

ผลของกระบวนการทางชีวภาพต่อปริมาณสารกาบาและสารประกอบฟีนอลิก ในข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็ก

Effect of Biological Process on γ -aminobutyric Acid and Phenolic Compounds Content of Tubtim Chumpare and Sinlek Brown Rice

จันทพร ทองเอกแก้ว* และ เชาวณี ปรีอปรัก

Jantaporn Thongekkaew* and Chowwanee Pruepruk

Received: 19 April 2022, Revised: 24 November 2022, Accepted: 13 December 2022

บทคัดย่อ

จากคุณประโยชน์ของสารแกมมา อะมิโนบิวทิริก (สารกาบา) ที่ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทชนิดยับยั้งที่สำคัญในระบบประสาทของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและสารประกอบฟีนอลิกซึ่งมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการทางชีวภาพต่อปริมาณสารแกมมา อะมิโนบิวทิเรต และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและข้าวกล้องพันธุ์สินเหล็ก โดยการนำข้าวมาผ่านการทำให้งอกและนำไปหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพ มีปริมาณสารกาบาสูงที่สุด เท่ากับ 2.866 ± 0.324 มิลลิกรัมต่อกรัม ในสถานะที่ข้าวกล้องผ่านกระบวนการงอก โดยมีปริมาณสูงกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก (0.723 ± 0.174 มิลลิกรัมต่อกรัม) ประมาณ 4 เท่า ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบการผลิตสารกาบาในข้าวกล้องพันธุ์สินเหล็กที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. และไม่ผ่านทั้งการงอกและการหมัก พบว่า ปริมาณสารกาบาในข้าวที่ผ่านการงอกและการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นประมาณ 23 เท่า (0.254 ± 0.053 เป็น 5.880 ± 0.207 มิลลิกรัมต่อกรัม) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพ มีปริมาณสูงสุดในสถานะข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก เท่ากับ 28.313 ± 0.506 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม ส่วนพันธุ์สินเหล็ก พบปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 5.624 ± 0.603 เป็น 8.212 ± 0.458 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม ในสถานะที่ข้าวกล้องผ่านการงอกและนำไปหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กระบวนการทางชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณสารกาบาได้ในข้าวกล้องทั้งสองพันธุ์ และเพิ่มสารประกอบฟีนอลิกในข้าวกล้องพันธุ์สินเหล็กได้ จึงเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในข้าว อันจะสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ข้าวกล้อง, สารกาบา, สารฟีนอลิก, แลคโตบาซิลลัส

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon-Ratchathani University, Warinchumrap, Ubon-Ratchathani 34190, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): jantaporn.t@ubu.ac.th

ABSTRACT

Gamma-aminobutyric acid (GABA) serves as a major inhibitory neurotransmitter in mammalian nervous systems and phenolic compounds act as antioxidants. Hence, the purpose of this research was to study the effect of biological process on γ -aminobutyric acid and phenolic compounds content of Tubtim Chumpare and Sinlek brown rice by allowing both rice species on germination and following *Lactobacillus* sp. fermentation. The highest GABA content in Tubtim Chumpare of 2.866 ± 0.324 mg. g^{-1} was found at the conditions under germinated rice which was 4-fold higher than that of brown rice without germination (0.723 ± 0.174 mg. g^{-1}) while comparison of Sinlek brown rice with and without germination and following *Lactobacillus* sp. fermentation, GABA production of brown rice with germination and following 12 h of fermentation increased more than 23-fold (0.254 ± 0.053 to 5.880 ± 0.207 mg. g^{-1}). For the total phenolic compounds content analysis, the result showed that Tubtim Chumpare brown rice gave the highest amount at the conditions of brown rice without germinated process (28.313 ± 0.506 mg gallic acid equivalent. g^{-1}) whereas Sinlek brown rice increased from 5.624 ± 0.603 to 8.212 ± 0.458 mg gallic acid equivalent. g^{-1} after germination and following 24 h of fermentation. These results indicate that biological processes can enhance GABA production in both brown rice and increase total phenolic compounds content in Sinlek brown rice which could improve the nutritional value for nutraceutical product development in the future.

Key words: brown rice, GABA, phenolic compounds, *Lactobacillus* sp.

บทนำ

ข้าวจัดเป็นอาหารหลักของคนไทย โดยการนำมาหุง ต้ม นึ่งโดยตรง ปัจจุบันการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำข้าวกล้องมาผ่านกระบวนการงอก กำลังได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการงอกชักนำให้เกิดกระบวนการเมแทบอลิก (metabolic) ในเมล็ดข้าว มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแป้ง และโปรตีน รวมถึงกิจกรรมของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายในเอนโดสเปิร์ม (Palmiano and Juliano, 1972) การเปลี่ยนแปลงนี้มีผลให้ในข้าวกล้องงอกพบสารที่มีบทบาททางชีวภาพสูงกว่าข้าวกล้อง เช่น กรดแกมมา-อะมิโนบิวทิริก หรือกาบา ที่สังเคราะห์ขึ้นจากกรดกลูตามิก (glutamic acid) โดยมี

เอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase, GAD) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทชนิดยับยั้ง (inhibitory neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง อีกทั้งในทางการแพทย์ได้มีการนำมาใช้รักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาทต่าง ๆ หลายโรค เช่น โรคนอนไม่หลับ โรควิตกกังวล และโรคซึมเศร้า มีผลช่วยลดความดันโลหิตลด LDL (Low density lipoprotein) ลดอาการอัลไซเมอร์ และยับยั้งการสร้างเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว (Thongekkaew, 2015) นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อเมล็ดข้าวงอกจะเกิดการย่อยสลายอาหารที่เก็บไว้ในเมล็ดข้าวตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดเล็กโมเลกุลเล็กลง และน้ำตาลรีดิวซ์ ส่วนโปรตีนในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์

รวมทั้งยังพบสารเคมีสำคัญต่าง ๆ มากมาย เช่น แกมมา-ออริซานอล (gamma-oryzanol) โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโคไตรีโนล (tocotrienol) สารประกอบฟีนอลิกที่มีประโยชน์ต่อร่างกายในการช่วยลดความดันโลหิต ป้องกันการเกิดฝ้า ลดริ้วรอยเหี่ยวย่นของผิว ชะลอความแก่ เป็นต้น (Pamsakhorn and Lungapin, 2013)

จากรายงานวิจัยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการผลิตข้าวกล้องงอกให้มีสารกาบาสูง ขึ้นอยู่กับสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ เวลาในการแช่ เวลาการเพาะงอก อุณหภูมิ และพีเอชที่เหมาะสม โดยปริมาณสารกาบาจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับข้าวแต่ละสายพันธุ์ (Kinnersley and Turano, 2000; Komatsuzaki *et al.*, 2007; Khwanchai *et al.*, 2014) นอกจากการนำข้าวกล้องมาทำให้เกิดการงอกซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวภาพทางหนึ่งส่งผลให้ปริมาณสารกาบาในข้าวเพิ่มขึ้นแล้ว ยังมีรายงานวิจัยพบว่าการหมักด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม *Lactobacillus* sp. สามารถเพิ่มปริมาณเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส ซึ่งจะส่งผลให้มีการสังเคราะห์สารกาบาได้ (Dat *et al.*, 2017; Wongwai *et al.*, 2018) รวมทั้งการหมักด้วยจุลินทรีย์ยังสามารถทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้นได้เช่นกัน (Le *et al.*, 2019)

ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กลายพันธุ์จากรังสี ทรงต้นเตี้ย (Semi-dwarf KDML105) ที่มีลักษณะต้านทานต่อโรคไหม้ไม่ไวต่อช่วงแสงกับข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยด จากรายงานวิจัยการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง ข้าวกล้องสีแดง เมล็ดยาว คุณภาพการสีดี มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และวิตามินอี โดยเฉพาะ α -Tocopherol และ γ -Oryzanols สูง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมาก (ค่า IC_{50} เท่ากับ 2.68 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และมี

ความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กสูง (3.89 มิลลิโมลาร์ต่อกรัมของตัวอย่าง) (Department of Agriculture, 2017) สำหรับข้าวพันธุ์สินเหล็กได้จากผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิล กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวสีชาวมียกกลิ่นหอม รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ไม่ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้ตลอดทั้งปี มีความต้านทานต่อโรคไหม้ มีดัชนีน้ำตาล ต่ำ-ปานกลาง เมื่อนำมาทดลองบริโภคในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวาน พบว่า การบริโภคข้าวกล้องสินเหล็ก ช่วยแก้ปัญหาเบาหวานได้ ทำให้สถานะคือต่อ insulin ลดลงและการทำงานของตับอ่อนดีขึ้น รวมทั้งทำให้ค่าเฉลี่ยของ triglyceride ลดลง นอกจากนี้ ข้าวพันธุ์สินเหล็กยังมีธาตุเหล็กในเมล็ดสูง ผ่านการประเมินคุณสมบัติความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็ก ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและในมนุษย์ โดยพบว่าการส่งเสริมการบริโภคข้าวพันธุ์สินเหล็กในเด็กนักเรียนที่มีภาวะพร่องธาตุเหล็กทำให้ระดับ hemoglobin มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Rice Science Center, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, 2019)

จากลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ และพันธุ์สินเหล็กที่มีคุณค่าทางโภชนาการในเบื้องต้น และคุณสมบัติของสารกาบา และสารประกอบฟีนอลิกที่มีต่อร่างกาย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการทางชีวภาพต่อปริมาณสารแกมมา อะมิโนบิวทิเรต และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็ก โดยการนำข้าวมาผ่านการทำให้งอกและนำไปหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. เพื่อเพิ่มปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทิเรต และสารประกอบฟีนอลิก เพื่อนำไปสู่การสร้างมูลค่าเพิ่มในข้าว โดยสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้ในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมข้าวผ่านกระบวนการงอก

นำข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพจากแหล่งเพาะปลูก จังหวัดเชียงราย และพันธุ์สินเหล็กจากแหล่งเพาะปลูก จังหวัดพิษณุโลก มาล้างให้สะอาด 1-2 ครั้ง คัดสิ่งเจือปนและเมล็ดข้าวที่หักออกด้วยตะแกรงร่อน จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการงอก โดยเริ่มจากแช่ข้าวในถังให้น้ำเหนือข้าวประมาณ 10 เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (เปลี่ยนน้ำแช่ทุก ๆ 4-6 ชั่วโมง) จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการแช่ไว้ในถังกระสอบ บ่มไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง (ล้างข้าวในถังโดยนำไปผ่านน้ำทุก ๆ 8 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นให้ข้าวงอกและไม่ให้เกิดการหมักจากความร้อน) เมื่อข้าวกล้องเกิดการงอกแล้ว นำมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด จากนั้นนำไปอบด้วยถ้วยตุ๋นลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้น จะได้ข้าวกล้องงอกสำหรับนำไปใช้ทดสอบขั้นต่อไป

2. การแยกเชื้อ *Lactobacillus* sp.

นำปลาต้มจำนวน 25 กรัม มาเคี้ยวสลาย NaCl เข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 225 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเจือจาง แบบ serial dilution ที่ระดับความเจือจาง 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} และ 10^{-5} ตามลำดับ นำระดับความเจือจางที่ 10^{-4} และ 10^{-5} มาคัดแยกและตรวจนับแบคทีเรียกรดแลคติก ด้วยเทคนิคการเกลี่ย (spread plate) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar ที่เติมสาร monosodium glutamate เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ และสาร CaCO_3 เข้มข้น 0.50 เปอร์เซ็นต์ ระดับความเจือจางละ 3 ซ้ำ โดยดัดแปลงจากวิธีของ Kim and Kim (2012) และ Vangpikul and Itsaranuwat (2021) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจสอบลักษณะโคโลนีที่มีบริเวณใส (clear zone) ทำการคัดแยกโคโลนีมาทำให้บริสุทธิ์ จากนั้นนำเชื้อบริสุทธิ์มาจัดจำแนกเชื้อ *Lactobacillus* sp โดย

วิธีทดสอบทางชีวเคมีและตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโคโลนีภายใต้กล้องจุลทรรศน์ นำเชื้อที่คัดแยกได้ใช้ในขั้นตอนต่อไป

3. การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์และข้าวผ่านกระบวนการหมัก

ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Lactobacillus* sp. ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปรับความเข้มข้นเท่ากับ McFarland standard No. 0.5 ซึ่งมีจำนวนเชื้อประมาณ 1.5×10^8 CFU/มิลลิลิตร จากนั้นนำเชื้อปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมนลงในตัวอย่างข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็ก ที่ผ่านกระบวนการงอกและอบแห้ง ตัวอย่างละ 30 กรัม ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 0, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง (Marin *et al.*, 2012) เมื่อครบกำหนดเวลาในการบ่มแต่ละช่วงเวลา นำตัวอย่างที่ผ่านการหมักไปอบให้แห้งด้วยถ้วยตุ๋นลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านการอบนำไปบดด้วยเครื่องบดละเอียด และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh) เก็บในโถดูดความชื้น (desiccator) ก่อนนำไปสกัดเพื่อวิเคราะห์สารที่สำคัญต่อไป

4. การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

นำข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก และข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมักในแต่ละเวลาของข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพมาบดให้ละเอียด จากนั้นนำมาร้อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh) ซ้ำตัวอย่างแต่ละชนิด ประมาณ 5 กรัม ลงในขวดแก้วสีชา เติมนีโอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไประเหย ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เก็บสารสกัดในขวดสีชาที่มีฝาปิด ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

5. การวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา

ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา โดยดัดแปลงจากวิธีของ Karladee and Suriyong (2012) โดยปีเปตสารตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐาน GABA ที่ความเข้มข้น 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 และ 1.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลาย 0.2 M Borate buffer (pH 9) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และสารละลาย Phenol reagent เข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปแช่ในอ่างน้ำเย็นเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติม Sodium hypochlorite reagent เข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำมาแช่ในอ่างน้ำเย็น 5 นาที จากนั้นนำไปต้มในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95-98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลเป็น blank และคำนวณปริมาณสารกาบา โดยเทียบกับกราฟของสารมาตรฐาน GABA

6. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยดัดแปลงจากวิธีของ Moongngarm and Saetung (2010) โดยปีเปตสารสกัดตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) ที่ความเข้มข้น 0, 0.05, 0.10, 0.30, 0.50, 0.70 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ใส่หลอดทดลอง เติมน้ำกลั่นปริมาตร 980 ไมโครลิตร เติมสารละลาย Folin Ciocalteu phenol reagent เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 250 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน

และเติม Na_2CO_3 เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางไว้ในที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร และคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟของสารมาตรฐานกรดแกลลิก

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดสอบปริมาณสารกาบา และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ($n=3$) นำค่ามาหาค่าเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การงอกของข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและข้าวพันธุ์สินเหล็ก

เมื่อนำข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพ และข้าวพันธุ์สินเหล็ก ที่ผ่านการล้างให้สะอาด คัดสิ่งเจือปน เมล็ดข้าวที่หักออก มาผ่านการแช่น้ำนานเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ข้าวมีการขยายตัวจากการอมน้ำ และจมูกข้าวมีการพองตัวขึ้น จากนั้นเมื่อนำข้าวที่แช่น้ำไว้ในถุงกระสอบ บ่มไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นให้ข้าวงอก พบว่า ข้าวกล้องมีการงอกเกิดขึ้น โดยความยาวของรากจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่ม ลักษณะเดียวกันทั้งสองพันธุ์ ดังภาพที่ 1

ระยะเวลาการบ่ม (ชั่วโมง)

0 4 10 12 14 16 18 20 22 24

(ก)

(ข)



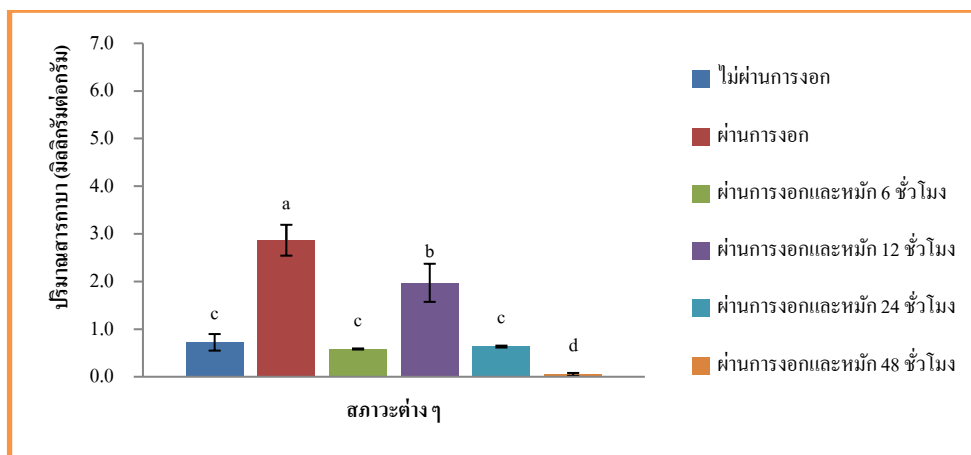
ภาพที่ 1 การงอกของข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็ก (ก) พันธุ์ทับทิมชุมแพ (ข) พันธุ์สินเหล็ก

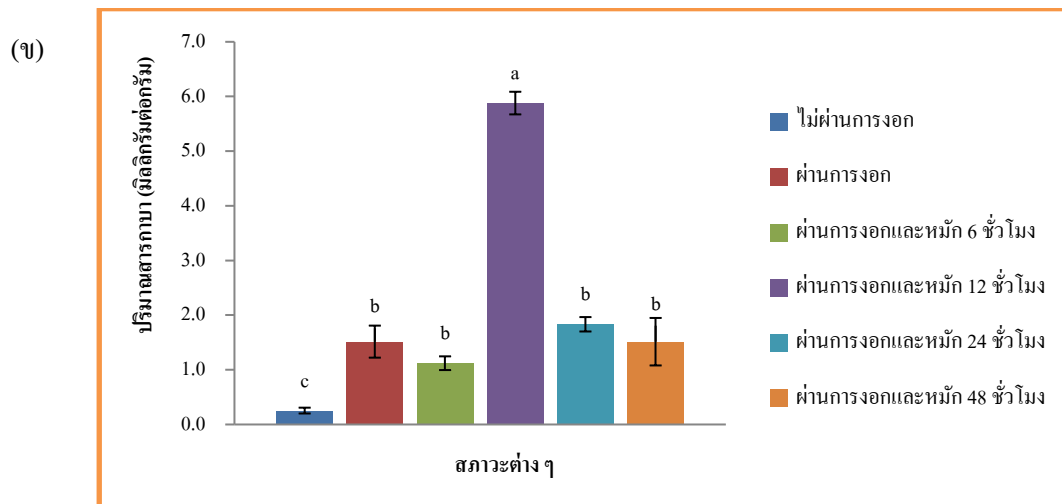
2. ปริมาณสารกาบาของข้าวที่สภาวะต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารกาบาจากข้าวกล้องข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ ที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก ผ่านกระบวนการงอกและการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. ในแต่ละช่วงเวลา ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารกาบามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.050-2.866 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยสภาวะที่พบปริมาณสารกาบาส่งที่สุด คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก (2.866 ± 0.324 มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมา คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (1.972 ± 0.400 มิลลิกรัมต่อกรัม) ส่วนข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบปริมาณสารกาบา

น้อยที่สุด (0.050 ± 0.030 มิลลิกรัมต่อกรัม) ในขณะที่ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมักมีปริมาณ 0.723 ± 0.174 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณสารกาบาในข้าวพันธุ์สินเหล็ก พบว่า ปริมาณสารกาบามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.254-5.880 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยสภาวะที่พบปริมาณสารกาบาส่งที่สุด คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (5.880 ± 0.207 มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมา คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (1.833 ± 0.132 มิลลิกรัมต่อกรัม) ในขณะที่ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก ให้ปริมาณสารกาบาค้างต่ำที่สุด (0.254 ± 0.053 มิลลิกรัมต่อกรัม) ดังภาพที่ 2

(ก)





ภาพที่ 2 ปริมาณสารกาบาในแต่ละสถานะของข้าวกล้อง (ก) พันธุ์ทับทิมชุมแพ (ข) ข้าวพันธุ์สินเหล็ก
หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ)

จากผลการศึกษาปริมาณสารกาบาของข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็ก ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยการนำข้าวมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งและการหมักด้วย *Lactobacillus* sp. พบว่า ข้าวแต่ละสายพันธุ์ให้ปริมาณสารกาบาแตกต่างกันในแต่ละสถานะ โดยข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพที่สถานะการผ่านกระบวนการงอก พบปริมาณสารกาบาสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก ประมาณ 4 เท่า (0.723 ± 0.174 เป็น 2.866 ± 0.324 มิลลิกรัมต่อกรัม) ส่วนข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกและหมักด้วย *Lactobacillus* sp. เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบปริมาณสารกาบาสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก ประมาณ 2.7 เท่า (0.723 ± 0.174 เป็น 1.972 ± 0.400 มิลลิกรัมต่อกรัม) ส่วนข้าวพันธุ์สินเหล็กที่ผ่านกระบวนการงอก พบปริมาณสารกาบาสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก ประมาณ 6 เท่า (0.254 ± 0.053 เป็น 1.516 ± 0.293 มิลลิกรัมต่อกรัม) และข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกและหมัก เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะมีปริมาณสารกาบาสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก

ประมาณ 23 เท่า (0.254 ± 0.053 เป็น 5.880 ± 0.207 มิลลิกรัมต่อกรัม) ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า กระบวนการงอกของข้าวส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณสารกาบาในข้าวทั้งสองสายพันธุ์ โดยที่ปริมาณการเพิ่มขึ้นของสารกาบาในข้าวแต่ละพันธุ์จะต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากข้าวแต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบของสารกาบาเริ่มต้น รวมทั้งสารตั้งต้นในการนำไปผลิตเป็นสารกาบา เช่น กรดกลูตามิก ในเมล็ดข้าวที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Saikusa *et al.* (1994); Roohinejad *et al.* (2009); Kamara *et al.* (2010) พบว่า ปริมาณสารกาบาเริ่มต้นที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว มีปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความแตกต่างด้านพันธุกรรมของสายพันธุ์ข้าว สถานะการปลูก และปริมาณกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kinnersley and Turano (2000); Komatsuzaki *et al.* (2007); Khwanchai *et al.* (2014) ที่พบว่า กระบวนการงอก เช่น ระยะเวลาการแช่น้ำ และการบ่มให้ข้าวงอก มีผลต่อการเพิ่มปริมาณสารกาบาในข้าวทุกสายพันธุ์ รวมทั้งในพืชชนิดอื่น ๆ เช่น ข้าวสาลี (Nagaoka, 2005) และข้าวโอ๊ต (Xu *et al.*, 2010) เป็นต้น นอกจากนี้

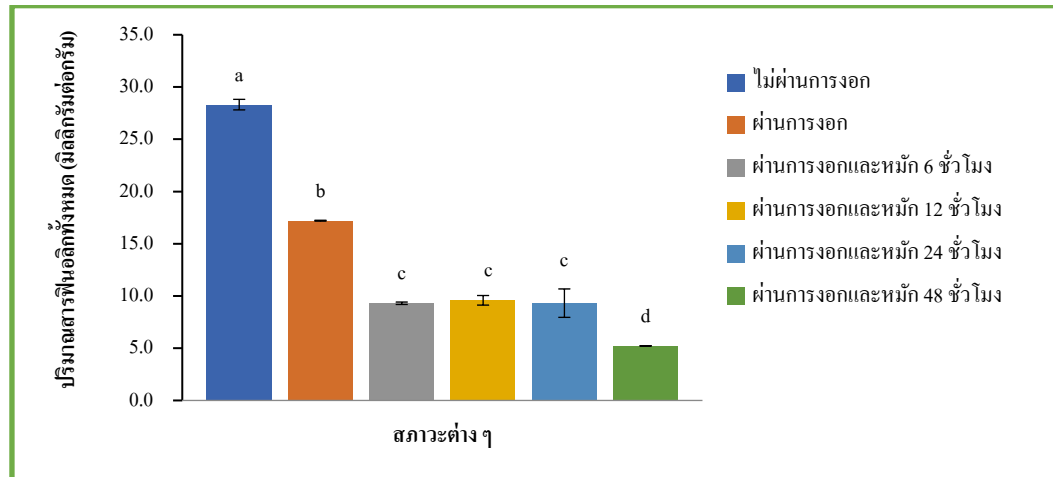
ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณสารกาบาแล้ว ผลการทดลองยังพบว่า การหมักด้วย *Lactobacillus* sp. สามารถเพิ่มปริมาณสารกาบาในข้าวพันธุ์สินเหล็กได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dat *et al.* (2017) ที่พบว่า เมื่อทำการหมักสารสกัดจากรำข้าวที่มีการคังไขมันออกด้วยเชื้อ *Lactobacillus brevis* VTCC – B – 454 สามารถผลิตสารกาบาได้ 2952 ppm จากการหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kantachote *et al.* (2016) ที่มีการผลิตแทนนิน โดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธุ์บริสุทธิ์ *L. namurensis* สามารถผลิตกาบาได้เท่ากับ 396.20 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และงานวิจัยของ Meengoenlad *et al.* (2021) ศึกษาความสามารถของการใช้แบคทีเรียกรดแลคติก *L. plantarum* L10-11 ในการผลิตกาบาในกระบวนการหมักแทนนิน พบว่า สามารถผลิตแทนนินที่มีปริมาณกาบาสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ประมาณ 72 เท่า

3. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวที่สถานะต่าง ๆ

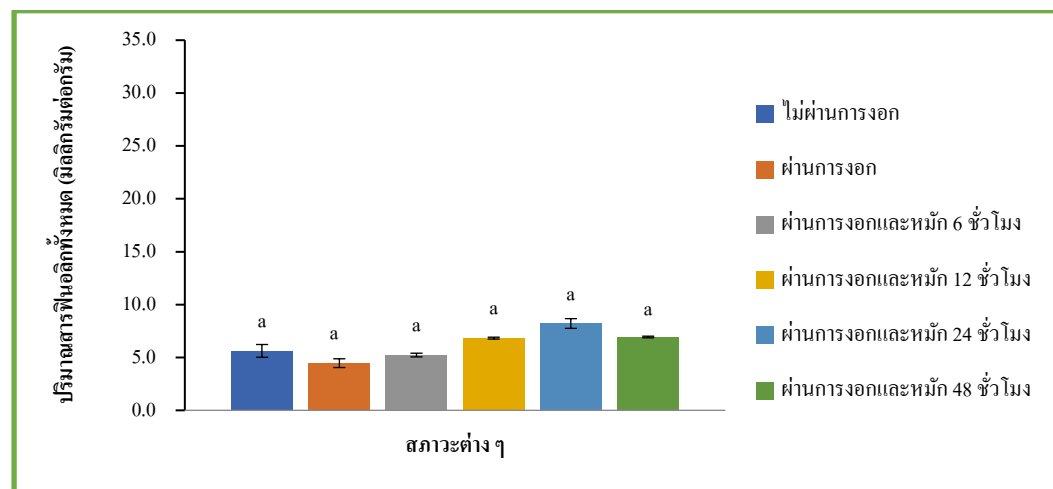
จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก ผ่านกระบวนการงอกและการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. ในแต่ละช่วงเวลา ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p \leq 0.05$) คือมีปริมาณอยู่ในช่วง 5.223–28.313 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม โดยสถานะที่พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือสถานะข้าวกล้องที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก (28.313 ± 0.506 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) รองลงมา คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก (17.207 ± 0.042 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) ในขณะที่ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารฟีนอลิกต่ำที่สุด (5.223 ± 0.009 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) สำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวพันธุ์สินเหล็ก พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีปริมาณอยู่ในช่วง 4.460–8.212 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม โดยสถานะที่พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (8.212 ± 0.458 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) รองลงมา คือ ข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกและการหมัก เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (6.936 ± 0.079 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) ในขณะที่ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 5.624 ± 0.603 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม ดังภาพที่ 3

(ก)



(ข)



ภาพที่ 3 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในแต่ละสถานะของข้าวกล้อง (ก) พันธุ์ทับทิมชุมแพ (ข) พันธุ์สินเหล็ก
หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ)

จากผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องทั้งสองสายพันธุ์ โดยการนำข้าวมาผ่านกระบวนการทำให้งอกและการหมักด้วย *Lactobacillus* sp. พบว่า ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในปริมาณสูงที่สถานะแตกต่างกัน โดยที่ข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดในข้าวกล้องที่ไม่ผ่านทั้งกระบวนการงอกและการหมัก (28.313 ± 0.506 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) และจะลดลงเมื่อข้าวผ่านกระบวนการงอกและการหมักด้วยจุลินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ มีสารแอนโทไซยานินที่เป็น

สารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซึ่งเป็นสารประกอบไกลโคไซด์หรือเอซิลไกลโคไซด์ที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก (Lee *et al.*, 2007; Shen *et al.*, 2009) ที่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ เมทานอล และอะซิโตน เป็นต้น (Oki *et al.*, 2002; Finocchiaro *et al.*, 2010) สูญเสียปริมาณสารแอนโทไซยานินมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่มีในข้าวลดลงอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ratthanatham *et al.* (2013) พบว่า เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้นในข้าวกล้องงอก 3 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ ข้าวหอมนิล และข้าวไรซ์

เบอรี่ มีปริมาณสารแอนโทไซยานินลดลงมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อผ่านกระบวนการรอกนาน 72 ชั่วโมง ซึ่งจะแตกต่างจากข้าวพันธุ์สินเหล็กที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวผ่านกระบวนการรอกและหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. โดยพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวที่ผ่านกระบวนการรอกและการหมัก 12, 24 และ 48 ชั่วโมง มีปริมาณสูงกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านทั้งการกระบวนการรอกและการหมัก ประมาณ 1.2, 1.5 และ 1.23 เท่า (5.624 ± 0.603 เป็น 6.828 ± 0.088 , 5.624 ± 0.603 เป็น 8.212 ± 0.458 และ 5.624 ± 0.603 เป็น 6.936 ± 0.079 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม) ตามลำดับ เนื่องจากข้าวพันธุ์สินเหล็กไม่มีสารแอนโทไซยานิน แต่จะมีการสร้างสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. หลังกระบวนการรอก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาการเพิ่มกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระจากการหมักข้าวด้วยเชื้อ lactic acid bacteria ที่แยกได้จากอาหารหมัก จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Lactobacillus plantarum* MJM60383, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* MJM60392, *Lactobacillus fermentum* MJM60393 และ *Lactobacillus paracasei* MJM60396 พบว่า การหมักข้าวด้วยเชื้อ *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* MJM60392 ให้ปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุด (Le et al., 2019) และจากการศึกษาการหมักผลฮอว์ธอร์นด้วย *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Lactobacillus casei* สามารถเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิอิสระได้ 34.4 เปอร์เซ็นต์ (Huang et al., 2019)

สรุป

จากผลการศึกษาปริมาณสารกาบาและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องพันธุ์ทับทิมชุมแพและพันธุ์สินเหล็กที่ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ โดยการนำข้าวทั้งสองสายพันธุ์มาผ่าน

กระบวนการทางชีวภาพโดยการทำให้งอกและนำไปหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus* sp. พบว่า กระบวนการทางชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณสารกาบาได้ในข้าวทั้งสองสายพันธุ์ ในขณะที่กระบวนการทางชีวภาพสามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้ในข้าวกล้องพันธุ์สินเหล็ก จากผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการต่อยอดทางด้านการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวทั้งสองสายพันธุ์เพื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพได้นอกจากนี้ ยังสามารถนำข้อมูลจากผลการทดลองนี้ใช้ในการตัดสินใจเลือกบริโภคข้าวสำหรับผู้ป่วยหรือผู้ที่ดูแลสุขภาพได้เช่นเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ในการให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กลุ่ม Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2564 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับการให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในการเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- Dat, L.Q., Ngan, T.T.K. and Nu, N.T.X. 2017. Gamma-amino butyric acid (GABA) synthesis of *Lactobacillus* in fermentation of defatted rice bran extract, p. 1878. In **AIP Conference Proceedings**. American Institute of Physics (AIP) Publishing, USA.
- Department of Agriculture. 2017. **Tabtim Chumpare Rice**. Available Source: <https://www.doa.go>.

- th/pvp/wpcontent/uploads/2019/11/Anno DOAPublic111. pdf., March 20, 2019. (in Thai)
- Finocchiaro, F., Ferrari, B. and Gianinetti, A. 2010. A study of biodiversity of flavonoid content in the rice caryopsis evidencing simultaneous accumulation of anthocyanins and proanthocyanidins in a black grained genotype. **Cereal Science** 51: 28-34.
- Huang, Y., Wang, H. and Zhu, C. 2019. Effect of lactic acid bacteria fermentation on antioxidation and bioactivity of Hawthorn Pulp, pp. 1-7. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 3rd International Workshop on Renewable Energy and Development (IWRED 2019)*. IOP Publishing, Guangzhou, China.
- Kamara, J.S., Konishi, S., Sasanuma, T. and Abe, T. 2010. Variation in free amino acid profile among some rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Breeding Science** 60: 46-54.
- Kantachote, D., Ratanaburee, A. and Sukhoom, A. 2016. Use of γ -aminobutyric acid producing lactic acid bacteria as starters to reduce biogenic amines and cholesterol in Thai fermented pork sausage (Nham) and their distribution during fermentation. **LWT-Food Science and Technology** 70: 171-177. (in Thai)
- Karladee, D. and Suriyong, S. 2012. γ -Aminobutyric acid (GABA) content in different varieties of brown rice during germination. **ScienceAsia** 38: 13-17.
- 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.
- Kim, M.J. and Kim, K.S. 2012. Isolation and identification of gamma-aminobutyric acid (GABA)-producing lactic acid bacteria from kimchi. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry** 55: 777-785.
- Kinnersley, A.M. and Turano, FJ. 2000. γ -Aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. **Critical Reviews and Plant Sciences** 19: 479-509.
- Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in GBR. **Journal of Food Engineering** 78: 556-560.
- Le, B., Anh, P.T.N., Kim, J.E., Cheng, J. and Yang, S.H. 2019. Rice bran fermentation by lactic acid bacteria to enhance antioxidant activities and increase the ferulic acid, p -coumaric acid, and γ -oryzanol content. **Journal of Applied Biological Chemistry** 62(3): 257-264.
- Lee, Y.R., Woo, K.S., Kim, K.J., Son, J.R. and Jeong, H.S. 2007. Antioxidant activities of ethanol extracts from germinated specialty rough

- rice. **Food Science and Biotechnology** 16: 765-770.
- Marin, J., Kerdchoechuen, O. and Laohakunjit, N. 2012. Composition changes of fermented brown rice. **Agricultural Science Journal** 43(2) (Suppl.): 557-560. (in Thai)
- Meengoenlad, P., Soemphol, W., Oonmettaaree, J. and Tanamool, V. 2021. Increasing of Gamma-aminobutyric acid (GABA) content in fermented mushroom (Nham-Hed) by using high potential lactic acid bacteria as a starter. **Burapha Science Journal** 26(1):168-179. (in Thai)
- Moongngarm, A. and Saetung, N. 2010. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. **Food Chemistry** 122: 782-788.
- Nagaoka, H. 2005. Treatment of germinated wheat to increase levels of GABA and IP6 catalyzed by endogenous enzymes. **Biotechnology Progress** 21: 405-410.
- Oki, T., Masuda, M., Kobayash, M., Nishiba, Y., Furuta, S., Suda, I. and Sato, T. 2002. Polymeric procyanidinsas radical-scavenging components in red-hulled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50: 7524-7529.
- Palmiano, E.P. and Juliano, B.O. 1972. Biochemical changes in the rice grain during germination. **Plant Physiology** 49: 751-756.
- Parnsakhorn, S. and Lungapin, J. 2013. Germinated rice benefits, p. 10. *In* Institute of research and development, RUMTT, eds. **The easy to make germinated brown rice and its benefit** (1sted). Triple Group Co, Ltd., Pathum Thani. (in Thai)
- Ratthanatham, P., Laohakunjit, N. and Kerdchoechuen, O. 2013. Phenolic compound, anthocyanin and antioxidant activity of germinated colored rice. **Agricultural Science Journal** 44(2) (Suppl.): 441-444.
- Rice Science Center, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus. 2019. **Sinlek Rice**. Available Source: <https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/research-develop/rice-breeding-lab/sinlek-rice-variety>, March 27, 2019. (in Thai)
- Roohinejad, S., Mirhosseini, H., Saari, N., Mustafa, S., Alias, I. and MeorHussin, A.S. 2009. Evaluation of GABA, crude protein and amino acid composition from different varieties of Malaysian's brown rice. **Australian Journal of crop Science** 3(4): 184-190.
- Saikusa, T., Horino, T. and Mori, Y. 1994. Accumulation of gamma-aminobutyric acid (GABA) in rice germ during water soaking. **Bioscience Biotechnology, and Biochemistry** 58 : 2291-2292.
- Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y. and Bao, Y. 2009. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. **Cereal Science** 49: 106-111.
- Thongekkaew, J. 2015. A Greatly Useful of GABA for Health. **KKU Science Journal** 43(2): 205-211. (in Thai)
- Vangpikul, S. and Itsaranuwat, P. 2021. Isolation and selection of lactic acid bacteria with potential probiotics from traditional Thai

local pickle products. **RMUTSB Academic Journal** 9(2): 150-163. (in Thai)

Wongwai, A., Prasertbumrung, S., Seetha, D. and Meepriruk, M. 2018. GABA and antioxidant activity of germinated brown rice Pathumthani 1 with four kinds of water, pp. 437-442. *In 4th Pibulsongkram research academic conference.* Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok. (in Thai)

Xu, J.G., Hu, Q.P., Duan, J.L. and Tian, C.R. 2010. Dynamic changes in γ -aminobutyric acid and GAD activity in oats (*Avena nuda* L.) during steeping and germination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 58: 9759-9763