

ศึกษาพฤติกรรมการงอกของจมูกข้าวกล้องสำหรับพัฒนาระบบเพาะงอก แบบอัตโนมัติประสิทธิภาพสูง

Studies on Germination of Brown Rice Germ for the Development of High-Efficiency Automatic Germinating System

กฤษฎา พวงสุวรรณ^{1*} สหพงศ์ สมวงศ์² สันติ ขำตรี³

^{1,2}สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 1 อ.เมือง จ.สงขลา 90000

³คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จ.นครศรีธรรมราช 80280

Kritsada Puangsuwan^{1*} Sahapong Somwong² Santi Khamtree³

^{1,2}Department of electrical engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology, 1, Muang District, Songkhla, 90000

³Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University,

Nakhon Si Thammarat, 80280

*Corresponding author Email: kritsada_enet05@hotmail.com

(Received: October 19, 2018; Accepted: July 24, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการงอกของจมูกข้าวกล้องเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพสูงสำหรับทดแทนการเพาะแบบวิสาหกิจชุมชน ระบบนี้ประกอบด้วยชุดผลิตความร้อน ชุดผลิตความชื้น ถาดบรรจุน้ำ ถาดบรรจุข้าวกล้อง และถังกักเก็บน้ำ ส่วนควบคุมระบบการเพาะงอกแบบอัตโนมัติคือ การเติมน้ำ การแช่น้ำ การบ่ม การชะล้าง และสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะ การทดลองเพาะงอกข้าวกล้องหอมมะลิ 105 เทียบเคียงระหว่างต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติและแบบวิสาหกิจชุมชน เพื่อวิเคราะห์สภาวะเพาะงอกที่เหมาะสมต่อเปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวของจมูกข้าว ณ ช่วงเวลาเพาะ 24 และ 48 ชั่วโมง นอกจากนี้ พิจารณามิติเชิงเศรษฐศาสตร์ต้นแบบระบบเพาะงอก ผลพบว่าช่วงเวลาเพาะงอก 48 ชั่วโมง สภาวะที่เหมาะสมต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะ 35.25 ± 0.66 °C และ 53.29 ± 2.40 %RH ตามลำดับ มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวของจมูกข้าวกล้องสูงขึ้น 80 ± 6.76 % และ 0.83 ± 0.041 mm. ตามลำดับ สูงกว่าการเพาะงอกกรณีอื่น นอกจากนี้ การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ต้นแบบระบบเพาะงอก ซึ่งมีกำลังการเพาะงอกต่อปี 540 kg. ระบบใช้ปริมาณไฟฟ้าทั้งสิ้น 16,956 บาทต่อปี มีกำไร 75,600 บาทต่อปี และระยะเวลาคืนทุนประมาณ 8 เดือน 15 วัน จึงเหมาะสมแก่การลงทุน

คำสำคัญ: ข้าวกล้อง ความยาวจมูก การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ABSTRACT

This research studies the germination behavior of brown rice for the development of automatic germination prototype for high efficiency. It can replace the culture of a community enterprise. This system consists of a heat and moisture content generator, water tray, brown rice tray and water tank. The automatic germination control systems included water filling, soaking, curing, leaching and controlling the temperature and relative humidity conditions. The germination of jasmine rice 105 was compared between the automatic germination and the community enterprise system in order to analyze the appropriate germination conditions and germ length at 24 and 48 hr. In addition, it also considers the economic dimension of the germination system. It was found that the germination time of 48 hours had optimum conditions for temperature control and relative humidity control at 35.25 ± 0.66 °C and $53.29 \pm 2.40\%$ RH, respectively. This has a significant effect on germination percentage and the germ length was $80 \pm 6.76\%$ and 0.83 ± 0.041 mm, respectively. They were higher than that of other germination. Moreover, the economic analysis of the germination system found that the germination capacity of brown rice was 540 kg per year. This system provided 16,956 Baht per year and 75,600 Baht per year of the electricity cost and the profit, respectively. Furthermore, the payback period was about 8 month and 15 days' appropriate investments.

Keyword: Brown rice, germination, germ length, temperature and relative humidity control.

1. บทนำ

ข้าวกล้องงอก (Germinated Brown Rice) ถือเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่มีกระแสนิยมต่อกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพเป็นอย่างมาก บริเวณจมูกของข้าวกล้องที่เกิดการงอกหลังผ่านกระบวนการเพาะงอกจะมีสารอาหารสำคัญ อาทิ ไยอาหาร กรดไฟติก วิตามินซี วิตามินอี และกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริกหรือกาบา (Gamma Amino Butyric Acid; GABA) ช่วยป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง ลดอาการอัลไซเมอร์ โรคเบาหวาน ช่วยให้ผิวพรรณดี และช่วยควบคุมน้ำหนัก เป็นต้น โดยการบริโภคข้าวกล้องงอกจะมีปริมาณสาร GABA สูงกว่าข้าวกล้องปกติประมาณ 15 เท่า นอกจากนี้ ลักษณะข้าวกล้องงอกที่หุงสุกมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มและรับประทานได้ง่ายกว่าข้าวธรรมดา [1]-[4]

เกษตรกรมีการรวมตัวก่อตั้งวิสาหกิจชุมชน (Community Enterprise; CE) เพื่อตอบสนองกระแส

นิยมของผู้บริโภคที่รักสุขภาพเพิ่มขึ้นและยังเพิ่มมูลค่าแก่ผลผลิตเชิงการเกษตรอีกช่องทางหนึ่ง [4] ซึ่งกระบวนการเพาะงอกแบบวิสาหกิจชุมชนจะนำเมล็ดข้าวกล้องมาแช่น้ำนาน 4 ชั่วโมง ให้น้ำท่วมเมล็ดข้าวกล้องทุกเมล็ดเพื่อกระตุ้นกระบวนการเจริญเติบโตบริเวณจมูกของข้าวกล้อง หลังผ่านกระบวนการแช่น้ำเสร็จสิ้นจะนำสู่กระบวนการบ่มเมล็ดข้าวกล้องในภาชนะประมาณ 20 หรือ 44 ชั่วโมง การบ่มต้องชะล้างเมล็ดข้าวกล้องด้วยน้ำสะอาดทุกๆ 4 ชั่วโมง ทำเช่นเดิมจนครบช่วงเวลาการบ่มและให้สังเกตการงอกบริเวณจมูกข้าวกล้องที่เหมาะสมประมาณ 0.5 ถึง 1 mm. จะมีปริมาณสาร GABA สูงสุด [1],[5]-[6] แต่เนื่องด้วยกระบวนการเพาะงอกของข้าวกล้องนั้นยังไม่เป็นที่ยอมรับมากนัก เพราะมีกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ ไม่เหมาะต่อการนำไปบริโภค ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมในระหว่างการงอกของจมูกข้าวกล้อง และการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนบริเวณผิวเมล็ดข้าวกล้อง [7]

โดยมีปัจจัยหลายอย่าง เช่น สายพันธุ์ข้าว น้ำ ความชื้น อุณหภูมิ และออกซิเจน ที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก [1]-[2], [8]-[9] โดยการเพาะงอกแบบวิสาหกิจชุมชนได้รับการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ในการเพาะงอกที่เหมาะสม จึงได้มีงานวิจัยที่ศึกษาสภาวะการเพาะงอกที่เหมาะสมต่อสมบัติเชิงเคมีกายภาพ คุณภาพการหุงต้ม และคุณภาพการนำรับประทานของข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวกล้องมันปู [10] และยังมีการเทียบเคียงผลอุณหภูมิ เวลาแช่น้ำและเพาะงอก และหุงต้มที่ส่งผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณไทอะมิน และสาร GABA ในข้าวหอมลัดและข้าวกล้องงอกสังข์หยดพัทลุง [11] Varayanond และคณะ ได้ตรวจหาสาร GABA ในข้าวหอมไทยพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปทุมธานี 1 พบว่าเมื่อแช่น้ำ 4 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิ 40 °C มีสาร GABA สูงสุดในข้าวปทุมธานี 1 แต่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีต่ำกว่าเล็กน้อย[8] ในปี 2553 Watchararparpaiboon และคณะ ได้ศึกษาหาปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องงอกดอกมะลิ 105 และชัยนาท 1 พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการเพาะงอกของข้าวกล้องทั้งสองพันธุ์คืออุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการงอกของข้าวกล้องดอกมะลิ 105 มีปริมาณสาร GABA โปรตีนและไขมันสูงที่สุด รองมาคือวิตามิน B1 และกรดโฟติก [2] แต่ปัญหาการเพาะงอกแบบที่กล่าวมาข้างต้นเกษตรกรยังคงเฝ้าเปลี่ยนถ่ายน้ำและชะล้างตลอดกระบวนการเพาะงอก จึงมีนักวิจัยหลายท่านพยายามพัฒนาเครื่องเพาะงอกของข้าวเปลือกและข้าวกล้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะได้ แต่ยังมีขาดระบบที่ชะล้างแบบอัตโนมัติและต้นทุนการก่อสร้างระบบเพาะงอกมีราคาสูง [12],[13] ต่อมา มีระบบเพาะงอกสำหรับข้าวกล้องที่สามารถเติมน้ำ การแช่น้ำ การบ่ม และการชะล้างแบบอัตโนมัติ แต่ข้อเสียระบบเพาะงอกนี้ได้รับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะที่เหมาะสม ซึ่งอุณหภูมิเพาะงอกช่วง 35 ถึง 40 °C มีค่าเหมาะสมต่อการงอกของจมูกข้าวกล้องที่สุด [5] หากสูงกว่า 50 °C อาจทำให้กระบวนการงอกหยุดทำงานได้ [5], [9] แต่ทั้งนี้

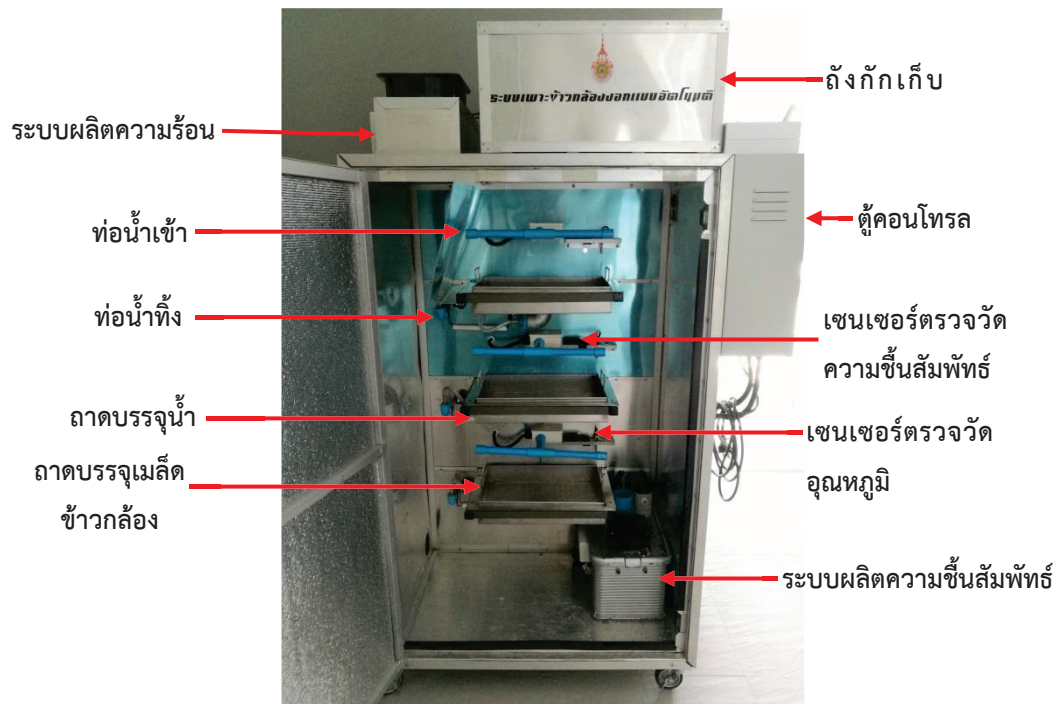
พารามิเตอร์นี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และคุณภาพของเมล็ดข้าวกล้องด้วย

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้เล็งเห็นจึงศึกษาพฤติกรรมการงอกของบริเวณจมูกข้าวกล้องที่ระดับปริมาณข้าวกล้องต่างกัน ณ สภาวะควบคุมการเพาะงอกที่แปรเปลี่ยน เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติที่มีการเติมน้ำ การแช่น้ำ การบ่ม และการชะล้าง และควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะที่เหมาะสมเทียบเคียงวิธีเพาะงอกแบบวิสาหกิจชุมชน นอกจากนี้ ยังพิจารณาในแง่มิติเชิงเศรษฐศาสตร์ต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติสำหรับตอบสนองวิสาหกิจชุมชน

2. การจัดสร้างและหลักการทำงานของต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติ

งานวิจัยนี้ได้จัดสร้างและทดสอบการทำงานระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติขนาด 50×80×137 cm³. มีการรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะจะใช้ฉนวนกันความร้อนกันระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมทั้งคู่ของโครงสร้างด้านในและด้านนอก ต้นแบบระบบเพาะงอกภายในมีช่องบรรจุภาชนะ 3 ช่อง ขนาด 30×40 cm². สำหรับวางถาดเพาะเมล็ดข้าวกล้องมีลักษณะเป็นตะแกรงขนาดรูเล็กกว่าเมล็ดข้าวกล้องและด้านล่างจะมีถาดบรรจุน้ำเพื่อรองรับน้ำในการแช่น้ำ การบ่ม และการชะล้างเมล็ดข้าวกล้อง ถาดทั้งคู่สร้างด้วยสแตนเลสหนา 1 mm. ขนาด 32.5×45×6 cm³. นอกจากนี้ มีการติดตั้งถังกักเก็บน้ำไว้บริเวณด้านบนของต้นแบบระบบเพาะงอกและมีการเติมน้ำเข้าถังเก็บในถังแบบอัตโนมัติผ่านการทำงานของวาล์วลูกลอย และการเติมน้ำสู่ระบบเพาะงอกจะมีปั้มน้ำดูดน้ำจากถังกักเก็บน้ำ ดังรูปที่ 1

การควบคุมการทำงานต้นแบบระบบเพาะงอกในกระบวนการเติมน้ำ การแช่น้ำ การบ่ม การชะล้างแบบอัตโนมัติ ผ่านการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 จะระบุค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และช่วงเวลาเพาะงอกตามต้องการผู้ใช้งาน ซึ่งมี



รูปที่ 1 ต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติ

ส่วนระบบสำคัญต่างๆ ดังนี้

- ระบบการเติมน้ำ ใช้การควบคุมปริมาณน้ำผ่านโซลินอยด์วาล์ว 12 V_{DC} ในกระบวนการแช่น้ำจะเติมน้ำประปาที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยประมาณ $6.59 \pm 0.22\text{ pH}$ ให้สูงท่วมข้าวกล้องทุกเมล็ดประมาณ 1 cm . และแช่น้ำทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง ในส่วนกระบวนการบ่มจะพรมน้ำทุกๆ 4 ชั่วโมง เป็นเวลา 2 วินาที จนครบช่วงเวลาเพาะงอกที่ระบุไว้
- ระบบถ่ายน้ำ เมื่อกระบวนการแช่เมล็ดข้าวกล้องเสร็จสิ้นจะทำการดูดน้ำด้วยปั๊มน้ำขนาด 36 W , 12 V_{DC} ผ่านท่อน้ำทิ้งออกจากต้นแบบระบบเพาะงอก
- การควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะได้มีการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิเบอร์ DS18B20 และเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์เบอร์ AM2301 แต่ละชั้นเพาะงอกทั้ง 3 ชั้นเพาะ

● ระบบผลิตความร้อน ใช้ฮีตเตอร์แบบขดลวดขนาด $1,500\text{ W}$, 220 V_{AC} มีการพัดพาอากาศร้อนสู่ห้องเพาะด้วยพัดลมขนาด $20 \times 20 \times 6\text{ cm}^3$. จะเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิห้องเพาะต่ำกว่าค่าที่ระบุไว้

● ระบบผลิตความชื้นสัมพัทธ์ ใช้ชุดพ่นหมอก 220 V_{AC} อยู่ในกล่องและพัดพาความชื้นเข้าสู่ห้องเพาะงอกผ่านทางท่อระบายเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.08 cm . ด้วยพัดลม 12 V_{DC} ขนาด $12 \times 12 \times 3.80\text{ cm}^3$. สำหรับเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะตามเป้าหมาย จะเริ่มทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะต่ำกว่าค่าที่ระบุไว้

● ระบบดูดอากาศออกจากต้นแบบระบบเพาะงอก จะทำงานพัดลมดูดเมื่อเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะเกินค่าที่ระบุไว้

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองและเก็บข้อมูลการเพาะงอกที่บรรจุแต่ละ ถาดเพาะในปริมาณเมล็ดข้าวกล้อง 3 ระดับคือ 0.5, 0.75 และ 1 kg. ผ่านต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติที่มีการควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะ ที่ต่างกัน นอกจากนี้ ยังเทียบเคียงกับการเพาะงอกแบบ วิสาหกิจชุมชน เพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การงอกและความ ยาวของงอกข้าวกล้อง และยังพิจารณามิติเชิง เศรษฐศาสตร์ของต้นแบบระบบเพาะงอกที่มีประสิทธิภาพ ที่สุด ซึ่งนำข้อมูลทดลองมาโปรแกรมในชุดประมวลผล เพื่อควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะ และช่วงเวลาเพาะงอกที่มีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ที่สุด

3.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวกล้อง

การทดลองเพาะงอกใช้ตัวอย่างข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ซึ่งข้าวสายพันธุ์นี้มีปริมาณสาร GABA ที่สูงกว่าข้าว สายพันธุ์อื่นๆ และเลือกข้าวกล้องที่กะเพาะเปลือกไม่เกิน 2 สัปดาห์ [5], [14] ปัจจุบันราคาข้าวกล้องสายพันธุ์นี้ ประมาณ 35 บาทต่อกิโลกรัม เตรียมตัวอย่างภายใน ต้นแบบระบบเพาะงอกแต่ละครั้งจะบรรจุเมล็ดข้าวกล้อง ในถาดเพาะที่ตวงและชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิทัล ในปริมาณเท่ากันทั้ง 3 ถาด คือถาดละ 0.5, 0.75 และ 1 kg. ระดับความหนาของชั้นเมล็ดข้าวกล้อง 1, 1.5 และ 2 cm. ตามลำดับ โดยชั้นเมล็ดข้าวกล้องที่แผ่เต็มถาด เพาะไม่ควรหนาเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดกลิ่นของการ หมักได้ [5]

3.2 การเพาะผ่านระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติ

กระบวนการเพาะงอกผ่านต้นแบบระบบเพาะงอก แบบอัตโนมัติ เริ่มต้นการควบคุมแบบอัตโนมัติตั้งแต่ กระบวนการเติมน้ำ การแช่น้ำ การบ่ม การชะล้าง และ สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะจนกระทั่ง สิ้นสุดกระบวนการเพาะงอก ซึ่งควบคุมสภาวะ อุณหภูมิห้องเพาะ 2 ระดับคือ 35 และ 40 °C [9], [11], [12], [15]-[16] และความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะ 45 ถึง 60 %RH แต่ละการควบคุมสภาวะจะแบ่งช่วงเวลาเพาะ

งอก 24 และ 48 ชั่วโมง มีการบันทึกค่าอุณหภูมิและ ความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะทุกๆ 30 นาที จนครบเวลา เพาะงอกที่ระบุไว้

ต้นแบบระบบเพาะงอกเริ่มทำงานด้วยการควบคุม โซลินอยด์วาล์วนำน้ำจากถังเก็บเติมน้ำเข้าสู่ถาดเพาะ งอกให้สูงท่วมตัวอย่างเมล็ดข้าวกล้องประมาณ 1 cm. และแช่น้ำทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง หลังจากนั้น ถ่ายเทน้ำออกจาก ถาดเพาะงอกและเข้าสู่กระบวนการบ่มจะเปิดชุดพรมน้ำ ทุกๆ 4 ชั่วโมง จนครบเวลาบ่ม 20 และ 44 ชั่วโมง (กล่าว ได้ว่า กระบวนการเพาะงอกเวลา 24 ชั่วโมงคือ แช่น้ำ 4 ชั่วโมง และการบ่ม 20 ชั่วโมง ส่วนช่วงเวลาเพาะงอก 48 ชั่วโมงคือ แช่น้ำ 4 ชั่วโมง และการบ่ม 44 ชั่วโมง) จน เสร็จสิ้นกระบวนการ ในการทดลองแต่ละครั้งจะทำซ้ำ 3 ครั้ง สำหรับวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation; S.D.) เพื่อลดความ ผิดพลาดของข้อมูล

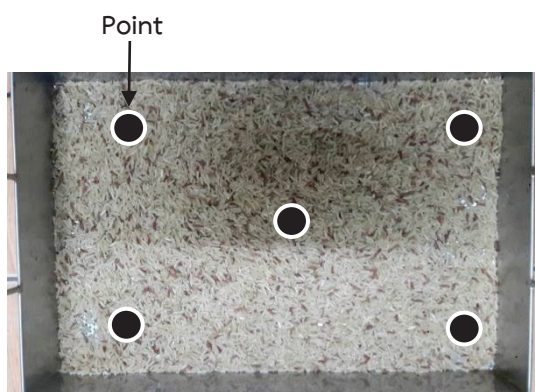
3.3 การเพาะงอกแบบวิสาหกิจชุมชน

การทดลองเพาะงอกแบบวิสาหกิจชุมชนใช้ โครงสร้างของต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติที่ ควบคุมแช่น้ำ การบ่ม และการชะล้างเมล็ดข้าวกล้องตาม ช่วงเวลาเพาะงอกที่กำหนด แต่ไม่ควบคุมสภาวะการ ทำงานอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะ มีเพียงการ อ่านค่าจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น สัมพัทธ์และบันทึกข้อมูลไว้ทุกๆ 30 นาที จะทดลองซ้ำ 3 ครั้ง [5]

3.4 ตัวชี้วัดลักษณะเชิงกายภาพการงอกของข้าว กล้อง

หลังเสร็จสิ้นกระบวนการเพาะงอกของข้าวกล้องผ่าน ต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติและแบบวิสาหกิจ ชุมชน โดยสุ่มหยิบเมล็ดข้าวกล้องในถาดเพาะงอก 5 ตำแหน่ง จำนวนตำแหน่งละ 20 เมล็ด และทำเช่นนี้ทุก ถาดเพาะงอกแสดงดังรูปที่ 2 หลังจากนั้น จะพิจารณา จำนวนเมล็ดข้าวกล้องที่เกิดการงอกสมบูรณ์และจำนวน เมล็ดข้าวกล้องที่ไร้คุณภาพ เช่น ไม่มีการงอก เมล็ดหัก และเมล็ดแตก เพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การงอก

(Germination percentage; G(%)) ดังสมการที่ (1) ตามวิธีของดวงเดือน และคณะ [15] ในส่วนปริมาณความยาวของงอก (Germ length; Lg) จะสุ่มหยิบเมล็ดข้าวกล้องที่เกิดการงอกสมบูรณ์จำนวน 5 เมล็ด ของแต่ละตำแหน่งที่สุ่มหยิบในถาดเพาะงอก 20 เมล็ด มาวัด Lg ด้วยเครื่องมือเวอร์เนียเรคาลิเปอร์แบบดิจิทัลมีความละเอียด 0.01 mm. (Mitutoyo, 150 mm/6" Absolute Digital Digimatic Vernier Caliper, Japan)



รูปที่ 2 ตำแหน่งสุ่มหยิบเมล็ดข้าวกล้องในถาดเพาะงอก

$$G(\%) = \frac{x}{n} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ x คือ จำนวนข้าวกล้องที่งอกสมบูรณ์ (เมล็ดย)

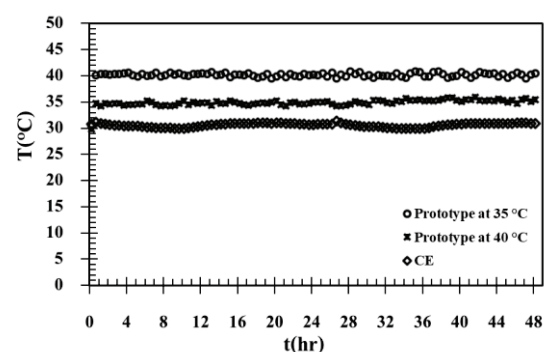
n คือ จำนวนข้าวกล้องที่สุ่มหยิบทั้งหมด (เมล็ดย)

4. ผลและวิจารณ์ผล

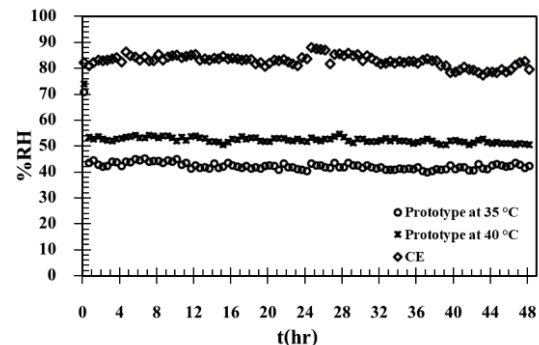
ผลทดลองเพาะงอกของเมล็ดข้าวกล้องผ่านต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติที่ควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะเทียบเคียงการเพาะงอกแบบวิสาหกิจชุมชน ณ ช่วงเวลาเพาะงอก 24 และ 48 ชั่วโมง เพื่อศึกษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อ G(%) และให้ปริมาณ Lg ของเมล็ดข้าวกล้องที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

4.1 สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะ

ขณะทดลองเพาะงอกข้าวกล้องด้วยต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติและแบบวิสาหกิจชุมชน ในแต่ละครั้งจะมีการบันทึกสภาวะควบคุมการเพาะงอกทุกๆ 30 นาที ตลอดช่วงเวลาเพาะงอกผ่านเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องเพาะทั้ง 3 ตำแหน่ง และนำข้อมูลวัดจริงแต่ละตำแหน่งมาเฉลี่ยให้มีเสถียรภาพสูงสุดต่อการควบคุมสภาวะในห้องเพาะแสดงดังรูปที่ 3



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 สภาวะควบคุมห้องเพาะ (ก) อุณหภูมิ และ (ข) ความชื้นสัมพัทธ์

รูปที่ 3 แสดงผลการควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะขณะมีการเพาะงอกเมล็ดข้าวกล้องในกระบวนการแช่น้ำ การบ่ม และการชะล้างผ่านต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติและการเพาะแบบวิสาหกิจชุมชน ณ ช่วงเวลาเพาะงอกต่างกัน สำหรับต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติเมื่อผู้ใช้อุปกรณ์ควบคุมสภาวะอุณหภูมิห้องเพาะที่ 2 ระดับคือ 35 และ

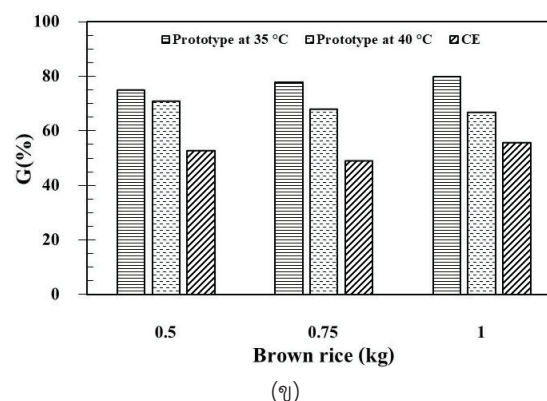
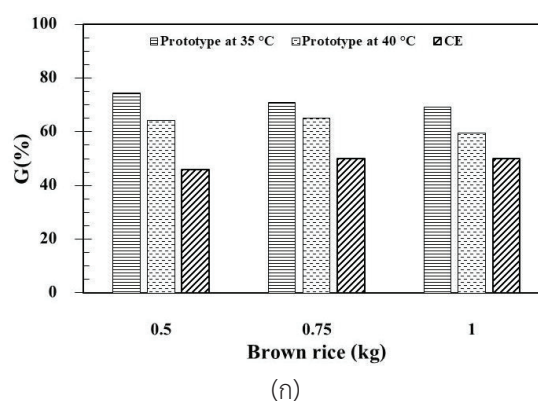
40 °C ที่ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 45 ถึง 60 %RH สังเกตว่าที่ระดับควบคุมสภาวะอุณหภูมิ 35 °C ซึ่งระบบเพาะงอกสามารถรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะ 35.25 ± 0.66 °C และ 53.29 ± 2.40 %RH ตามลำดับ ส่วนระดับการควบคุมสภาวะอุณหภูมิ 40 °C ระบบเพาะงอกสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะ 40.47 ± 1.04 °C และ 43.31 ± 3.12 %RH ตามลำดับ ในทางกลับกัน การเพาะงอกแบบวิสาหกิจชุมชนจะไม่สามารถควบคุมสภาวะการเพาะงอกส่งผลให้ข้อมูลการอ่านผ่านตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะประมาณ 30.95 ± 0.37 °C และ 83.52 ± 2.21 %RH ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติสามารถควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะได้ตามเป้าหมายตลอดช่วงเวลาเพาะงอกมีความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนที่ต่ำ

4.2 ผล G(%) ของจมูกข้าวกลิ้ง

การศึกษาค่า G(%) ของจมูกข้าวกลิ้งที่เหมาะสมจะทดลองเพาะงอกในแต่ละสภาพเพาะปริมาณ 0.5, 0.75 และ 1 kg. ความหนาชั้นเมล็ดข้าวกลิ้ง 3 ระดับคือ 1, 1.5 และ 2 cm.ตามลำดับ ผ่านต้นแบบระบบเพาะงอกที่ควบคุมสภาวะห้องเพาะแบบอัตโนมัติเทียบเคียงกับการเพาะแบบวิสาหกิจชุมชน ณ ช่วงเวลาเพาะงอก 24 และ 48 ชั่วโมง ค่า G(%) ของจมูกข้าวกลิ้งเมื่อเปรียบเทียบกับความสมบูรณ์เมล็ดข้าวกลิ้งก่อนเพาะงอกเป็น 100 % โดยปริมาณข้าวกลิ้งเท่ากันหลังเพาะงอกด้วยต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติและการเพาะแบบวิสาหกิจชุมชน ณ ช่วงเวลาเพาะงอกที่ต่างกัน ผลพบว่าการเพาะงอกทั้ง 2 ช่วง ที่ควบคุมสภาวะห้องเพาะ 35 °C และ ให้ค่า G(%) ของจมูกข้าวกลิ้งสูงกว่าการควบคุมสภาวะห้องเพาะ 40 °C และการไม่ควบคุมสภาวะในการเพาะแบบวิสาหกิจชุมชน ตามลำดับ ดังรูปที่ 4

ดังนั้น สรุปได้ว่าตัวแปรสำคัญต่อค่า G(%) ของจมูกข้าวกลิ้งคือ สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะ และช่วงเวลาเพาะงอก ซึ่งต้นแบบระบบเพาะงอก

แบบอัตโนมัติที่จัดสร้างขึ้นเพาะนาน 48 ชั่วโมง ที่ควบคุมสภาวะอุณหภูมิห้องเพาะ 35°C มีค่าเฉลี่ย G(%) ของจมูกข้าวกลิ้งที่สูงขึ้นและสูงสุดที่ปริมาณการเพาะงอก 1 kg. ประมาณ 80 ± 6.76 % กว่ากรณีที่ควบคุมสภาวะการเพาะงอกแบบอื่นๆ ในส่วนการเพาะงอกแบบวิสาหกิจชุมชนจะไม่สามารถควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะจึงส่งผลให้การงอกของจมูกข้าวกลิ้งไม่เกิน 60 % และยังส่งผลต่อกลิ่นเหม็นเปรี้ยวอันเนื่องด้วยการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์และการสะสมของเชื้อรากับข้าวกลิ้งงอกได้ [5], [9], [13]

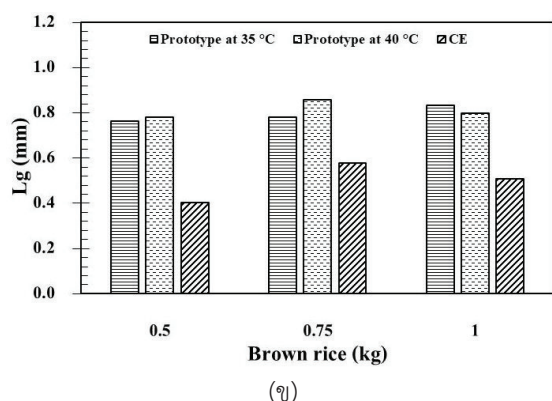
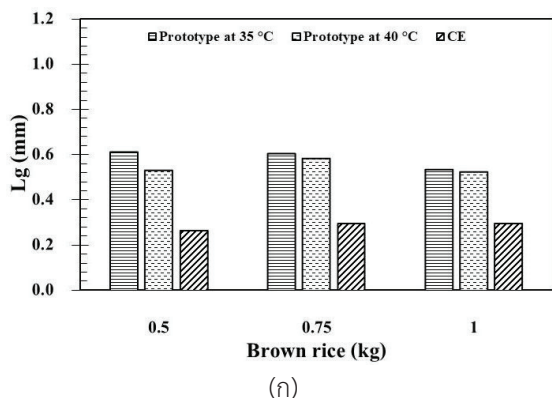


รูปที่ 4 ค่า G(%) ของจมูกข้าวกลิ้งหลังกระบวนการเพาะงอก (ก) 24 ชั่วโมง และ (ข) 48 ชั่วโมง

4.3 ผล Lg ของข้าวกลิ้ง

การพิจารณา Lg ของข้าวกลิ้งหลังผ่านกระบวนการเพาะงอกทั้ง 2 วิธี จะนำเมล็ดข้าวกลิ้งที่เกิดการงอกสมบูรณ์จำนวน 5 เมล็ด ที่สุ่มหยิบแต่ละตำแหน่ง

ในสภาพเพาะงอกและวัด Lg ของข้าวกล้องด้วยเวอร์เนียร์
คาลิเปอร์ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 Lg ของข้าวกล้องหลังเพาะงอกทั้ง 2 วิธี (ก) 24 ชั่วโมง และ (ข) 48 ชั่วโมง

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบ Lg ของข้าวกล้องหลังเพาะงอกระหว่างต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติกับการเพาะงอกแบบวิสาหกิจชุมชน โดยการเพาะงอกทั้ง 2 วิธี ใช้ปริมาณตัวอย่างข้าวกล้องที่บรรจุในแต่ละถาดเพาะงอกทั้ง 3 ถาดเท่ากัน จะทดสอบแต่ละกรณีในถาดเพาะงอกที่ระดับขึ้นความหนาตัวอย่างข้าวกล้อง 3 ระดับ ณ ช่วงเวลาเพาะงอก 24 และ 48 ชั่วโมง ผลพบว่าทั้ง 2 ช่วงเวลาเพาะงอก ณ ระดับขึ้นความหนาของเมล็ดข้าวกล้องที่ต่างกัน หลังการเพาะงอกผ่านต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติในช่วงเวลาเพาะงอก 24 ชั่วโมง ที่ควบคุมสภาวะอุณหภูมิห้องเพาะ 35 °C และ 40 °C จะไม่ส่งผลต่อปริมาณ Lg ของข้าวกล้องมีค่าเฉลี่ยประมาณ

0.58±0.042 mm. และ 0.55±0.032 mm. ตามลำดับ ในส่วนช่วงเวลาเพาะงอก 48 ชั่วโมง มีปริมาณ Lg ของข้าวกล้องเฉลี่ยประมาณ 0.79±0.036 mm. และ 0.81±0.041 mm. ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่า ต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นนั้นมีกระบวนการชะล้างและการพรมน้ำในลักษณะของสเปรย์ทั่วถึงทุกเมล็ดข้าวกล้องและควบคุมสภาวะห้องเพาะที่เหมาะสมนั่นเอง ซึ่งเมล็ดข้าวกล้องเมื่ออยู่ในสภาวะช่วงการเจริญเติบโตจะมีการเปลี่ยนแปลงเชิงชีวเคมีและสารอาหารที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวกล้อง จะเริ่มเปลี่ยนแปลงเมื่อน้ำได้แทรกซึมผ่านรูพรุนเข้าไปในเนื้อเมล็ดข้าวกล้องและไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ เมื่อเมล็ดข้าวกล้องเริ่มเกิดการงอกบริเวณจมูกข้าวกล้องทำให้ปริมาณสารอาหารที่ถูกกักเก็บภายในเนื้อเมล็ดข้าวกล้องจะถูกย่อยสลายตามกระบวนการเชิงชีวเคมีเกิดเป็นสารประเภทน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) และคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลงหรือโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide) ซึ่งสารนี้จะทำหน้าที่เป็นสารพรีไบโอติก (Prebiotic) ช่วยในการย่อยอาหารและดูดซึมอาหาร นอกจากนี้ โปรตีนในเมล็ดข้าวกล้องจะถูกย่อยให้เกิดเป็นไบโพไทด์และกรดอะมิโน รวมถึงยังสะสมสาระสำคัญต่างๆ เช่น สาร GABA แกมมาออริซานอล และสารเคมีอื่นๆ [1], [5], [9], [11]

4.4 ผลมิติเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติ

การลงทุนของต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติต้องอาศัยการวิเคราะห์มิติเชิงเศรษฐศาสตร์ในการศึกษาความน่าสนใจว่ามีความคุ้มค่าหรือเหมาะสมที่จะลงทุนเชิงธุรกิจในอนาคต ซึ่งดัชนีที่สามารถบ่งชี้ว่าต้นแบบระบบเพาะงอกนั้นมีความน่าสนใจเพียงใดคือ ผลตอบแทน และระยะเวลาคืน จากผลเพาะงอกปริมาณข้าวกล้องถาดละ 1 kg. จำนวน 3 ถาด มีค่า G(%) ที่สูงและ Lg ของข้าวกล้องเมื่อผ่านต้นแบบระบบเพาะงอกที่ควบคุมห้องเพาะในสภาวะอุณหภูมิ 35.25±0.66 °C และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 53.29±2.40 %RH ณ ช่วงเวลาเพาะงอก 48 ชั่วโมง (2 วันต่อการเพาะงอก) สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

- กำหนดอายุการใช้งานของต้นแบบระบบเพาะ
งอก 10 ปี
- กำหนดอัตราดอกเบี้ยตลอดอายุการใช้งาน
9.75% [ธนาคารกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)]
- เงินลงทุนในการสร้างต้นแบบระบบเพาะงอก
17,400 บาท
- มูลค่าซาก 10% ของเงินทุนในการสร้างต้นแบบ
ระบบเพาะงอกเท่ากับ 1,740 บาท
- ค่าบำรุงรักษารายปี 5% ของเงินทุนในการสร้าง
ต้นแบบระบบเพาะงอก 870 บาท
- ค่าต้นทุนข้าวกล้อง 3 kg. ต่อครั้งการเพาะงอก
(ข้าวกล้อง 1 kg. เป็นเงิน 35 บาท/kg.) ใช้ข้าวกล้อง
ทั้งหมด 540 kg./ปี เป็นเงิน 18,900 บาท
- ราคาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสูงกว่าข้าวกล้อง
5 เท่า คิดเป็นเงิน 175 บาท/kg.
- ต้นแบบระบบเพาะงอกใช้กำลังไฟฟ้า
1,254 วัตต์ หรือ 1.254 หน่วย ค่าไฟฟ้าหน่วยละ
2.348 บาท [17] คิดค่าไฟฟ้าทั้งสิ้น 16,956 บาทต่อปี
จากเงินลงทุนสามารถคิดเป็นเงินลงทุนรายปีได้ดังนี้
[18],[19]

$$\begin{aligned}\text{เงินลงทุนรายปี} &= 17,400 \text{ CRF } (9.75\%, 10) \\ &= 17,400(i(1+i)^n)/((1+i)^n-1) \\ &= 17,400(0.0975(1+0.0975)^{10})/((1+0.0975)^{10}-1) \\ &= 2,801.429 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{มูลค่าซากรายปี} &= 1,740 \text{ SFF } (9.75\%, 10) \\ &= 1,740(i/((1+i)^n-1)) \\ &= 1,740(0.0975/(1+0.0975)^{10}-1) \\ &= 110.492 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

$$\text{ค่าบำรุงรักษา} = 17,400 \times 0.05 = 870 \text{ บาทต่อปี}$$

รวมเงินลงทุนรายปี = (เงินลงทุนในการสร้างต้นแบบ
ระบบเพาะงอก + เงินลงทุนในการดูแลรักษารายปี + ค่า
ต้นทุนข้าวกล้องรายปี + ค่าไฟฟ้ายรายปี) - (มูลค่าซากราย

$$\begin{aligned}\text{ปี}) &= 2,801.429 + 870 + 18,900 + 16,956 - 110.492 \\ &= 39,416.940 \text{ บาท}\end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาการเพาะงอกผ่านต้นแบบระบบเพาะ
งอกแบบอัตโนมัติมาใช้ในการวิเคราะห์หารายได้ที่เพิ่มขึ้น
คือ ณ ช่วงเวลาเพาะงอก 48 ชั่วโมง (2 วันต่อการเพาะ
งอก) ได้ 3 kg. เมื่อหักต้นทุนการผลิตที่เป็นค่าวัตถุดิบ ค่า
ไฟฟ้าตลอดกระบวนการเพาะงอกข้าวกล้องแล้วกำไร
กิโลกรัมละ (175-35) = 140 บาท จะได้ผลตอบแทนจาก
การใช้ต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติต่อปีมีค่า
(140 × 540) = 75,600 บาท จากมูลค่าเงินลงทุนรายปี
39,416.940 บาท ดังนั้นจุดคุ้มทุนจากการใช้ต้นแบบ
ระบบเพาะงอกมีค่า 0.71 ปี หรือประมาณ 8 เดือน
15 วัน อย่างไรก็ตาม สรุปได้ว่าต้นแบบระบบเพาะงอก
แบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริงและ
คุ้มค่าต่อการลงทุนในอนาคต นอกจากนี้ ยังสามารถช่วย
ลดค่าจ้างแรงงานเกษตรกรที่เฝ้าคอยเปลี่ยนถาดน้ำตลอด
กระบวนการเพาะงอกแบบวิสาหกิจชุมชนได้อีกด้วย

5. สรุป

งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาพฤติกรรมการงอกของจมูกข้าว
กล้องนำไปพัฒนาต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติให้
มีประสิทธิภาพสูงเพื่อตอบสนองต่อภาควิสาหกิจชุมชน
จะควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติคือ การเติมน้ำ การแช่
น้ำ การบ่ม การชะล้าง และสภาวะอุณหภูมิและความชื้น
สัมพัทธ์ห้องเพาะ โดยทดลองใช้ข้าวกล้องหอมมะลิ 105
ปริมาณ 3 ระดับคือ 0.5, 0.75 และ 1 kg. ต่อถาดเพาะ
มาวิเคราะห์สภาวะการเพาะงอกที่เหมาะสมต่อ G(%)
และ Lg ของข้าวกล้องที่ช่วงเวลาเพาะงอก 24 และ 48
ชั่วโมง นอกจากนี้ พิจารณาในแง่มิติเชิงเศรษฐศาสตร์ของ
ต้นแบบระบบเพาะงอก

ผลลัพธ์พบว่าช่วงเวลาเพาะงอกที่นานขึ้นส่งผลอย่าง
มีนัยสำคัญต่อ G(%) และ Lg ของข้าวกล้องที่สูงขึ้น
ระบบเพาะงอกนี้สามารถควบคุมสภาวะอุณหภูมิและ
ความชื้นสัมพัทธ์ห้องเพาะที่เหมาะสม 35.25±0.66 °C
และ 53.29±2.40 %RH ตามลำดับ ณ ช่วงเวลาเพาะงอก

48 ข้าวโม่ มี G(%) และ Lg ของข้าวกล้องที่สูงที่สุด เทียบเคียงกับการเพาะงอกแบบกรณีอื่นๆ นอกจากนี้ ยังไม่มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวและไม่มีการสะสมของเชื้อรา ในส่วน มิติเชิงเศรษฐศาสตร์ต้นแบบระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติ ราคา 17,400 บาท เมื่อหักต้นทุนการผลิตที่เป็นค่า วัสดุดิบ ค่าไฟฟ้าตลอดกระบวนการเพาะงอกข้าวกล้อง แล้วกำไร 140 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 75,600 บาทต่อปี จากมูลค่าเงินลงทุนรายปี 39,416.940 บาท และ จุดคุ้มทุนจากการใช้ต้นแบบระบบเพาะงอกประมาณ 8 เดือน 15 วัน จึงเหมาะสมแก่การลงทุนและยกระดับ กระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณทุนสนับสนุนข้อเสนอโครงการงาน สิ่งประดิษฐ์คิดค้นและนวัตกรรมระดับอุดมศึกษา 2561 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลศรีวิชัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Komatsuzaki, K. Tsukahara, H. Toyoshima, T. Suzuki, N. Shimizu and T. Kimura, "Effect of soaking and gaseous phase sprout processing on the GABA content of pre-germinated brown rice," The American Society of Agricultural and Biological Engineer. Paper number: 036073.
- [2] W. Watcharaparpai boon, N. Laohakunjit and O. Kerdchocheun, "An Improved process for high quality and nutrition of brown rice production," Food Sci. Technol. Int., vol. 16, no. 147, pp. 147–158, 2010.
- [3] J.S. Ngyuen and B. Ooraikul, "The physico-chemical, eating and sensorial properties of germinated brown rice," Int. J. Food Agric. Environ, vol. 6, no. 2, pp. 119–124, 2008.
- [4] I. Shoichi, "Marketing of value-added rice product in Japan: germinated brown rice and bread," in *FAO Rice Conf.*, Italy: Rome, And Agriculture 50, 2004, pp. 889–892.
- [5] S. Parnsakhorn and J. Lungapin, "The easy to make germinated brown rice and its benefit," 1st ed, Triple Group Co, Ltd., Institute of research and development, RUMTT, Pathum Thani. Thailand, 2013.
- [6] National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, "Good manufacturing for germinated brown rice," Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand, Sep. 2012.
- [7] K. Ohtsubo, K. Suzuki, Y. Yasui and T. Kasumi, "Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder," J. Food Compos. Anal. vol. 18, pp. 303–316, 2005.
- [8] W. Varanyanond, P. Tungtrakul, V. Surojanametakul, L. Watansiritham and W. Luxiang, "Effect of water soaking on gamma aminobutyric acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties," Kasetsart J. (Natural Science). vol. 39, pp. 411–415, 2005.
- [9] D. Wattanachaiyingcharoen, "Seed technology in agronomy," Dept. Agric. Sci., Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan Univ., Phitsanulok, 1991.
- [10] W. Rittidech, "Effects of germination on physicochemical properties, cooking and eating qualities of brown rice and red

- rice,” M.S. thesis, Dept. Agroindustry, Naresuan Univ., Phitsanulok, 1993.
- [11] U. Wattanakul, W. Wattanakul and C. Sujarit, “Effects of temperature soaking, germination and cooking to thiamine GABA, antioxidants in sungyod malts and parboiled germinated brown rice,” Faculty of Science and Fisheries Technology, RMUTSV, Trang, Aug. 2013.
- [12] C. Thongwanchai and A. Takkatong, “The design and construction equipment for producing high GABA germinated paddy,” M.S. thesis, Chem. Eng., Khon Kaen Univ., Khon Kaen, 2011.
- [13] C. Tongwanchai, A. Artnaseaw and T. Kumsaen, “Producing apparatus of germinated paddy rice,” in *ME-NETT23*, Chiang Mai., 2011
- [14] P. Tungtrakul, “Utilization of rice germ and germinated brown rice for health food products,” Kasetsart Univ. Res. Dev., Bangkok, 2017.
- [15] D. Koonyodying, S. Elliott and P. Wangpakapattanawong, “Seed germination treatments of some rare tree species for forest restoration in Northern Thailand,” *KKU Res. J.*, vol. 15, no. 10, pp. 951-964, 2010.
- [16] SB. Patil, and MK. Khan, “Germinated brown rice as a value added rice product,” *J. Food Sci. Technol.*, vol. 48, no. 6, pp. 661-667, 2011.
- [17] Metropolitan Electricity Authority (2018, Dec. 6). Normal tariff with consumption [Online]. Available:
<http://www.mea.or.th/profile/109/111>
- [18] S. Piriawat, “Transportation Engineering,” in *chapter 6 Engineering Economics*, Dept. Civil Engineering, Faculty of Eng., Burapha Univ., Chonburi, pp. 245-247, 2008.
- [19] N. Niyomwan, “Application of Japanese mulberry paper production,” Documents for the seminar "Project mulberry paper development, Thip Chang Hotel, Lampang, June 1993