



การออกแบบและพัฒนาเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียว

Design and Development of Machine for Soaking and Germination of Paddy in One Step

เจนจิรา จรรยา¹, เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา², จักรมาส เลหาวิช¹, พีระยศ แข็งขัน³, สุพรรณ ยั่งยืน^{1*}

Jenjira Chanya¹, Cherdpong Chiawchanwattana², Juckamas Laohavanich¹, Phirayot Khaengkhan³, Suphan Yangyuen^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 44150

¹Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150, Thailand

²โปรแกรมวิชาช่างกลเกษตร, สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมเครื่องกล, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, ขอนแก่น, 40000

²Farm mechanics Program, Department of Technical Education in Mechanical Engineering, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen campus, Khonkaen 40000, Thailand

³สาขาเทคโนโลยีการเกษตร, คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 44150

³Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150, Thailand

*Corresponding author: Tel: +66-8-0412-5684, E-mail: yangyuen.sp@gmail.com

บทคัดย่อ

ข้าวกล้องงอกเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะ GABA จึงทำให้ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การผลิข้าวกล้องงอกไม่เพียงพอต่อความต้องการในท้องตลาด ซึ่งกรรมวิธีการผลิตข้าวกล้องงอกโดยทั่วไปนั้นใช้เวลาในขั้นตอนการแช่และเพาะงอก 2-3 d งานวิจัยนี้จึงออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียวเพื่อประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้หลักการนำไหลผ่านข้าวเปลือกด้วยการสเปรย์น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นแก่เมล็ดข้าว ร่วมกับการหยุดพักสเปรย์น้ำเพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดการเพาะงอก ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำด้วยระบบอัตโนมัติ เริ่มทดสอบด้วยการสเปรย์น้ำผ่านข้าวเปลือกต่อเนื่องเป็นเวลา 4 h แล้วแปรค่าการศึกษา คือ ระยะเวลาในการสเปรย์น้ำ และระยะเวลาหยุดพักสเปรย์ ร่วมกันเป็นเวลา 20 h จากการทดสอบภายในเวลา 24 h พบว่า การทดสอบที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 min ร่วมกับการพักสเปรย์ 90 min เป็นเงื่อนไขที่พบปริมาณสาร GABA สูงที่สุด คือ 29.77 mg g⁻¹ โดยมีร้อยละการงอกของข้าวเปลือก 81.54 และปริมาณร้อยละต้นข้าวมีค่า 70.59 ซึ่งสูงกว่าข้าวที่ผลิตจากกระบวนการดั้งเดิม

คำสำคัญ: การเพาะงอก, ข้าวกล้องงอก, เครื่องแช่และเพาะงอก, สารกาบา

Abstract

Germinated brown rice is a staple food which has high nutrients in particular GABA content. This leads to a popular demand. Germinated brown rice in the market is finally insufficient. Generally, the process of germinated brown rice takes 2-3 days for soaking and germination. This research therefore designed a machine in one step for soaking and germination of paddy used in industry. The principle is water flow through paddy by spraying water to increase moisture and stop for germination. Spraying time was automatically system to control water on-off. Start testing with continuous spraying water for 4 h. After that times of spray water and break were the factors alternately for 20 h. From the testing within 24 h found that the best condition was the water spray for 20 min alternated with the stop for 90 min. This condition contained the highest amount of GABA content of 29.77 mg g⁻¹. While as the percentage of germination and head rice yield were 81.54 and 70.59 which was higher than traditional process.

Keywords: Germination, germinated brown rice (GBR), soaking and germination machine, gamma aminobutyric acid (GABA)

Received: September 19, 2019

Revised: October 17, 2019

Accepted: October 27, 2019

Available online: November 7, 2019

1 บทนำ

ปัจจุบันมีผู้บริโภคสนใจรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น ข้าวกล้องงอกเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอยู่หลายชนิด เช่น วิตามินอี บี1 บี 2 บี 6 แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และสาร GABA (Gamma amino butyric acid) ซึ่งสาร GABA นั้นจะทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทส่วนกลางช่วยรักษาสมดุลในสมองและรักษาระดับฮอร์โมนในร่างกายให้สม่ำเสมอ อีกทั้งยังช่วยลดความดันโลหิต ควบคุมระดับน้ำตาลและคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด ยับยั้งการเกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ ลดอัตราเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด และป้องกันโรคอัลไซเมอร์ได้ (Suntree et al., 2012) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าข้าวกล้องงอกมีปริมาณสาร GABA ที่มากกว่าข้าวกล้องธรรมดาอยู่ถึง 11.5 เท่า (Moongngarm, 2010) ข้าวกล้องงอกสามารถผลิตได้จากข้าวเปลือก และข้าวกล้อง (ข้าวกะเทาะเปลือก) แต่ข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวเปลือกนั้นจะได้ปริมาณสาร GABA มากกว่าข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวกล้องอยู่ถึง 2 เท่า (Manna et al., 1995) โดยข้าวไทยที่นำมาผลิตเป็นข้าวกล้องงอกที่มีปริมาณสาร GABA มากที่สุดคือ ข้าวดอกมะลิ 105 (Suzuki and Maekawa, 2000; Karladee and Suriyong, 2012)

กระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกโดยวิธีการตามภูมิปัญญาท้องถิ่นของชาวบ้านทำได้โดยนำข้าวเปลือกแช่น้ำ 48 h ในขั้นตอนการแช่จะต้องคอยสังเกตและเปลี่ยนถ่ายน้ำแช่ทุก ๆ 4-6 h เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ จากนั้นทำการเพาะงอกโดยนำข้าวเปลือกบรรจุลงกระสอบข้าว ให้อยู่ในสภาวะอบอุ่นอากาศและอับแสงเป็นเวลา 24 h หรือจนกว่าจมูกข้าวจะปรากฏแล้วนำไปนึ่งเป็นเวลา 30 m จากนั้นนำไปตากแดด หรือลดความชื้น (ฐานเปียก) จนเหลือประมาณ 14% แล้วกะเทาะเปลือกได้เป็นข้าวกล้องงอก (Organicricekk, 2016) จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกในขั้นตอนการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกใช้เวลาจนถึง 3 d เพื่อให้จมูกข้าวงอกทำให้เกิดสารอาหารต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ภายหลังจึงมีการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งเพื่อลดระยะเวลาของกระบวนการ และเพื่อเพิ่มปริมาณสาร GABA เช่น การปรับเปลี่ยนเวลาการแช่และการเพาะงอก (Sunte, 2007) การศึกษาเครื่องผลิตข้าวเปลือกงอก (Sripenchai et al, 2009) การเร่งปฏิกิริยาการงอกโดยใช้สารละลาย (Artnaseaw, 2010) การเพาะงอกในระบบปิด (Komatsuzaki et al., 2007) การปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำแช่ (Varanyanond et al., 2005; Loikaao et al, 2014) การสเปรย์น้ำผ่านข้าวเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ (Pansakorn et al., 2010) การปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านข้าวในกระบวนการแช่ (Pilawut and Chinsuwan, 2012) การเติมสารฆ่าเชื้อหรือการ

ฆ่าเชื้อในอุณหภูมิสูง (Ohtsubo et al., 2005; Zhang et al., 2014; Pansakorn et al., 2016)

จากการศึกษาข้อมูลข้างต้นพบว่าแม้จะมีการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกอย่างต่อเนื่อง แต่พบว่าในกระบวนการยังคงใช้ระยะเวลานาน มีการเติมสารปรับแต่งน้ำแช่ซึ่งอาจไม่เหมาะสมต่อการบริโภค อีกทั้งการปรับแต่งน้ำแช่ยังมีวิธีการที่ซับซ้อน ทั้งยังอยู่ระดับห้องปฏิบัติการ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนากระบวนการแช่และเพาะงอกข้าวกล้องงอกจากข้าวเปลือก โดยใช้หลักการสเปรย์น้ำผ่านข้าว ร่วมกับการพักสเปรย์น้ำ เพื่อเร่งการงอกของข้าวเปลือกในระยะเวลา 24 h ผลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้จริง

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียว

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียว เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม ภายใต้เงื่อนไขปัจจัยหลักที่ทำให้เมล็ดพืชงอก ได้แก่ ความชื้น (น้ำ) ออกซิเจน ความร้อน และแสง แต่เนื่องจากการเพาะข้าวเปลือกงอกไม่จำเป็นต้องให้ข้าวเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อน จึงไม่จำเป็นต้องใช้แสง ส่วนสามปัจจัยที่เหลือใช้การสเปรย์น้ำที่อากาศแวดล้อมให้ไหลผ่านเมล็ดพืชที่บรรจุในภาชนะที่บ่มแสง การแช่และเพาะงอกเป็นการจัดการการสเปรย์และการหยุดสเปรย์น้ำเป็นวัฏจักรคาบเวลา น้ำไหลผ่านชั้นข้าวเปลือกทำให้มีความชื้นและการนำน้ำเวียนใช้ซ้ำและมีการสัมผัสกับอากาศเป็นการเติมออกซิเจนในระบบซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการงอก ปัจจัยความร้อนทำได้โดยการจัดรูปแบบการสเปรย์น้ำและหยุดพักซึ่งทำให้ชั้นข้าวเปลือกมีความแปรปรวนของอุณหภูมิเกิดขึ้น

2.2 การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือก

การศึกษานี้ใช้ตัวอย่างข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 แหล่งปลูกจากตำบลสาวะถี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ระยะเวลาการพักตัวก่อนเริ่มการทดสอบ 4 months ทำความสะอาดด้วยการเป่าลม เมล็ดข้าวมีความชื้น (ฐานเปียก) 11.85% เมื่อนำข้าวเปลือกมาเพาะพันธุ์เมล็ดด้วยกระดาษเพาะด้วยวิธี BP (Between paper) ที่ระยะเวลาเพาะงอก 14 d (ISTA, 2017) พบการงอกของข้าวเปลือกที่นำมาทดสอบ 98.00% ในการทดสอบใช้น้ำประปาสะอาดจากแหล่งจ่ายของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม และแต่ละการทดสอบเปลี่ยนน้ำใหม่ทุกการทดสอบ

2.3 การทดสอบปัจจัยการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียวที่มีผลต่อข้าวกล้องงอก

ทำการศึกษามรรณะการทำงานของเครื่องทดสอบ โดยการแปรค่าปัจจัยหลักที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณภาพข้าว ในด้าน

คุณภาพการงอก และปริมาณสาร GABA เปรียบเทียบกับข้าวกล้องงอกอ้างอิงซึ่งเป็นวิธีการแบบชาวบ้านที่ได้กล่าวไว้ในบทนำ โดยมีวิธีการดังนี้

วิธีการผลิตข้าวเปลือกงอกอ้างอิง : ทำได้โดยนำข้าวเปลือกแช่น้ำ 48 h เปลี่ยนน้ำทุก 4 h จากนั้นเพาะงอกด้วยการนำข้าวบรรจุลงกระสอบข้าว เก็บไว้ในสภาวะแวดล้อมปกติเป็นเวลา 24 h (Organicricekk, 2016)

วิธีการผลิตข้าวเปลือกงอกจากเครื่องทดสอบ : จัดแผนการทดสอบแบบ 3×3 Factorial in CRD มีสองปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาในการสเปรย์น้ำ กับ ระยะเวลาหยุดพักสเปรย์น้ำ ระดับปัจจัยที่แปรค่า ได้แก่ ระยะเวลา 20 40 และ 60 min กับ 60 90 และ 120 min ตามลำดับ รวมทั้งหมด 9 treatment ไม่ทำซ้ำ

ในแต่ละการทดสอบมีปัจจัยควบคุมดังนี้ ใช้ข้าวเปลือกครั้งละ 180 kg กำหนดอัตราการใช้ของน้ำคองที่ $2.4 \text{ l m}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ใช้ น้ำแบบเวียนซ้ำจนสิ้นสุดการทดสอบ อัตราส่วนมวลข้าวเปลือกต่อปริมาตรน้ำ คือ $1 \text{ kg} : 5 \text{ l}$ ($900 \text{ l experiment}^{-1}$) (Pilawut, 2018) อุณหภูมิที่ใช้เป็นไปตามสภาวะอากาศแวดล้อมปกติ ระยะเวลาของการทดสอบสิ้นสุดที่ 24 h โดยแบ่งคาบเวลาการทำงานเป็นสองช่วงหลักคือ ช่วงที่หนึ่งเป็นการสเปรย์น้ำให้ไหลผ่านข้าวเปลือกต่อเนื่องนาน 4 h และช่วงที่สองเป็นการจัดแผนการทดสอบของสองปัจจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น คือการสเปรย์น้ำและหยุดพักสเปรย์น้ำ สลับกันจนครบ 20 h การสุ่มวัดข้อมูลค่าชี้ผลแบ่งเป็นข้อมูลขณะทำการทดสอบได้แก่ ร้อยละการงอก อุณหภูมิชื้นข้าว อุณหภูมิน้ำ

หลังจากเสร็จสิ้นการแช่และเพาะงอกจากทั้งสองวิธีการแล้ว นำข้าวเปลือกงอกอ้างอิง และข้าวเปลือกงอกแต่ละการทดสอบนี้และอบแห้งด้วยเงื่อนไขเดียวกัน คือนำข้าวเปลือกงอกนี้ด้วยไอน้ำร้อนในสภาวะความดันบรรยากาศเป็นเวลา 30 m เริ่มจับเวลาการนี้เมื่อน้ำเดือดจนเกิดไอน้ำ แล้วจึงผึ่งก่อนนำไปอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้งด้วยอุณหภูมิหลอดอินฟราเรด 750°C วนซ้ำเป็นจำนวน 2 รอบ แล้วผึ่งลมในที่ร่มจนข้าวเปลือกมีความชื้น(ฐานเปียก) $12 \pm 1\%$ (Wijarnjuck et al., 2018)

ค่าชี้วัดหลังจากขั้นตอนการนี้ อบแห้ง และแปรรูปเป็นข้าวกล้องงอก ได้แก่ คุณภาพการสี (ร้อยละต้นข้าว) ปริมาณสาร GABA

2.4 การสุ่มวัดข้อมูลและการวิเคราะห์ผล

1) วิเคราะห์การงอก

1.1) ข้าวเปลือกงอกอ้างอิง: สุ่มโดยบรรจุตัวอย่างข้าว 100 seeds ในถุงตาข่ายเพื่อให้ไหลผ่าน เป็นสภาวะเดียวกันกับข้าวที่ไม่ได้สุ่ม นำถุงสุ่มวางไว้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในถัง (การแช่) หรือกระสอบ (การเพาะงอก) ตรวจนับการงอกเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ (72 h) ครั้งละ 3 ซ้ำดัง Figure 1a

1.2) ข้าวกล้องงอกจากการทดสอบ : ทำการสุ่มวัดการงอกเริ่มต้นจาก 18 h เป็นต้นไป ครั้งละ 3 rep สุ่มทุก ๆ 1 h จนกระทั่งครบ 24 h ตำแหน่งสุ่มโดยบรรจุตัวอย่างข้าว 100 seeds ในถุงตาข่ายเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 1.1 จากนั้นนำถุงสุ่มไว้ที่ระดับต่ำกว่าผิวข้าวด้านบน 15 cm ดัง Figure 1b หลักการวิเคราะห์การงอก คือ เมื่อข้าวเริ่มปลีเปลือกออก ลักษณะปรากฏเห็นเป็นปุ่มรูกนับเป็นการงอก (งอกข้าว)

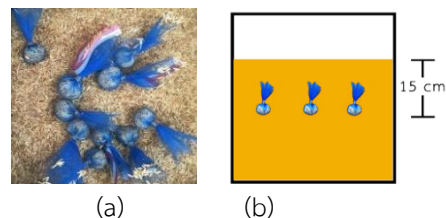


Figure 1. Randomly check germination of (a) GBR Reference and (b) GBR.

2) วิเคราะห์ร้อยละต้นข้าว

นำข้าวเปลือกงอกอ้างอิงและข้าวเปลือกงอกจากการทดสอบแปรรูปเป็นข้าวกล้องงอกโดยการกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกอุปกรณ์ของ SATAKE รุ่น HU-35 แบบลูกยางจำนวน 3 รอบ แล้วนำไปแยกต้นข้าวด้วยเครื่องคัดแยกข้าวแบบตะแกรงหมุน อุปกรณ์ของ SATAKE รุ่น L-02 (Choichuen and Chumjaihar, 2013)

3) วิเคราะห์ปริมาณสาร GABA

บดตัวอย่างข้าวกล้องงอก 5 g แล้ววิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น $630 \times 10^9 \text{ m}$ โดยใช้ Methanol เป็น Blank และใช้ γ -aminobutyric acid ความเข้มข้น 0.05 0.10 0.20 0.40 0.60 0.80 และ 1.00 mg ml^{-1} เป็นสารมาตรฐาน ได้ค่า $r^2 = 0.992$ สมการเส้นตรง $y = 0.0272x + 0.0024$ นำค่าที่วัดได้จากเครื่อง Spectrophotometer แทนค่าในสมการเพื่อหาปริมาณสาร GABA (Karladee and Suriyong, 2012; Krasaetep et al., 2012)

4) วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละการงอก ร้อยละต้นข้าว และปริมาณสาร GABA

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น 95% (Two ways analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference (LSD) แสดงผลเฉลี่ยคู่กับอักษร ^{abc} เรียงจากค่ามากไปค่าน้อย a-z ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรซ้ำกันแสดงให้เห็นว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียว

เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียวที่ได้ ออกแบบขึ้นในงานวิจัยนี้ จัดเป็นชุดอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย ถังบรรจุข้าวเปลือก (Paddy tank) บรรจุข้าวเปลือกขนาด 400L ที่ฝาถังติดตั้งหัวสเปรย์ฉีดน้ำแบบ spiral จำนวน 3 piece ทำมุม 120° ตามแนวรัศมี ปัมป์แบบหยอชิง (Centrifugal pump) ขนาด 1.5 hp ทำหน้าที่ปั๊มส่งน้ำจากถังเก็บน้ำ (Storage tank) ส่งเข้า ท่อทาง (Pipe) แล้วผ่านหัวฉีดสเปรย์เกิดกระแสน้ำกระจายอย่าง สม่ำเสมอและทั่วถึงข้าวเปลือก น้ำจะไหลจากส่วนบนของถังผ่าน ข้าวเปลือกลงสู่ด้านล่างถึง ถังรองรับด้วยรางรับน้ำให้ไหล รวบรวมลงในอ่างรับน้ำ (Reservoir tank) วนกลับมาใช้ซ้ำทำได้ โดยการใช้ปั๊มพ่นน้ำแบบจุ่ม (Submersible pump) ปั๊มพ่นน้ำ เข้าสู่ถังเก็บน้ำ (Storage tank) เพื่อสเปรย์อีกครั้ง ปรับค่าการ ทำงานโดยระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งปรับตั้งค่าเวลาการ สเปรย์และพักสเปรย์ผ่านชุดสวิตซ์ตั้งค่าเวลา (Timer switch) เพื่อควบคุมคาบเวลาการเปิด-ปิดการทำงานของปั๊ม และ Solenoid valve ควบคุมระบบส่งจ่ายน้ำในท่อทางและหัวฉีด (Figure 2) ในการนำข้าวเปลือกเข้าด้วยการเทป้อนส่วนบน และ การนำข้าวออกโดยการเปิดลิ้นส่วนล่างของถัง ข้าวจะไหลออก ด้วยแรงโน้มถ่วง (Figure 3)

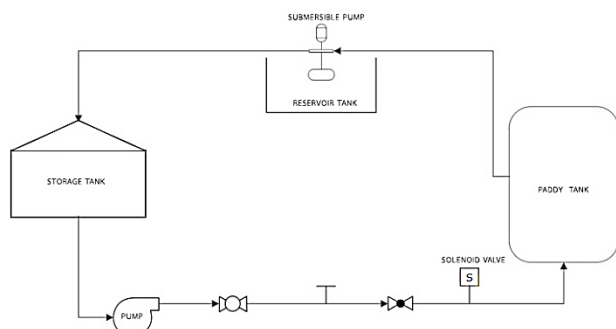


Figure 2. Diagram of soaking and germination of machine.



Figure 3. The composition of paddy tank.

3.2 ผลการทดสอบปัจจัยการทำงานเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียวที่มีผลต่อข้าวกล้องงอก

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแช่และเพาะงอก ข้าวเปลือกในสภาวะแวดล้อมในช่วงเดือนมิถุนายน 2562 ซึ่งได้ ทำการตรวจวัดสภาวะขณะการทำงาน พบว่า ข้าวกล้องงอก อ้างอิง ทดสอบที่สภาวะแวดล้อมอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย $32 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ย $70 \pm 3\%$ อุณหภูมิน้ำที่ทำการแช่ $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และข้าวกล้องงอกจากเครื่องทดสอบ ทดสอบที่อุณหภูมิ อากาศแวดล้อมภายนอกเฉลี่ย $30 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ เฉลี่ย $70 \pm 5.65\%$ อุณหภูมิของน้ำในระบบเฉลี่ย $28 \pm 7^{\circ}\text{C}$ และ อุณหภูมิชั้นข้าวเปลือกที่ตำแหน่งกลางถังบรรจุเฉลี่ย $33.78 \pm 1.07^{\circ}\text{C}$

ผลการทดสอบข้าวกล้องงอกอ้างอิง พบว่าข้าวเปลือกเริ่มงอก เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเพาะงอกซึ่งมากกว่า 48 h และเมื่อสิ้นสุด ขั้นตอนการเพาะงอก (72 h) ร้อยละการงอกเฉลี่ยอยู่ที่ 95.00 โดยสังเกตว่ารากมีความยาวมากกว่า 0.1 mm เมื่อตรวจสอบ กลิ่นข้าวเปลือกงอกด้วยประสาทสัมผัสการดมกลิ่นพบว่า เมล็ด ข้าวมีกลิ่นหืนและเปรี้ยวเนื่องจากการแช่ และเพาะงอกต่อเนื่อง เป็นเวลานาน

ผลการทดสอบปัจจัยการทำงานเครื่องแช่และเพาะงอก ข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียว โดยค่าร้อยละการงอกที่เวลาการ ทดสอบ 18-24 h ใน Table 1 แสดงถึงค่าเฉลี่ยร้อยละการงอก และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อิทธิพลของปัจจัยด้านเวลา ของการสเปรย์น้ำและการหยุดพักสเปรย์น้ำมีผลทำให้ร้อยละการ งอกมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยการตรวจวัดร้อย ละการงอกในครั้งแรกที่ 18 h มีเมล็ดข้าวเปลือกบางส่วนบปราคา ออกจากเปลือกเล็กน้อย (1 mm) ซึ่งพิจารณาเห็นว่าปัจจัยการ หยุดพักสเปรย์น้ำ 90 min ของทุกช่วงเวลาการสเปรย์น้ำ เป็น กลุ่มที่เมล็ดข้าวเปลือกมีร้อยละการงอกสูงสุด (37.84-38.23) และไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าเมล็ดข้าวเปลือกมีการงอกเพิ่มขึ้นอย่าง ต่อเนื่อง แต่จะมีแนวโน้มการงอกเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยใน 22-23 h และเมื่อครบเวลาการทดสอบ 24 h พบว่าร้อยละการงอก เพิ่มขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัดในช่วงเวลาผ่านไปเพียง 1 h

ภาพรวมของร้อยละการงอก พบว่าระยะเวลาการสเปรย์ 60 min ร่วมกับการพักสเปรย์ 60 และ 90 min จะมีอัตราการงอก สูงที่สุด ซึ่งการงอกจะมีค่าการงอกมากกว่าร้อยละ 80 ตั้งแต่ 22 h และมีร้อยละการงอกมากที่สุดที่ 24 h คือ ร้อยละ 90.01 ทั้งนี้ ในการทดสอบได้ตรวจสอบกลิ่นข้าวเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ (24 h) เบื้องต้นด้วยประสาทสัมผัสการดมกลิ่นพบว่า ที่ระยะการพัก สเปรย์น้ำ 120 min ร่วมกับระยะเวลาสเปรย์น้ำ 40 และ 60 min ข้าวมีกลิ่นอับต่างจากการทดสอบอื่นเล็กน้อย

เปรียบเทียบลักษณะการงอกของข้าวเปลือกงอกอ้างอิง และ ข้าวเปลือกงอกจากการทดสอบในเวลาการทดสอบที่ 24 h (Figure 4)



Figure 4. Characteristics of (a) GBR reference and (b) GBR from machine.

Table 1 Germination of germinated brown rice at the experiment period of 18-24 h.

Spraying on (min)	Spraying off (min)	Paddy germination (%) at the time period (h)						
		18	19	20	21	22	23	24
20	60	15.60 ^{bc}	20.77 ^f	37.06 ^{de}	45.86 ^e	61.21 ^c	61.57 ^d	72.67 ^{cd}
	90	37.84 ^a	41.23 ^c	60.56 ^b	63.58 ^{bc}	71.30 ^b	78.76 ^{ab}	81.54 ^b
	120	22.00 ^b	30.90 ^d	44.81 ^{cd}	52.88 ^{de}	58.91 ^c	63.55 ^{cd}	71.67 ^{cd}
40	60	22.92 ^b	28.87 ^e	40.69 ^{cd}	46.68 ^{de}	70.57 ^b	73.13 ^{bc}	78.35 ^{bc}
	90	37.64 ^a	44.97 ^b	62.20 ^b	66.53 ^{bc}	72.76 ^b	78.59 ^{ab}	83.02 ^{ab}
	120*	23.26 ^b	28.23 ^e	47.18 ^c	55.59 ^{cd}	56.67 ^c	57.81 ^d	63.79 ^e
60	60	36.56 ^a	40.77 ^c	77.71 ^a	78.97 ^a	83.20 ^a	82.18 ^{ab}	90.01 ^a
	90	38.23 ^a	49.00 ^a	65.88 ^b	78.08 ^a	81.33 ^a	83.42 ^a	85.94 ^{ab}
	120*	8.67 ^c	12.33 ^g	30.00 ^e	46.19 ^{de}	48.32 ^d	58.76 ^d	66.90 ^{de}

*Fermented odour at 24 h, ^{abc} Means in the same column with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by LSD

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยพิจารณาปัจจัย ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ และระยะเวลาพักสเปรย์น้ำพบว่า ทั้งสองปัจจัยเมื่อวิเคราะห์แยก และวิเคราะห์ปัจจัยร่วม ต่างมีอิทธิพลต่อร้อยละการงอก (24 h) ร้อยละต้นข้าว และปริมาณสาร GABA ที่ความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 2 โดยพบว่าร้อยละต้นข้าวของข้าวกล้องงอกสูงที่สุดอยู่ที่ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 min ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 และ 120 min มีผลร้อยละต้นข้าว 70.61 และ 70.08 ตามลำดับ และระยะเวลาการสเปรย์ 20 min ร่วมกับเวลาการพักสเปรย์น้ำ 90 min ผลร้อยละต้นข้าว 70.59 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่พบว่าบางเงื่อนไข คือ ระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 min ร่วมกับระยะเวลาสเปรย์น้ำ 20 และ 40 m มีร้อยละต้นข้าวต่ำกว่าข้าวกล้องงอกอ้างอิง

ปริมาณสาร GABA จากข้าวกล้องงอกที่ได้จากการทดสอบมากที่สุด คือกลุ่มระยะเวลาการสเปรย์ 20 min โดยร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์ 60 90 และ 120 min ตรวจพบปริมาณสาร

GABA 13.84 29.77 และ 11.39 mg g^{-1} ตามลำดับ ในขณะที่พบ 2 การทดสอบที่ไม่พบปริมาณสาร GABA คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 min ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 และ 120 min เช่นเดียวกับข้าวกล้องงอกอ้างอิง

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการงอกร่วมกับปริมาณสาร GABA พบว่า ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์ 60 min ร่วมกับเวลาการสเปรย์ 60 และ 90 min มีร้อยละการงอกสูงถึง 90.01 และ 85.94 ตามลำดับ แต่กลับไม่พบปริมาณสาร GABA เลย และการทดสอบที่มีร้อยละการงอกอยู่ในช่วง 63.78-83.02 พบปริมาณสาร GABA มากถึง 29.77 mg g^{-1} แสดงให้เห็นว่าปริมาณสาร GABA พบมากในช่วงที่จมูกข้าวกำลังงอกปรากฏให้เห็นเป็นปุ่มรากความยาวน้อยมาก และทั้งในแบบเปลือกข้าวยังไม่ปริแต่พร้อมที่จะงอก เพราะเมื่อเมล็ดข้าวงอกปรากฏให้เห็นเป็นรากมากกว่าร้อยละ 83 ทำให้ไม่พบสาร GABA ซึ่งตรงกับงานวิจัยที่ผ่านมากล่าวไว้ว่า น้ำหนักของจมูกข้าวไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสาร GABA (Varanyanond et al., 2005)

Table 2 The results of GBR reference and germinated brown rice obtained from the test machine.

Spraying on (min)	Spraying off (min)	Germination (%)	Head rice (%)	GABA (mg g ⁻¹)
GBR reference		0 ^s (95.00±2.16)*	67.12 ^c ±0.49	ND
20	60	72.67 ^{de} ±7.51	69.18 ^b ±0.20	13.84 ^b ±2.12
	90	81.54 ^{bc} ±3.31	70.59 ^a ±0.07	29.77 ^a ±12.73
	120	71.67 ^{de} ±2.43	65.79 ^d ±0.65	11.39 ^b ±0.00
40	60	78.35 ^{cd} ±2.31	68.75 ^b ±0.15	2.81 ^c ±2.12
	90	83.02 ^{bc} ±2.83	69.28 ^b ±0.62	6.49 ^{bc} ±4.25
	120	63.78 ^f ±7.11	64.95 ^e ±0.26	13.84 ^b ±4.25
60	60	90.01 ^a ±0.86	70.61 ^a ±0.29	ND
	90	85.94 ^{ab} ±4.47	67.27 ^c ±0.24	ND
	120	66.90 ^{ef} ±2.15	70.08 ^a ±0.08	0.3676 ^{cd} ±0.00

*Germinated of 72 h, ND = not detect , ^{abc} Means in the same column with different letters are significantly different at P<0.05 by LSD.

เนื่องจากงานวิจัยนี้ทดสอบที่สภาวะแวดล้อมจึงไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายนอกได้ แต่จากการศึกษาพบว่า ข้าวจะงอกได้ดีที่อุณหภูมิ 30-40 °C (Wongsinchuan, 2012) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงของการทดสอบข้าวกล้องงอกอ้างอิง (32°C) และข้าวกล้องงอกจากเครื่องทดสอบ (30°C)

จากผลการทดสอบที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียว สามารถลดระยะเวลาการเพาะงอกข้าวเปลือกได้ และตรวจพบปริมาณสาร GABA มากขึ้นกว่างานวิจัยที่ได้ศึกษา (Varayanond et al., 2005; Ohtsubo et al., 2005; Komatsuzaki et al., 2007; Sunte, 2007; Artnaseaw, 2010; Loikeao et al., 2014; Pansakorn and Langkapin, 2016; Zhang et al., 2014)

งานวิจัยนี้สามารถเลือกเงื่อนไขตามความต้องการของผู้ผลิตได้ กล่าวคือ หากมุ่งเน้นร้อยละการงอก หรือปริมาณสาร GABA ให้เลือกระยะเวลาการสเปรย์น้ำสูงจะทำให้ร้อยละการงอกมากขึ้น แต่ไม่ควรเลือกใช้เงื่อนไขที่ส่งผลให้การงอกสูงเกินร้อยละ 83 เนื่องจากจะส่งผลให้ปริมาณสาร GABA ต่ำ และไม่ควรเลือกระยะเวลาการพักสเปรย์สูง (120 min) เพราะเมื่อระยะเวลาการพักสเปรย์มากขึ้นทำให้ร้อยละการงอกลดลง ทั้งยังส่งผลให้เมล็ดข้าวเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากเกิดการหมักตัวของเมล็ดข้าวอีกด้วย

4 สรุป

เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียวออกแบบโดยใช้หลักการนำไหลผ่านเมล็ดข้าวด้วยการสเปรย์น้ำ ร่วมกับการหยุดพักสเปรย์น้ำ จากการทดสอบพบว่าเงื่อนไขที่ส่งผลต่อร้อยละการงอกสูงที่สุดคือ การสเปรย์น้ำ 60 min ร่วมกับการพักสเปรย์ 60 min มีร้อยละการงอก 90.01 เงื่อนไขที่ส่งผลต่อร้อยละต้นข้าวสูงที่สุดมี 3 เงื่อนไข คือการสเปรย์น้ำ 20 min ร่วมกับการพักสเปรย์ 90 min การสเปรย์น้ำ 60 min ร่วมกับการพัก

สเปรย์ 60 และ 120 min มีค่าร้อยละต้นข้าว 70.59 70.61 และ 70.08 ตามลำดับ และเงื่อนไขที่ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA สูงที่สุดคือการสเปรย์น้ำ 20 min ร่วมกับการพักสเปรย์ 90 min มีค่าปริมาณสาร GABA 29.77 mg g⁻¹ จากผลการทดสอบที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียวสามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนการแช่และเพาะงอกได้ถึง 3 เท่า ทั้งยังพบว่าข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณร้อยละต้นข้าวและปริมาณสาร GABA สูง

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท ประจำปี 2562 และทุนวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม รวมถึงสถานที่การดำเนินงานวิจัย และอุปกรณ์การทดสอบในงานวิจัยนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- Artnaseaw, A. 2010. Effects of Accelerated Soaking and Germinating Process on GABA Content in Germinated Paddy Hom Mali 105. *KKU Engineering Journal* 37(2), 131-139. (In Thai)
- Choichuen, P., Chumjaihar, P. 2013. Improving the texture quality of rice germinated with white polishing. *Proceedings of the 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference 2013*, 637-641. Prachuap Khiri Khan, Thailand: Hua Hin Grand Hotel and Plaza. 1-4 April 2013.

- ISTA International Seed Testing Association. 2017. International Rules of seed testing. Bassersdorf, Switzerland.
- Karladee, D., Suriyong, S. 2012. γ -Aminobutyric acid (GABA) content in different varieties of brown rice during germination. *ScienceAsia* 38, 13-17.
- Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshi ma, H., Suzuki, T., Shimizu, N., Kimura, T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. *Journal of Food Engineering* 78, 556-560.
- Krasaetep, J., Plainsirichai, M., Nakornriab, M. 2014. GABA, Total Phenolic Contents and Antioxidant Activities of Live Products. *Proceedings of the 10th Mahasarakham University Research Conference*, 88-96. Mahasarakham: Faculty of Humanities and Social Sciences. 11-12 September 2014, Kantharawichai, Mahasakham. (In Thai)
- Loikaeo, N., Vayupharp, B., Laksanalamai, V. 2014. Effects of Soaking Conditions in the Process of Germinated Parboiled Brown Rice (GPBR) on the Reduction of Rancidity in GPBR for Bakery Industry. *Proceedings of Rangsit University National Research Conference 2014*, 320-327. Pathum Thani, Thailand: Rangsit University. 3 April 2014. (In Thai)
- Moongngarm, A. 2010. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. *Journal of Food Chemistry* 122, 782-788.
- Manna, K.M., Naing, K.M., Pe, H. 1995. Amylase activity of some roots and sprouted cereals and beans. *Food and nutrition bulletin* 16, 1-4.
- Ohtsubo, K., Suzuki, K., Yasui, Y., Ka sumi, T. 2005. Bio-Functional com ponents in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw ex truder. *Journal of Food Composition and Analysis* 18, 303-316.
- Organicricekk. 2016. Knowledge Management of Community Rice Seed Promotion and Production Center, Sawathi Sub-district, Mueang District, Khon Kaen Province. (Online). Available: <http://organicricekk.blogspot.com/2016/05/blog-post.html>. Accessed on 13 January 2019. (In Thai)
- Pansakorn, S., Sooknak, S., Phongsak, B., Sonram, S. 2010. Study and Design of a Small Germinated Brown Rice Machine for Home. *Journal of Engineering, RMUTT* 8(1), 61-67. (In Thai)
- Pansakorn, S., Langkapin, J. 2016. Optimum Conditions of Preparation for the Process of Germinated Hom Nin Organic Brown Rice Product in Retort Pouch. *Journal of Engineering, RMUTT* 14(1), 65-75 (in Thai)
- Pilawut, S., Chinsuwan, W. 2012. Effect of Water Flow Rate through Paddy in Soaking Process of Paddy on GABA and Brown Rice Quality. *Agricultural Science Journal* 43(3), 264-287.
- Pilawut, S. 2018. Water per Paddy Ratio in Soaking Process of Paddy for Germinated Brown Rice on GABA and Brown Rice Quality. *Proceedings of the 19th TSAE National Conference*, 573-576. Prachuap Khiri Khan, Thailand: Faculty of Veterinary Medicine. 26-27 April 2108.
- Sripenchai, C., Artnaseaw, A., Khamsan, T. 2009. Producing Apparatus of Germinated Paddy Rice. *Proceedings of the 23rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand, AMM-027353*. Chiang Mai, Thailand: Faculty of Engineering, Chiang Mai University. 4-7 November 2009. (In Thai)
- Sunte, J. 2007. Effect of Soaking and Germinating Processes on Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) Content in Germinated Brown Rice (hom mali 105). Master's Thesis. KhonKaen, Thailand: Faculty of Science, Khonkean University. (In Thai)
- Suzuki, K., Maekawa, T. 2000. Introduction of homogeneous rooting control in liquid cultured brown rice using hypoxic conditions. *Seed Science and Technology* 28, 367-379.
- Varayanond, W., Tuntrakul, P., Surojanametakul, V., Watanasiri tham, L., Luxiang, W. 2005. Effects of water soaking on Gamma-Aminobutric Acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties. *Kasetsart Journal* 39, 411-415.
- Wijarnjuck, S. 2018. Development of two-stage rotary dryer using infrared ray combined hot air for germinated brown rice drying. Master's Thesis. Mahasarakham, Thailand: Faculty of Engineering, Mahasarakham University. (In Thai)
- Wongsinchuan, N. 2012. Cultivatoin of germinated brown rice. *Rusamilae Journal* 33(1), 57-62 (In Thai)
- Zhang, Q., Xiang, J., Zhang. L., Zhu, X., Evers, J., Werf, W.V.D., 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.