของเซลล์ต่อมไร้ท่อในตับอ่อน ต่อมหมวกไต และระบบทางเดินอาหาร [6] ช่วยควบคุมความดันเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจ บรรเทาอาการปวดและวิตกกังวล เพิ่มการหลั่งของอินซูลินจากตับอ่อน [7] ลดอาการอัลไซเมอร์ ชะลอหรือยับยั้งการสร้างเซลล์มะเร็ง ช่วยลด LDL (Low Density Lipoprotein) และลดโรคเครียด เป็นต้น [8]

จากการศึกษาปริมาณกาบาในข้าวพบว่าข้าวกล้องงอกและข้าวฮางอกมีปริมาณกาบาสูง จึงนิยมนำข้าวกล้องมาผลิตเป็นข้าวกล้องงอกและนำข้าวเปลือกมาผลิตเป็นข้าวฮางอก ซึ่งในการทดลองส่วนใหญ่จะนำข้าวไปแช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมงและไปบ่มที่เวลาต่าง ๆ หรือบ่มจนกว่าจะมีตุ่มงอกแล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณกาบา ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Karladee และ Suriyong [9] ได้ศึกษาปริมาณกาบาในข้าวกล้อง 21 สายพันธุ์ โดยนำเมล็ดข้าวมาแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบ่มที่เวลาต่าง ๆ ผลการวิจัยพบว่าข้าวกล้องมีค่าเฉลี่ยปริมาณกาบาสูงสุดที่เวลา 24 ชั่วโมง สำหรับข้าวฮางอกได้มีการศึกษาในข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวกข 6 โดยนำมาแช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปบ่มเพาะงอกพบว่าปริมาณกาบาจะสูงที่เวลา 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ [10] แต่มีรายงานพบว่าสถานะการแช่ข้าวเป็นเวลานานจะประสบปัญหาการเกิดกลิ่นเหม็นหืน เนื่องจากเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส [11] ดังนั้นในการพัฒนา

ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกและข้าวฮางอก จึงควรศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่และบ่มข้าว เพื่อให้ได้ข้าวที่มีปริมาณกาบาสูงและลดการหมิ่นเหม่

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเวลาที่ใช้ในการแช่เมล็ดข้าวตัวอย่าง 7 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวข 61 ข้าวชัยนาท 1 ข้าวดอกมะลิ 105 ข้าวข 15 ข้าวข 41 และข้าวหอมปทุม ซึ่งพันธุ์ข้าวเหล่านี้เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าที่คนไทยนิยมปลูกและนำมาบริโภค นำเมล็ดข้าวตัวอย่างมาศึกษาระยะเวลาที่เมล็ดข้าวมีอัตราการหายใจที่สมบูรณ์โดยใช้การทดสอบด้วยวิธีเทระโซเลียม (Tetrazolium Test) ทั้งในข้าวเปลือกและข้าวกล้อง เนื่องจากวิธีนี้เป็นการตรวจสอบการหายใจของเมล็ดโดยจะเกี่ยวข้องกับเอนไซม์กลุ่มดีไฮโดรจีเนสทำให้สามารถตรวจสอบการมีชีวิตของเมล็ดได้โดยไม่ต้องทดสอบอัตราการงอก จากนั้นนำข้าวไปแช่น้ำตามเวลาของข้อมูลที่ข้าวมีอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์ แล้วนำข้าวไปเพาะงอกโดยบ่มที่เวลาต่าง ๆ เพื่อหาปริมาณกาบาและได้ข้อมูลของเมล็ดข้าวแต่ละสายพันธุ์ในการทำข้าวเพาะงอกที่ระยะเวลาในการแช่น้ำที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารกาบาในปริมาณสูง โดยเปรียบเทียบปริมาณกาบาทั้งในข้าวเปลือกที่เพาะงอกและข้าวกล้องที่เพาะงอก ผลงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อส่งเสริมในการนำผลผลิตข้าวจากแหล่งท้องถิ่น มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวทั้งในรูปข้าวฮางอกและกล้องงอก และนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่ให้คุณค่าทางอาหารสูงได้

2. วิธีทดลอง

2.1 การศึกษาการมีชีวิตของเมล็ดด้วยวิธีการทดสอบด้วยเทระโซเลียม

2.1.1 การเตรียมตัวอย่างเมล็ดข้าว

นำเมล็ดข้าวตัวอย่าง 7 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวข 61 ข้าวชัยนาท 1 ข้าวดอกมะลิ 105 ข้าวข 15 ข้าวข 41 และข้าวหอมปทุม มาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20-30 Mesh เพื่อคัดแยกสิ่งเจือปนออก แล้วนำเมล็ดข้าวไปเก็บในภาชนะที่แห้ง ปิดฝาให้สนิท ก่อนนำมาใช้ในการทดลองให้ข้าวเปลือกมาล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดและคัดทิ้งส่วนข้าวเปลือกที่ลอยน้ำออกไป [1]

2.1.2 การหาระยะเวลาในการแช่น้ำของเมล็ดข้าวที่ทำให้มีอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์ที่ร้อยละ 100

ทดสอบอัตราการมีชีวิตด้วยวิธีเทระโซเลียมดัดแปลงจากวิธีของ Carvalho และคณะ [12] โดยนำข้าวทั้ง 7 สายพันธุ์มาแบ่งเป็นข้าวเปลือกกับข้าวกล้องอย่างละ 50 เมล็ด นำเมล็ดมาล้างน้ำกลั่นให้สะอาด จากนั้นนำมาแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ นำข้าวที่แช่แต่ละช่วงเวลามาผ่าเมล็ดตามแนวยาวด้วยมีดผ่าตัด แล้วนำไปแช่ในสารละลายเกลือเทระโซเลียม (2,3,5-Triphenyltetrazolium Chloride : $C_{19}H_{15}N_4Cl$) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยมวลต่อปริมาตร เป็นเวลา 30 นาที สังเกตสีของเมล็ดข้าว ซึ่งถ้าเมล็ดข้าวมีกระบวนการหายใจจะทำให้เกิดการติดสีของฟอร์มาซานโดยจะเกิดเป็นสีแดงที่บริเวณงอกข้าว จากนั้นหาร้อยละของอัตราการมีชีวิตโดยพิจารณาจากเมล็ดข้าวที่แช่น้ำกลั่นที่มีการหายใจโดยการติดสีของฟอร์มาซานและหาระยะเวลาในการแช่น้ำที่มีอัตราการหายใจโดยสมบูรณ์จากการติดสีของฟอร์มาซานโดยคิดเป็นอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์ที่

ร้อยละ 100 นำผลการวิเคราะห์ระยะเวลาที่ข้าวมีอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์ไปใช้ในการศึกษาปริมาณกาบาในข้าวตัวอย่างต่อไป

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณกาบาในข้าวฮางอกและข้าวกล้องอก

2.2.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวฮางอกและข้าวกล้องอก

นำเมล็ดข้าวตัวอย่างทั้ง 7 สายพันธุ์ทั้งแบบข้าวเปลือกและข้าวกล้องมาแช่ในน้ำกลั่นตามเวลาที่ตรวจสอบอัตราการมีชีวิตด้วยวิธีการทดสอบด้วยวิธีเทระโซเลียมที่เมล็ดข้าวมีอัตราการหายใจสมบูรณ์ที่ร้อยละ 100 จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48 และ 52 ชั่วโมง ตามลำดับ

ทำการทดลองเตรียมตัวอย่างข้าวฮางอกและข้าวกล้องอกตามแบบข้างต้น แต่เปลี่ยนเป็นแช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปบ่มเพาะงอกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48 และ 52 ชั่วโมง ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณกาบาของข้าวที่แช่ตามเวลาตรวจสอบด้วยวิธีเทระโซเลียมกับข้าวที่แช่ 24 ชั่วโมง

2.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณกาบา

นำข้าวฮางอกและข้าวกล้องอกจากข้อ 2.2.1 ที่บ่มเพาะงอกที่เวลา 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48 และ 52 ชั่วโมง ตามลำดับ มาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วบดให้ละเอียดโดยใช้โกร่งบด ซึ่งข้าวที่บดแล้วประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองและเติมสารละลายเอทานอลร้อยละ 70 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ลงไปปริมาตร 4 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องเขย่าแบบสั่น ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำไประเหยเอทานอลที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นดูดส่วนใสมาปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร ใส่หลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ดูดของเหลวส่วนบนมาปริมาตร 700 ไมโครลิตร ใส่หลอดขนาดเล็กและเติมน้ำกลั่นลงไปอีกปริมาตร 300 ไมโครลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณกาบา โดยเติมสารละลายบอเร็ตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (pH 9) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และเติมสารละลายฟีนอลความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 1000 ไมโครลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ร้อยละ 7.5 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ลงไป 400 ไมโครลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบสั่นประมาณ 1 นาที วางบนน้ำแข็ง 5 นาที ต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาที แล้วทำให้เย็น จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 20 นาที นำไปเติมสารละลายเอทานอลร้อยละ 60 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ลงในหลอด ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร นำค่าที่วัดการดูดกลืนแสงได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานแกมมาอะมิโนบิวทริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดัดแปลงจาก Karladee และ Suriyong [9]

2.2.3 การวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแกมมาอะมีโนบิวทริก

เตรียมสารละลายมาตรฐานกาบาที่ความเข้มข้น 0, 0.04, 0.08, 0.12, 0.16, 0.2 และ 0.24 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นำสารละลายมาตรฐานกาบาแต่ละความเข้มข้นมาเติมสารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (pH 9) ปริมาตร 0.2 มิลลิตรและเติมสารละลายฟีนอลความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไปปริมาตร 1000 ไมโครลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ร้อยละ 7.5 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ลงไป 400 ไมโครลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบสั่น ประมาณ 1 นาที วางบนน้ำแข็ง 5 นาที ต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาทีแล้วทำให้เย็น จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 20 นาที นำไปเติมสารละลายเอทานอลร้อยละ 60 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ลงในทุกหลอด ปริมาตร 2 มิลลิตร แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร คัดแปลงจาก Karladee และ Suriyong [9] และ Zhang และคณะ [13]

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 การศึกษาการมีชีวิตของเมล็ดด้วยวิธีการทดสอบด้วยเทระโซเลียม

การศึกษ้อัตราการมีชีวิตจากปฏิกิริยาการหายใจโดยวิธีการทดสอบด้วยเทระโซเลียมเป็นวิธีการที่รวดเร็วในการตรวจสอบการมีชีวิตของเมล็ดโดยใช้วิธีทางชีวเคมีในการวัดการเกิดกระบวนการหายใจของเซลล์โดยตรวจหาการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ดีไฮโดรจีเนสซึ่งพบเฉพาะในเซลล์เมล็ดที่มีชีวิต เอนไซม์จะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนสับสเตรตแล้วเกิดการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ไฮโดรเจนไอออนที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับสาร 2,3,5-ไตรฟีนิลเทระโซเลียมคลอไรด์ (2,3,5-Triphenyl Tetrazolium Chloride) ซึ่งเป็นสารไม่มีสี ให้กลายเป็นสาร 2,3,5-ไตรฟีนิลเทระโซเลียมฟอร์มาซาน (2,3,5-Triphenyl Tetrazolium Formazan) ซึ่งมีสีแดง ดังนั้นการแปลผลอัตราการมีชีวิตของเมล็ดจากการเกิดปฏิกิริยาการหายใจสามารถพิจารณาได้จากการติดสีของส่วนประกอบต่าง ๆ ของเมล็ดและความเข้มของการติดสี [14] เมล็ดที่มีเนื้อเยื่อติดสีแดงของฟอร์มาซานถือว่าเป็นเมล็ดที่ยังมีชีวิต (Viability Seed) โดยสามารถตรวจสอบกิจกรรมหายใจในระดับเซลล์ ส่วนเมล็ดที่ไม่มีชีวิต (Non-Viability Seed) จะไม่เกิดปฏิกิริยากับเกลือเทระโซเลียม จึงย้อมไม่ติดสี [15] ผลการตรวจสอบอัตราการมีชีวิตในข้าว 7 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวชัยนาท 1 ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมปทุม ข้าวกข 15 ข้าวกข 61 และข้าวกข 41 ทั้งแบบข้าวเปลือกและข้าวกล้องที่แช่น้ำเป็นเวลา 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าข้าวเปลือก ข้าวชัยนาท 1 ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมปทุม ข้าวกข 15 ข้าวกข 61 และข้าวกข 41 ให้ผลการติดสีแดงของฟอร์มาซานที่จมูกข้าวคิดเป็นร้อยละของอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์หรือร้อยละ 100 ที่เวลา 20, 18, 20, 16, 8, 16 และ 22 ชั่วโมง และข้าวกล้องให้ผลการติดสีแดงของฟอร์มาซานที่จมูกข้าวคิดเป็นร้อยละอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์หรือร้อยละ 100 ที่เวลา 18, 10, 16, 14, 6, 14 และ 14 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบการหายใจอย่างสมบูรณ์โดยดูจากการติดสีแดงของฟอร์มาซานของจมูกข้าวแต่ละชนิดที่แช่น้ำเป็นเวลาต่าง ๆ พบว่าข้าวกล้องทุกสายพันธุ์จะใช้ระยะเวลาในการแช่ข้าวที่มีอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์น้อยกว่าข้าวที่แช่ทั้งเปลือกและระยะเวลาในการแช่น้ำของข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่มีอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์ร้อยละ 100 พบว่าข้าวส่วนใหญ่เมื่อเปรียบเทียบใช้เวลากัน เมื่อเมล็ดได้รับน้ำจะเกิดการดูดซึมน้ำเข้าสู่เซลล์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของ

เซลล์ โดยเยื่อหุ้มเซลล์จะเกิดการดูดซึมน้ำและเกิดการกระตุ้นเอนไซม์ที่อยู่ในเมล็ดทำให้เกิดกระบวนการหายใจและเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์โปรตีน จากนั้นจึงเข้าสู่ระยะการงอกซึ่งมีความต้องการใช้ออกซิเจนสูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวเคมีในระหว่างการงอกและเกิดการสังเคราะห์สารจำเป็นในการนำไปใช้ในการเจริญของเซลล์ต่อไป [16] จากผลการวิจัยข้าวแต่ละสายพันธุ์ให้ผลอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์ต่างกัน ข้าวสายพันธุ์กข 15 ใช้เวลาในการแช่ข้าวให้มีอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์น้อยกว่าข้าวสายพันธุ์อื่น อาจเกิดจากลักษณะทางกายภาพและสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งผลงานวิจัยของศานิตและคณะ [17] รายงานว่าข้าวต่างสายพันธุ์จะมีความยาวเมล็ด ความกว้างเมล็ด ความหนาเมล็ด น้ำหนักเปลือกเมล็ด น้ำหนักเมล็ดข้าว ความงอก ดัชนีความเร็วในการงอก แตกต่างกัน รวมถึงระยะพักตัวของข้าวที่มีระยะพักตัวนานจะมีความงอกต่ำ การมีชีวิตของเมล็ดสัมพันธ์กับการงอกของเมล็ด ถ้าเมล็ดมีความมีชีวิตต่ำ การงอกจะต่ำ ซึ่งเมล็ดพืชต่างชนิด ต่างสายพันธุ์จะมีลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน จึงทำให้มีผลตอบสนองต่อการเตรียมพร้อมของเมล็ดต่างกัน [18]

ตารางที่ 1. ระยะเวลาที่แช่ข้าวเปลือกและข้าวกล้อง 7 สายพันธุ์ ที่มีร้อยละอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์หรือร้อยละ 100

สายพันธุ์ข้าว	ระยะเวลาการแช่ข้าวที่มีร้อยละอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์หรือร้อยละ 100	
	ระยะเวลาที่แช่ข้าวเปลือก (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่แช่ข้าวกล้อง (ชั่วโมง)
ข้าวชัยนาท 1	20	18
ข้าวเหลืองอ่อน	18	10
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	20	16
ข้าวหอมปทุม	16	14
ข้าวกข 15	8	6
ข้าวกข 61	16	14
ข้าวกข 41	22	14

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณกาบาในข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอก

จากการวิเคราะห์ปริมาณกาบาของเมล็ดข้าวดิบ 7 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวชัยนาท 1 ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมปทุม ข้าวกข 15 ข้าวกข 61 และข้าวกข 41 พบว่ามีปริมาณกาบา 4.9, 7.4, 6.9, 7.0, 4.0, 8.5 และ 6.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2) เมื่อนำเมล็ดข้าวทั้ง 7 สายพันธุ์ทั้งแบบข้าวเปลือกและข้าวกล้องมาวิเคราะห์หาปริมาณกาบา โดยเปรียบเทียบปริมาณกาบาของเมล็ดข้าวที่แช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงกับเมล็ดข้าวที่แช่น้ำกลั่นตามเวลาอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์จากการทดสอบด้วยวิธีเทระโซเลียม จากนั้นนำไปบ่มเพาะงอกเป็นข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกเป็นเวลา 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48 และ 52 ชั่วโมง ตามลำดับ และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกาบาตามเวลาที่ใช้ในการบ่มเพาะงอก ผลการวิจัยพบว่าข้าวฮางอกที่แช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และไปบ่มเพาะงอก ได้แก่ ข้าวชัยนาท 1 ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมปทุม ข้าวกข 15 ข้าวกข 61 และข้าวกข 41 มีปริมาณกาบาสูงสุดที่ 9.0, 9.5, 15.2, 11.4, 14.0, 9.3 และ 13.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมที่เวลาการบ่มเพาะงอกที่ 44, 40, 48, 44, 36, 44 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ส่วนข้าว

กล้องงอกที่แช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและไปบ่มเพาะงอกพบว่าข้าวกล้องงอกชัณษาท 1 ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมปทุม ข้าวข 15 ข้าวข 61 และข้าวข 41 มีปริมาณกาบาสสูงสุดที่ 11.5, 11.2, 15.2, 11.9, 14.9, 12.4 และ 15.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ที่เวลาการบ่มเพาะงอกที่ 40, 44, 36, 40, 36, 36 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกาบาสของข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าข้าวฮางอกขาวดอกมะลิ 105 ให้ปริมาณกาบาสสูงสุดที่ปริมาณ 15.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ที่เวลาบ่มเพาะงอก 48 ชั่วโมง ส่วนข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 และ ข้าวข 41 ให้ปริมาณกาบาสสูงสุดที่ปริมาณ 15.2 และ 15.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งให้ผลปริมาณที่ใกล้เคียงกัน สำหรับข้าวกล้องงอกทั้ง 7 สายพันธุ์โดยส่วนใหญ่ให้ปริมาณกาบาสสูงกว่าข้าวฮางอกเล็กน้อย และส่วนใหญ่ใช้เวลาบ่มเพาะงอกที่ทำให้ปริมาณกาบาสสูงเร็วกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจินดา จันดาเรือง และ สุทธิเดช ปรีชารัมย์ [19] ที่รายงานผลการสกัดปริมาณกาบาสจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยสกัดจากข้าวฮางอกระยะสุกเต็มที่ ข้าวฮางอกระยะพลับพลึงและข้าวกล้องงอกพบว่าข้าวกล้องงอกจะให้ปริมาณสารกาบามากกว่าข้าวฮางอก

ตารางที่ 2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณกาบาสสูงสุดของข้าวดิบ ข้าวฮางอก และข้าวกล้องงอก 7 สายพันธุ์ ที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง และนำไปบ่มเพาะงอก

สายพันธุ์ข้าว	ปริมาณกาบาสของข้าวดิบ (มิลลิกรัม /100 กรัม)	ข้าวฮางอก		ข้าวกล้องงอก	
		ปริมาณกาบาสสูงสุด (มิลลิกรัม /100 กรัม)	เวลาบ่มเพาะงอกที่ปริมาณกาบาสสูงสุด (ชั่วโมง)	ปริมาณกาบาสสูงสุด (มิลลิกรัม /100 กรัม)	เวลาบ่มเพาะงอกที่ปริมาณกาบาสสูงสุด (ชั่วโมง)
ข้าวชัณษาท 1	4.9 ± 0.1	9.0 ± 0.1	44	11.5 ± 0.1	40
ข้าวเหลืองอ่อน	7.4 ± 0.1	9.5 ± 0.1	40	11.2 ± 0.1	44
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	6.9 ± 0.2	15.2 ± 0.3	48	15.2 ± 0.2	36
ข้าวหอมปทุม	7.0 ± 0.1	11.4 ± 0.4	44	11.9 ± 0.1	40
ข้าวข 15	4.0 ± 0.0	14.0 ± 0.1	36	14.9 ± 0.1	36
ข้าวข 61	8.5 ± 0.1	9.3 ± 0.1	44	12.4 ± 0.3	36
ข้าวข 41	6.6 ± 0.3	13.7 ± 0.1	48	15.7 ± 0.3	24

หมายเหตุ ค่าแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณกาบาสสูงสุด มาจากการคำนวณค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

เมื่อนำเมล็ดข้าวทั้ง 7 สายพันธุ์มาแช่น้ำกลั่นตามระยะเวลาที่ได้จากผลการทดสอบด้วยเทอร์โมเลียมที่ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์ร้อยละ 100 และนำไปบ่มเพาะงอกที่เวลา 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48 และ 52 ชั่วโมง ตามลำดับ และนำไปวิเคราะห์ปริมาณกาบาส ผลการวิเคราะห์เมล็ดข้าวทั้ง 7 สายพันธุ์ที่แช่น้ำกลั่นตามเวลาอัตราการมีชีวิตและไปบ่มเพาะงอกที่เวลาต่าง ๆ พบว่าข้าวฮางอก ได้แก่ ข้าวชัณษาท 1 ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมปทุม ข้าวข 15 ข้าวข 61 และข้าวข 41 ที่แช่น้ำกลั่นตามเวลาอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์ที่เวลา 20, 18, 20, 16, 8, 16 และ 22 ชั่วโมง มีปริมาณกาบาสสูงสุด 11.0, 11.0, 12.2, 12.9, 13.9, 13.1 และ 13.5 มิลลิกรัมต่อ 100

กรัม ที่ระยะเวลาการบ่มเพาะงอก 44, 24, 44, 44, 40, 28 และ 44 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3 จากผลการทดลองพบว่าข้าวฮางอก ข้าวข 15 ข้าวข 61 และข้าวข 41 มีปริมาณกาบาสูงสุดใกล้เคียงกันและข้าวฮางอกที่แช่น้ำตามเวลาอัตราการมีชีวิตส่วนใหญ่จะให้ปริมาณกาบาสูงกว่าข้าวฮางอกที่แช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเล็กน้อย แต่มีข้าวฮางอก ข้าวข 15 กับข้าวข 41 ที่มีปริมาณกาบาใกล้เคียงกับข้าวฮางอกที่แช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนข้าวฮางอกขาวดอกมะลิ 105 ที่แช่น้ำกลั่นตามเวลาอัตราการมีชีวิตมีปริมาณกาบาลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับข้าวฮางอกขาวดอกมะลิ 105 ที่แช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง (ตารางที่ 3) สำหรับข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำกลั่นตามเวลาอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์ร้อยละ 100 และไปบ่มเพาะงอกที่เวลาต่าง ๆ พบว่า ข้าวกล้องงอก ได้แก่ ข้าวข 1 ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมปทุม ข้าวข 15 ข้าวข 61 และข้าวข 41 แช่น้ำกลั่นตามเวลาอัตราการมีชีวิตที่เวลา 18, 10, 16, 14, 6, 14 และ 14 ชั่วโมง มีปริมาณกาบาสูงสุด 11.7, 12.7, 13.8, 11.7, 14.1, 12.5 และ 15.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมที่การบ่มเพาะงอกที่เวลา 48, 24, 36, 32, 32, 24 และ 28 ชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 3) จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมงกับข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำตามเวลาอัตราการมีชีวิตร้อยละ 100 แล้วนำไปบ่มเพาะงอกที่เวลาต่าง ๆ พบว่าให้ผลปริมาณกาบาสูงสุดที่ใกล้เคียงกันแต่ข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 ที่แช่น้ำตามเวลาอัตราการมีชีวิต จะมีปริมาณกาบาลดลงเล็กน้อย (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณกาบาสูงสุดของข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอก 7 สายพันธุ์ ที่แช่น้ำตามเวลาอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์ร้อยละ 100

สายพันธุ์ข้าว	ข้าวฮางอกที่แช่น้ำกลั่นตามเวลา อัตราการมีชีวิตสมบูรณ์ร้อยละ 100		ข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำกลั่นตามเวลา อัตราการมีชีวิตสมบูรณ์ร้อยละ 100	
	ปริมาณกาบาสูงสุด (มิลลิกรัม /100 กรัม)	เวลาบ่มเพาะงอกที่ ปริมาณกาบาสูงสุด (ชั่วโมง)	ปริมาณกาบาสูงสุด (มิลลิกรัม /100 กรัม)	เวลาบ่มเพาะงอกที่ ปริมาณกาบาสูงสุด (ชั่วโมง)
ข้าวชัยนาท 1	11.0 ± 0.1	44	11.7 ± 0.1	48
ข้าวเหลืองอ่อน	11.0 ± 0.2	24	12.7 ± 0.1	24
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	12.2 ± 0.1	44	13.8 ± 0.1	36
ข้าวหอมปทุม	12.9 ± 0.2	44	11.7 ± 0.2	32
ข้าวข 15	13.9 ± 0.0	40	14.1 ± 0.1	32
ข้าวข 61	13.1 ± 0.0	28	12.5 ± 0.1	24
ข้าวข 41	13.5 ± 0.1	44	15.1 ± 0.2	28

หมายเหตุ ค่าแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณกาบาสูงสุด มาจากการคำนวณค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

เมื่อพิจารณาระยะเวลารวมตั้งแต่แช่ข้าวในน้ำกลั่นจนถึงระยะเวลาบ่มเพาะงอกที่ให้ปริมาณ กาบาสูงสุดของข้าวทั้ง 7 สายพันธุ์ พบว่าข้าวฮางอก ได้แก่ ข้าวชัยนาท 1 ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมปทุม ข้าวข 15 ข้าวข 61 และข้าวข 41 ที่แช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและนำไปบ่มเพาะงอกจนถึงระยะเวลาที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุด ใช้เวลารวมทั้งหมดเป็น 68, 64, 72, 68, 60, 68 และ 72

ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4 ส่วนข้าวฮางอกที่แช่น้ำกลั่นตามเวลาอัตราการมีชีวิตและนำไปบ่มเพาะงอกจนถึงระยะเวลาที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุด ใช้เวลารวมทั้งหมดเป็น 64, 42, 64, 60, 48, 44 และ 66 ชั่วโมงตามลำดับ (ตารางที่ 4) สำหรับผลรวมเวลาทั้งหมดของข้าวกล้องงอกตั้งแต่แช่น้ำกลั่นจนถึงระยะเวลาบ่มเพาะงอกที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุดของข้าวกล้องงอกทั้ง 7 สายพันธุ์ พบว่าข้าวกล้องที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง และไปบ่มเพาะงอกจนถึงระยะเวลาที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุด ใช้เวลารวมทั้งหมดเป็น 64, 68, 60, 64, 60, 60 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 5 ส่วนข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำกลั่นตามเวลาอัตราการมีชีวิตและนำไปบ่มเพาะงอกจนถึงระยะเวลาที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุด ใช้เวลารวมทั้งหมดเป็น 66, 34, 52, 46, 38, 38 และ 42 ชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 4. ผลรวมเวลาทั้งหมดของข้าวฮางอกที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมงและแช่น้ำตามเวลาอัตราการมีชีวิต และเวลาบ่มเพาะงอกที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุด

พันธุ์ข้าว	ผลรวมเวลาทั้งหมดของข้าวฮางอกที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง			ผลรวมเวลาทั้งหมดของข้าวฮางอกที่แช่น้ำ ตามเวลาอัตราการมีชีวิต		
	เวลาแช่	เวลาบ่มเพาะงอกที่ให้ปริมาณกาบาสูง	เวลารวมทั้งหมด	เวลาแช่	เวลาบ่มเพาะงอกที่ให้ปริมาณกาบาสูง	เวลารวมทั้งหมด
ข้าวฮางอกชัยนาท 1	24	44	68	20	44	64
ข้าวฮางอกเหลืองอ่อน	24	40	64	18	24	42
ข้าวฮางอกขาวดอกมะลิ 105	24	48	72	20	44	64
ข้าวฮางอกหอมปทุม	24	44	68	16	44	60
ข้าวฮางอกกข 15	24	36	60	8	40	48
ข้าวฮางอกกข 61	24	44	68	16	28	44
ข้าวฮางอกกข 41	24	48	72	22	44	66

ตารางที่ 5 ผลรวมเวลาทั้งหมดของข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมงและแช่น้ำตามเวลาอัตราการมีชีวิต และเวลาบ่มเพาะงอกที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุด

พันธุ์ข้าว	ผลรวมเวลาทั้งหมดของข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง			ผลรวมเวลาทั้งหมดของข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำ ตามเวลาอัตราการมีชีวิต		
	เวลาแช่	เวลาบ่มเพาะงอกที่ให้ปริมาณกาบาสูง	เวลารวมทั้งหมด	เวลาแช่	เวลาบ่มเพาะงอกที่ให้ปริมาณกาบาสูง	เวลารวมทั้งหมด
ข้าวกล้องงอกชัยนาท 1	24	40	64	18	48	66
ข้าวกล้องงอกเหลืองอ่อน	24	44	68	10	24	34
ข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105	24	36	60	16	36	52
ข้าวกล้องงอกหอมปทุม	24	40	64	14	32	46
ข้าวกล้องงอกกข 15	24	36	60	6	32	38
ข้าวกล้องงอกกข 61	24	36	60	14	24	38
ข้าวกล้องงอกกข 41	24	24	48	14	28	42

ผลการเปรียบเทียบปริมาณกาบาระหว่างเมล็ดข้าวดิบที่ไม่ได้ผ่านการแช่น้ำและไม่ได้บ่มเพาะงอกกับเมล็ดข้าวที่ผ่านการแช่น้ำและบ่มเพาะงอกทั้งในข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกพบว่า เมล็ดที่แช่น้ำและผ่านการบ่มเพาะงอกทั้งในข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงกับที่แช่น้ำกลั่น

ตามเวลาอัตราการมีชีวิตแล้วไปบ่มเพาะงอกจะให้ปริมาณกาบาสูงกว่าเมล็ดข้าวดิบซึ่งสอดคล้องกับ Cho & Lim [3] ที่รายงานว่ากระบวนการทำให้ข้าวงอกจะมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในเมล็ด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมในเมล็ดข้าวและมีผลทำให้ข้าวที่บ่มเพาะงอกมีสารที่มีบทบาททางชีวภาพ เช่น กาบา เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้ถูกสังเคราะห์ในระหว่างการงอกสูงกว่าข้าวที่ไม่ได้บ่มเพาะงอก นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการวิจัยของวรัญญูและคณะ [20] ที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของข้าวหอมมะลิ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวดำ โดยพบว่าข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการงอกมีปริมาณกาบาเพิ่มขึ้น 1-4 เท่าเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการเพาะงอก เมื่อพิจารณาปริมาณกาบาสูงสุดของข้าวทั้ง 7 สายพันธุ์ พบว่าข้าวแต่ละสายพันธุ์ทั้งข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกมีปริมาณกาบาไม่เท่ากันสอดคล้องกับงานวิจัยของสำราญ พิมราช และคณะที่ได้ศึกษาปริมาณกาบาในข้าวพื้นเมือง 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเจ้าแดง ข้าวเจ้าเหลือง ข้าวเจ้าดอ ข้าวเจ้าส้มพันธุ์แดง และข้าวเจ้าโสมมาลี โดยพบว่าข้าวแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณกาบาแตกต่างกัน ข้าวเจ้าแดงมีปริมาณกาบามากที่สุด รองลงมาเป็นข้าวเจ้าส้มพันธุ์แดง ข้าวเจ้าโสมมาลี ข้าวเจ้าดอ และข้าวเจ้าเหลือง ตามลำดับ และข้าวกล้องงอกที่ทำมาจากข้าวพื้นเมืองแต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณแอไมโลสและแอไมโลเพกติน และการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการงอก [21]

โดยส่วนใหญ่ การทำข้าวเพาะงอกทำได้โดยนำข้าวกล้องหรือข้าวเปลือกมาแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ขึ้นไปแล้วจึงนำข้าวไปบ่มเพาะงอก แต่พบว่าข้าวที่ผ่านการแช่น้ำและใช้ระยะเวลาในการแช่มากจะมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสสูงขึ้น รวมทั้งระยะเวลาการบ่มเพาะที่มากขึ้นมีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสสูงมากขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งถ้าเอนไซม์ไลเพสสูงจะมีผลทำให้ข้าวเหน็นหืน [11] งานวิจัยนี้จึงเปรียบเทียบข้าวที่แช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมงกับข้าวที่แช่น้ำกลั่นตามเวลาที่เมล็ดมีอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์และนำไปบ่มเพาะงอกเป็นแบบข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ผลรวมของเวลาทั้งหมดตั้งแต่การแช่เมล็ดข้าวในน้ำจนถึงระยะเวลาบ่มเพาะงอกที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุดพบว่าทั้งข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำตามเวลาอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์ส่วนใหญ่ใช้เวลารวมทั้งหมดน้อยกว่าข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองมีความเป็นไปได้เนื่องจากในสภาวะที่ข้าวเกิดกระบวนการหายใจจะเกิดวิถีเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ขึ้น และมีการทำงานของไมโทคอนเดรียในการสร้างพลังงานในกระบวนการงอกและการเจริญเติบโต ดังนั้นการสังเคราะห์กาบาจะเกิดในบริเวณไซโทซอลของเซลล์พืชโดยเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส จากนั้นกาบาในไซโทซอลจะถูกขนส่งไปยังไมโทคอนเดรีย และเปลี่ยนเป็นซักซินิก เอมิแอลดีไฮด์ จากการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ซักซินิก เอมิแอลดีไฮด์ ดีไฮโดรจีเนส และเปลี่ยนเป็นรูปเป็นซักซินेट เพื่อเข้าสู่วัฏจักรไตรคาร์บอกซิลิกซึ่งอยู่ในกระบวนการหายใจต่อไป [4] จากการศึกษาการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลสของข้าวไทย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 และพิษณุโลก 2 พบว่าข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์ที่ผ่านการแช่น้ำและนำไปบ่มเพาะงอกจะให้ปริมาณกาบาสูงและกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส สูงขึ้นด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ได้แช่น้ำ ดังนั้นน้ำและความชื้นจึงมีผลในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซิเลส [22] จากผลงานวิจัยนี้แสดงว่าข้าวไม่จำเป็นต้องแช่นานถึง 24 ชั่วโมง เนื่องจากการที่ปริมาณกาบาเพิ่มสูงขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของข้าว ส่งผลให้ความชื้นเข้าไปทำให้เกิดกระบวนการทางชีวเคมีภายในเมล็ด การแช่น้ำตามเวลาที่ทำให้อัตราการมีชีวิตที่

สมบูรณ์ของข้าวเพื่อให้ได้ระยะเวลาที่ข้าวเกิดกระบวนการหายใจสมบูรณ์ ทำให้ระบบเอนไซม์และออร์แกเนลล์ต่างๆ ภายในเซลล์ทำงาน จากนั้นนำไปเพาะงอกเพื่อหาระยะเวลาที่เมล็ดมีปริมาณกาบาสูงสุด เพื่อใช้เป็นข้อมูลการลดเวลาตั้งแต่การแช่น้ำถึงการบ่มเพาะงอกของข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ ซึ่งจากงานวิจัยของสายใจ ปอสูงเนิน และ ชีระ ธรรมวงศา [23] ได้ศึกษาปริมาณกาบาจากข้าวพื้นเมืองในจังหวัดนครราชสีมาจำนวน 10 สายพันธุ์ โดยนำข้าวกล้างแช่น้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมงและนำไปบ่มเพาะงอกเป็นเวลา 21 ชั่วโมงพบว่าปริมาณกาบาสูงขึ้น ซึ่งข้าวแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณสารกาบาแตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับชนิดสายพันธุ์ของข้าว

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาระยะเวลาที่มีอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์และปริมาณกาบาในข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกของข้าว 7 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวชัยนาท 1 ข้าวเหลืองอ่อน ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมปทุม ข้าวกข 15 ข้าวกข 61 และ ข้าวกข 41 ที่แช่น้ำตามเวลาของอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์เปรียบเทียบกับการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สรุปได้ว่าข้าวแต่ละสายพันธุ์มีระยะเวลาที่มีอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์จากการทดสอบอัตราการหายใจด้วยวิธีเทระโซเลียมต่างกัน ซึ่งจากผลการทดสอบอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์โดยพิจารณาจากการติดสีแดงของฟอรัมาซานทุกเมล็ดพบว่า ข้าวกข 15 ทั้งในข้าวเปลือกและข้าวกล้องใช้ระยะเวลาในการแช่น้อยที่สุด คือ 8 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ ข้าวดิบที่ไม่ได้บ่มเพาะงอกทั้ง 7 สายพันธุ์มีปริมาณกาบา 4.9, 7.4, 6.9, 7, 4, 8.5 และ 6.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ปริมาณกาบาทั้งข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง และแช่น้ำตามอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์จะให้ปริมาณกาบาส่งกว่าข้าวที่ไม่ได้บ่มเพาะงอกประมาณ 1.5-3.5 เท่า และข้าวที่ผ่านการบ่มเพาะงอกแต่ละสายพันธุ์ให้ปริมาณ กาบาสูงสุดที่ระยะเวลากการบ่มเพาะงอกต่างกันโดยข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวกข 15 และข้าวกข 41 จะให้ปริมาณกาบาส่งกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกาบาสูงสุดของข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมงกับข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำตามเวลาอัตราการมีชีวิตสมบูรณ์มีปริมาณกาบาใกล้เคียงกัน สำหรับผลรวมระยะเวลาดังแต่การแช่น้ำถึงระยะเวลากการบ่มเพาะงอกที่ให้ปริมาณกาบาส่งสุดพบว่าข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำตามเวลาอัตราการมีชีวิตที่สมบูรณ์ส่วนใหญ่ใช้เวลาน้อยกว่าข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง

ผลจากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบข้อมูลในการนำข้าวจากแหล่งท้องถิ่นมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวทั้งในรูปข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอก และเป็นแนวทางนำไปสู่การนำข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ให้คุณค่าทางอาหารสูงได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] นงนุช วงศ์สินชวน. 2555. การเพาะข้าวกล้องงอก. *วารสารภูมิแล*, 33(2), 57-62. [Nongnuch Wongsinchuan. 2012. Germinated brown rice cultivation. *Rusamilae Journal*, 33(2), 57-62. (in Thai)]
- [2] มณฑนา นครเรียบ. 2555. ประโยชน์ที่ดีต่อสุขภาพของข้าวกล้องงอกและข้าวฮางอก. *วารสารวิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี*, 9(1), 69-79. [Muntana Nakornriab. 2012. Health benefits of germinated brown rice and germinated parboiled rice. *The science journal of Phetchaburi Rajabhat University*, 9(1), 69-79. (in Thai)]
- [3] Cho, D.H. and Lim, S.T. 2016. Germinated brown rice and its bio-funtional compounds. *Food Chemistry*, 196, 259-271.
- [4] Shelp, B.J., Bown, A.W. and Mclean, M.D. 1999. Metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid. *Trends in Plant Science*, 4(11), 446-452.
- [5] Olsen, R.W., 2002. Neuropsychopharmacology: The Fifth Generation of Progress. 5th ed, Lippincott Williams & Wilkins (LWW), American College of Neuropsychopharmacology.
- [6] Tillakaratne, N.J.k., Medina-Kauwe, L. and Gibson, K.M. 1995. Gamma-Aminobutyric acid (GABA) metabolism in mammalian neural and nonneural tissues. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 112A(2), 247-263.
- [7] Gan, R.Y., Lui, W.Y., Wu, K., Chan, C.L., Dai, S.H., Sui, Z.Q. and Corke, H. 2017. Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 1-14.
- [8] จันทพร ทองเอกแก้ว. 2558. คุณประโยชน์ของสารกาบาที่มีต่อสุขภาพ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 43(2), 205-211. [Jantaporn Tongekkaew. 2015. A greatly useful of GABA for health. *Khon Kaen University science journal*, 43(2), 205-211. (in Thai)]
- [9] Karladee, D. and Suriyong, S. 2012. γ -Aminobutyric acid (GABA) content in different varieties of brown rice during germination. *ScienceAsia*, 38, 13-17.
- [10] ชรินรัตน์ เจียนแข่ง, เกรียงไกร พัทธการ และอรัญญา พรหมกุล. 2561. ผลของระยะเวลาในการงอกต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมด กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณกาบาของข้าวฮางอก. *วารสารแก่นเกษตร*, 46 (ฉบับพิเศษ 1), 19-24. [Charinrat Chienseng, Kriangkrai Phattayakorn and Arunya Prommakool. 2018. Effect of germination time on total phenol content, antioxidant activity and GABA content of germinated hang rice. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46 (Supplement Issue 1), 19-24. (in Thai)]
- [11] นฤมล ลอยแก้ว, เบ็ญจรัก วายุภาพ และวราพร ลักษณะม้าย. 2557. การศึกษาสภาวะในการแช่ข้าวฮางอกเพื่อลดการหมื่นหื่นของแป้งข้าวฮางอกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยรังสิต, ประจำปี 2557, มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี, 320-327.

- [Narumon Loikaeo, Benjarak Vayupharp and Varaporn Laksanalamai. 2014. Effects of soaking conditions in the process of germinated parboiled brown rice (GPBR) on the reduction of rancidity in GPBR flour for bakery industry. RSU National Research Conference 2014, Rangsit University, Pathum Thani, 320-327. (in Thai)]
- [12] Carvalho, T.C., Grzybowski, C.R., Ohlson, O.de.C., Panobianco, M. 2014. Adaptation of the tetrazolium test method for estimating the viability of sorghum seeds. *Journal of Seed Science*, 36(2), 246-252.
- [13] Zhang, Q., Xiang, J., Zhang, L., Zhu, X., Evers, J., Van der Werf W. and Duan, L. 2014. Optimizing soaking and germination conditions to improve gamma-aminobutyric acid content in japonica and indica germinated brown rice. *Journal of Functional Foods*, 10, 283-291.
- [14] Vankus, V.N.D. 1997. The Tetrazolium estimated viability test for seeds of native plants. commonly used to evaluate seed viability is the tetrazolium or TZ test. Available at: https://rngr.net/publications/proceedings/1997/vankus.pdf/at_download/file. Retrieved 15 March 2021.
- [15] França-Neto, J.B. and Krzyzanowski, F.C. 2019. Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. *Journal of Seed Science*, 41(3), 359-366.
- [16] Trung, P.Q. and Ha, N.C. 2016. Changes of chemical properties and functional compounds during the germination of various brown rice in Mekong Delta, Viet Nam. *Journal of Agriculture and Food Technology*, 6(2), 1-6.
- [17] ศานิต สวัสดิ์กาญจน์, สุวิทย์ เทียรทอง, เนาวรัตน์ ประดับเพ็ชร และสิริวรรณ สมิตธิอาภรณ์. 2553. ลักษณะทางกายภาพและสรีรวิทยาของเมล็ดข้าวปลูกและข้าววัชพืช. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 41(3/1)(พิเศษ), 505-508. [Sanit Sawatdikarn, Suwit Teanthong, Naowarat Pradabpet and Siriwan Samithiarporn. 2010. Seed physical and physiological characteristics of cultivated and weedy rice. *Agricultural Science Journal*, 41(3/1)(Supplement), 505-508. (in Thai)]
- [18] จุฑามาส ฟักทองพรรณ. 2559. การเตรียมความพร้อมเมล็ดเพื่อความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม. *วารสารวิชาการเกษตร*, 34(2), 196-210. [Juthamas Fakthonphan. 2016. Seed priming for unfavorable condition tolerance. *Thai Agricultural Research Journal*, 34(2), 196-210. (in Thai)]
- [19] จินดา จันดาเรือง และสุทธิเดช ปรีชารัมย์. 2559. ปริมาณสารกาบาและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของข้าวฮางอกและข้าวกล้องงอกจังหวัดสกลนคร. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, ครั้งที่ 13, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 1800-1808. [Jinda Jandaruang and Sutthidech Preecharram. 2016. Gamma aminobutyric acid and total phenolic

- compounds on antioxidant activity of germinated brown rice of Sakon Nakhon province parboiled rice and germinated brown rice of Sakon Nakhon province. Proceedings of the 13th KU-KPS Conference, Nakhon Pathom, 1800-1808. (in Thai)]
- [20] วรัมพร วงศ์สุติน, พัชรารักษ์ รัตนธรรม, ณัฏฐา เล่ากุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. 2555. การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญในข้าวกล้องงอก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 43(2)(พิเศษ), 553-556. [Voramporn Wongsudin, Patcharaporn Ratthanatham, Nutta Laohakunjit and Orapin Kerdchoechuen. 2012. Change of bioactive compounds in germinated rice. *Agricultural Science Journal*, 43(2)(Supplement), 553-556. (in Thai)]
- [21] สำราญ พิมราช, สุรินทร์ บุตรศาสตร์, ชีระรัตน์ ชินแสน และถวัลย์ เกตมาลา. 2558. ปริมาณกาบาและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอกพันธุ์พื้นเมือง 5 สายพันธุ์. วารสารเกษตรพระวรุณ, 12(1), 35-40. [Sumran Pimratch, Sunan Butsat, Theerarat Chinnasaen and Thawan Ketmala. 2015. GABA content and antioxidant activity of five local germinated brown rice varieties. *Prawarun Agricultural Journal*, 12(1), 35-40. (in Thai)]
- [22] Khwanchai, P., Chinprahast, N., Pichyangkura, R. and Chaiwanichsiri, S. 2014. Gamma-aminobutyric acid and glutamic acid contents, and the GAD activity in germinated brown rice (*Oryza sativa* L.): effect of rice cultivars. *Food Science and Biotechnology*, 23(2), 373-379.
- [23] สายใจ ปอสูงเนิน และธีระ ธรรมวงศา. 2561. องค์ประกอบทางเคมีบางประการ และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของข้าวพื้นเมืองในจังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 23(2), 971-984. [Saijai Posoongnoen and Theera Thummavongsa. 2018. Some chemical compositions and antioxidant properties of local rice in Nakhon Ratchasima Province, Thailand. *Burapha Science Journal*, 23(2), 971-984. (in Thai)]