การออกแบบและพัฒนาเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

วิทยานิพนธ์

ของ

เจนจิรา จรรยา

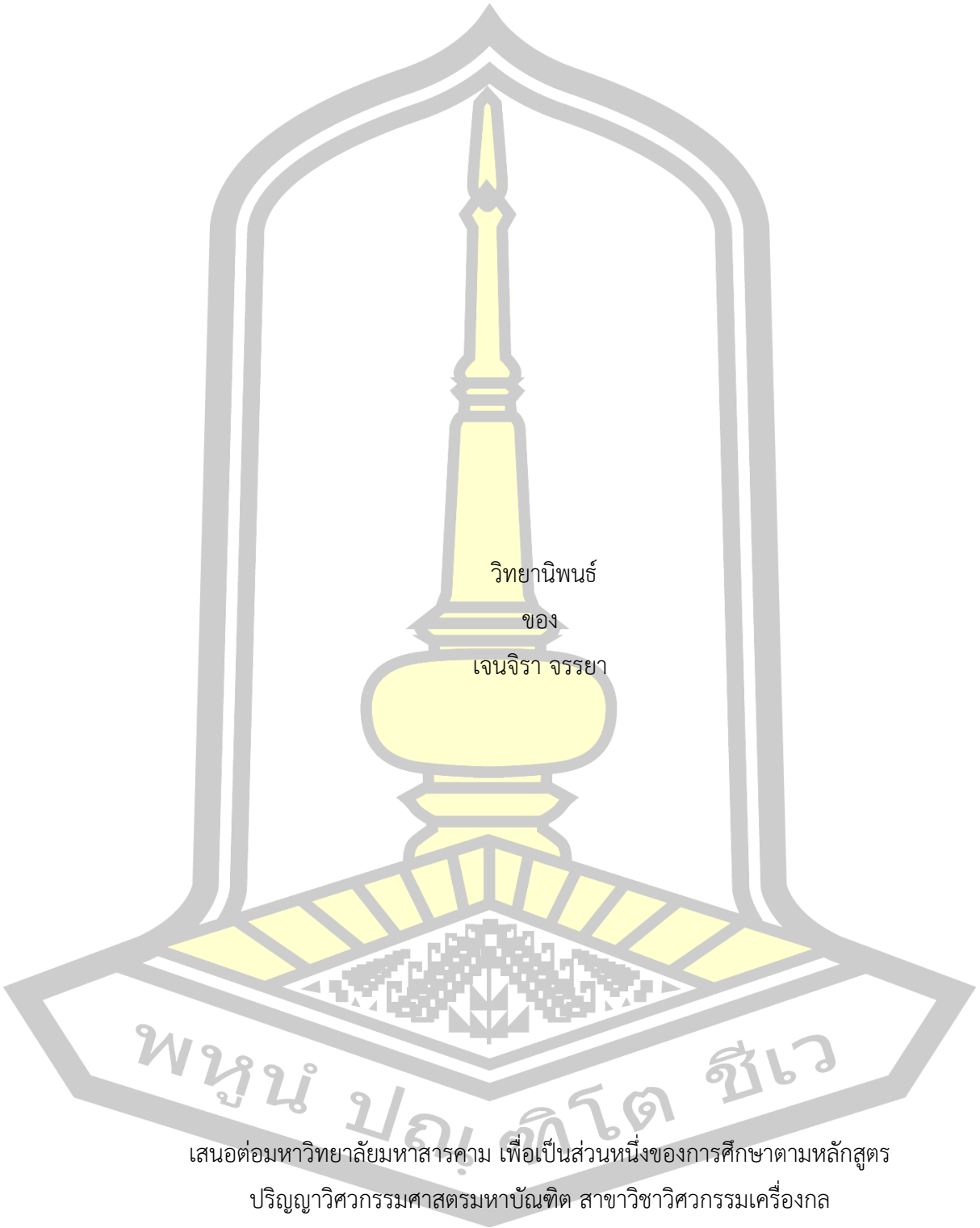
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ธันวาคม 2562

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การออกแบบและพัฒนาเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก



วิทยานิพนธ์

ของ

เจนจิรา จรรยา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ธันวาคม 2562

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Design and Development of a Soaking and Germination of Paddy

Jenjira Chanya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Mechanical Engineering)

December 2019

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวเจนจิรา จรรยา แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ. ดร. สมชาย ชวนอุดม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผศ. ดร. สุพรรณ ยั่งยืน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผศ. ดร. จักรมาส เลาหวณิช)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ละมุล วิเศษ)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ชื่อเรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก
ผู้วิจัย เจนจิรา จรรยา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณ ยั่งยืน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรมาส เลาหวณิช
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก โดยศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละการงอกของข้าวเปลือกภายในเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอก คุณภาพการสีข้าว และค่าสีของข้าวกล้องงอก เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกออกแบบโดยใช้หลักการน้ำไหลผ่านข้าวเปลือกด้วยการสเปรย์น้ำ โดยมีส่วนประกอบหลักและการทำงานของเครื่อง คือ ปั๊มหอยโข่งทำหน้าที่ดูดน้ำจากถังกักเก็บน้ำส่งไปยังหัวฉีดน้ำที่ติดตั้งอยู่ด้านในฝาถังบรรจุข้าวเปลือกเพื่อฉีดสเปรย์น้ำให้แทรกผ่านเมล็ดข้าวเปลือก น้ำที่ผ่านการสเปรย์นี้จะไหลลงสู่รางรับน้ำเพื่อลำเลียงน้ำที่ผ่านการสเปรย์กลับสู่ถังกักเก็บน้ำเพื่อใช้ในการสเปรย์ผ่านข้าวจนครบกระบวนการเป็นการใช้น้ำแบบเวียนซ้ำ ปรับค่าการทำงานของปั๊มโดยระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งปรับค่าเวลาการสเปรย์น้ำ และพักสเปรยน้ำ ด้วยชุดสวิตซ์ตั้งค่าเวลาเพื่อควบคุมเวลาการทำงานของปั๊ม โซลีนอยด์วาล์วควบคุมการส่งจ่ายน้ำในท่อทางและหัวฉีด ทำการทดสอบโดยแปรค่าระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 3 ระดับคือ 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์ 60 90 และ 120 นาที รวมเป็น 9 การทดสอบ เริ่มการทดสอบด้วยการสเปรย์น้ำผ่านข้าวเปลือกอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทุกการทดสอบ แล้วจึงแปรค่าระยะเวลาการสเปรย์น้ำ และพักสเปรย์น้ำ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง รวมระยะเวลาการทดสอบทั้งสิ้น 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับวิธีการผลิตจากสถานประกอบการที่แช่ข้าวเปลือกเป็นเวลา 17 ชั่วโมง แล้วเพาะงอก 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ และพักสเปรย์น้ำมีผลต่อร้อยละการงอก ($p<0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาการสเปรย์น้ำสูงขึ้นจะส่งผลให้แนวโน้มของร้อยละการงอกเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกันกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำแต่พบว่าไม่ควรพักสเปรย์น้ำเกิน 90 นาที เนื่องจากการพักสเปรย์นานทำให้เมล็ดข้าวได้รับออกซิเจนและน้ำไม่เพียงพอต่อการงอกทำให้ร้อยละการงอกลดลง ปริมาณสาร GABA ที่พบในข้าวกล้องงอกที่ผ่านการทดสอบพบว่า ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ และพักสเปรย์น้ำมีผลต่อปริมาณสาร GABA ($p<0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาสเปรย์น้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสาร GABA ลดลง เนื่องจากได้รับออกซิเจนจากการได้รับน้ำมากเกินไปซึ่งสาร GABA จะเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวเกิดความเครียดในสภาวะที่มี

ออกซิเจนน้อย เมื่อพิจารณาคุณภาพการสี พบว่า เมื่อระยะเวลาการพักสเปรย์เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวลดลง ($p<0.05$) ตรงกันข้ามกับความเหลืองของข้าวกล้องงอกเนื่องจากเมื่อระยะเวลาพักสเปรย์เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ข้าวกล้องงอกเหลืองมากขึ้น ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีผลิตจากสถานประกอบการพบว่า ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ไม่พบการงอกแต่จะพบเมื่อระยะเวลาผ่านไป 30 ชั่วโมง ปริมาณสาร GABA มีค่าต่ำกว่าข้าวกล้องงอกจากการทดสอบ ยกเว้นที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ปริมาณร้อยละต้นข้าวมีค่าต่ำ ในขณะที่ค่าความเหลืองของข้าวกล้องงอกมีค่าสูงกว่าข้าวกล้องงอกจากการทดสอบ

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการแช่และเพาะงอกด้วยเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก เมื่อพิจารณาปริมาณสาร GABA ซึ่งเป็นสารสำคัญในข้าวกล้องงอก พบว่าระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 และ 40 นาที พบปริมาณสาร GABA สูง ซึ่งพบในข้าวที่ผ่านการงอกในช่วงร้อยละ 63-83 จากเงื่อนไขดังกล่าว พบค่าร้อยละต้นข้าวสูงกว่า และความเหลืองของข้าวกล้องงอกต่ำกว่าวิธีการผลิตจากสถานประกอบการ เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกกับเครื่องจักรของสถานประกอบการพบว่า สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 2.8 เท่า

คำสำคัญ : การเพาะงอก, ข้าวกล้องงอก, เครื่องแช่และเพาะงอก, สาร GABA

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

TITLE Design and Development of a Soaking and Germination of Paddy

AUTHOR Jenjira Chanya

ADVISORS Assistant Professor Suphan Yangyuen , Ph.D.

Assistant Professor Juckamas Laohavanich , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Mechanical Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2019

ABSTRACT

The research has an objective to design and development machine for soaking and germination of paddy. The study purposes to study about the factors that effect to the percentage of germination within 24 hours, the amount of GABA in GBR, the percentage of head rice yield, and yellowness. The soaking and germination of paddy machine was designed under the principle of spraying water through the paddy. The pumps are the important component of this machine, which was installed to pump water from the storage tank and transport the water to the spraying nozzle that were installed inside the tube of the paddy tank and spray water through to the paddy. It was flowed back to the water storage tank. The process is complete. The pump was used to control system automatically. It as used for adjusting the spray time and the amount of water. Spray timing can be programmed to control by the pump. Solenoid valve will be used to control the water distribution in pipelines and nozzles. The spraying on will be studied in 3 levels, which are 20 minutes, 40 minutes and 60 minutes. The spraying off will be studied, which are 60 minutes, 90 minutes and 120 minutes. Therefore, we have to study in 9 treatments. The study will start with spraying water on through paddy continuously for 4 hours. Therefore, the details of the duration of the water spray on and spray off for 20 hours. The period of study is totally to 24 hours. The researcher will compare the result with the factory method that were designed by soaking the paddy for 17 hours and then germination for 24 hours . The researcher found that the spraying on and spraying off period effected to the germination percentage

significantly ($p < 0.05$). The longer of spraying on period, the higher of germination percentage. The spraying off period is longer than 90 minutes. It effects to the paddy. The longer spray off period will cause the seeds get insufficient oxygen and water. That effects to the percentage of germination to be lower. The amount of GABA in germinated brown rice, the longer of spraying on period, the lower amount of GABA ($p<0.05$) in the GBR due to the paddy too much oxygen from the water. The amount of GABA will increase when paddy is stressful which means it get low oxygen. The head rice yield, the researcher found that when the spray off period increased, the head rice will decrease ($p<0.05$). It is inverse variation. The yellowness will increase if the spray off period is longer. ($p<0.05$). The researcher compared the study with the method that the production is in the factory, the study found that there is no any germination after 30 hours. The amount of GABA is lower than compare with the GBR of machine for soaking and germinating of paddy. The paddy that were sprayed on for 60 minutes, the head rice yield is low. The yellowness of germinated brown rice, found that the factory medthod is more than the experimented.

From the research, the optimum conditions for soaking and germinating with paddy soaking and germinating machine, if we consider on the GABA which is the essential nutrient, the amount of GABA will be high if we spray water on for 20 and 40 minutes. The GABA will be in the range of 63-83 percent. The head rice yield is higher while the yellowness is lower compare to the GBR that was processed in the factory. The researcher found that the cost of germinated brown rice production can be reduced 2.8 times by using of a soaking and germination of paddy machine.

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ปี 2561 โดยสำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ร่วมกับ บริษัท อาร์ซีเค อะกริมาร์เกตติ้ง จำกัด

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณ ยั่งยืน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรมาส เลาหวณิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษา ให้ความรู้ และคำแนะนำ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ชวนอุดม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ละมุล วิเศษ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีระยศ แข็งขัน อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่กรุณาให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์ในด้านพืช และการเกษตร รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาช่างกลเกษตร สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่กรุณาให้ความรู้ทางด้านการออกแบบและสร้างตลอดถึงการควบคุมการใช้งานเครื่องแซ่และเพาะงอกข้าวเปลือก ขอขอบพระคุณ คุณจอมพจน์ เกษมรุ่งชัยกิจกรรมการ บริษัท อาร์ซีเค อะกริมาร์เกตติ้ง จำกัด ที่กรุณาให้คำปรึกษา และข้อมูลในการผลิตข้าวกล้องงอก ตลอดจนชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงการผลิตข้าวกล้องงอก ขอขอบพระคุณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว ชุมชนบ้านโนนรัง จังหวัดขอนแก่น ที่กรุณาเอื้อเฟื้อพื้นที่การทดสอบ ที่พัก และอาหารในระหว่างการทดสอบเบื้องต้นทำให้สามารถปรับปรุงข้อมูลจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ ใส่ใจ และสนับสนุนทุนทรัพย์ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

หากเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษา ผู้จัดทำขอมอบความดีทั้งหลายนี้แก่บุคคลที่ได้กล่าวถึงมาทุกท่าน ท้ายที่สุดหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เจนจิรา จรรยา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ซ

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญภาพประกอบ ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 หลักการและเหตุผล 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.3.1 ตัวแปรควบคุม 3

1.3.2 ตัวแปรต้น 3

1.3.3 ตัวแปรตาม 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ข้าว 4

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว 5

2.1.2 คุณลักษณะของข้าว 7

2.2 ข้าวกล้องงอก 11

2.2.2 สาร GABA ในข้าวกล้องงอก 16

2.3 กระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก 17

2.3.1 ขั้นตอนการผลิตข้าวกล้องงอก 17
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าวกล้องงอก 19
2.4 งานวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก 21
2.4.1 การเพาะงอกด้วยอากาศแบบระบบปิด 21
2.4.2 การเติมสารเร่งปฏิกิริยา 22
2.4.3 การฆ่าเชื้อในข้าวกล้องงอก 22
2.4.4 การแช่และเพาะงอกข้าวกล้องงอกโดยใช้น้ำไหลผ่าน 23
2.5 สรุปผลการทบทวนวรรณกรรมสำหรับแนวทางการศึกษา 24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา 27
3.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 28
3.1.1 การศึกษาเงื่อนไขการออกแบบจากทางสถานประกอบการ 28
3.1.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก 28
3.2 การออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 30
3.3 การทดสอบการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 33
3.3.1 การทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 33
3.3.2 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 36
3.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้เครื่องจักรในขั้นตอนการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 38
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปราย 41
4.1 ผลการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 41
4.1.1 เงื่อนไขการออกแบบจากทางสถานประกอบการ 41
4.1.2 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก 42
4.3 ผลการทดสอบการทำงานเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 47
4.3.1 กำลังการผลิตของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 47
4.3.2 ผลของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 48

4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้เครื่องจักรในขั้นตอนการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 55
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 60
5.1 สรุปผลการศึกษา 60
5.1.1 สรุปผลการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 60
5.1.2 สรุปผลการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 60
5.1.3 สรุปผลการทดสอบการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 61
5.1.4 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้เครื่องจักรในขั้นตอนการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 62
5.2 ข้อเสนอแนะ 62
บรรณานุกรม 64
ภาคผนวก 68
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบทางกายภาพของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก 69
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวปลือก 72
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบทางสถิติ 91
ภาคผนวก ง อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิข้าวเปลือก ในระยะเวลาการทดสอบที่ 0-24 ชั่วโมง 103
ภาคผนวก จ ภาพประกอบการทดสอบ และภาพร่างเครื่องแช่และเพาะงอกเปลือก 113
ประวัติผู้เขียน 117

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก 13

ตาราง 2.2 ปริมาณกรดอะมิโนอิสระของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 14

ตาราง 2.3 คุณประโยชน์ของสารชีวภาพในข้าวกล้องงอกที่สำคัญต่อสุขภาพ 15

ตาราง 4.1 ผลการทดสอบทางกายภาพของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก 43

ตาราง 4.2 เปรียบเทียบกำลังการผลิตต่อสัปดาห์ของเครื่องจักรของสถานประกอบการและเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 47

ตาราง 4.3 สรุปคุณภาพของข้าวกล้องงอกจากวิธีการของสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 54

ตาราง 4.4 ราคารวมของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 55

ตาราง 4.5 ค่าใช่จ่ายด้านไฟฟ้าการใช้งานเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 56

ตาราง 4.6 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและค่าน้ำประปาเมื่อเปรียบเทียบวิธีการของสถานประกอบการและด้วยเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 57

ตาราง 4.7 เปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องจักรของสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 59

ตาราง ก.1 น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก 70

ตาราง ก.2 ความชื้นของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก 70

ตาราง ก.3 ความหนาแน่นข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก 71

ตาราง ก.4 มุมเสียดทานของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก 71

ตาราง ข.1 การเปลี่ยนแปลงร้อยละการงอกของข้าวเปลือกในช่วงระยะเวลาการแช่และเพาะงอกชั่วโมงที่ 18-24 ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ และการพักสเปรย์น้ำที่แตกต่างกัน 73

ตาราง ข.2 ร้อยละต้นข้าวของข้าวกล้องงอกจากวิธีการของสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 74

ตาราง ข.3 ค่าสีข้าวกล้องงอกจากสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 74

ตาราง ข.4 ปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกจากสถานประกอบการและข้าวกล้องงอกที่ผ่านระยะเวลาการสเปรย์น้ำและการพักสเปรย์น้ำที่แตกต่างกัน 75

ตาราง ข.5 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24 76

ตาราง ข.6 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24 77

ตาราง ข.7 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24 78

ตาราง ข.8 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24 79

ตาราง ข.9 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24 80

ตาราง ข.10 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24 81

ตาราง ข.11 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24 82

ตาราง ข.12 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24 83

ตาราง ข.13 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24 84

ตาราง ข.14 ร้อยละต้นข้าวของข้าวกล้องงอกจากวิธีการผลิตขิงสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 85

ตาราง ข.15 ค่าสีของข้าวกล้องงอกจากวิธีการผลิตขิงสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 87

ตาราง ข.16 ค่าปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกจากวิธีการผลิตขิงสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 89

ตาราง ค.1 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 18-24 92

ตาราง ค.2 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของร้อยละต้นข้าวที่ได้จากการทดสอบ 92

ตาราง ค.3 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความสว่างของข้าวกล้องงอกที่ได้จากการทดสอบ 92

ตาราง ค.4 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความเหลืองของข้าวกล้องงอกที่ได้จากการทดสอบ 93

ตาราง ค.5 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณสาร GABA ของกล้องงอกที่ได้จากการทดสอบ 93

ตาราง ค.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 18 94

ตาราง ค.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 19 94

ตาราง ค.8 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 20 95

ตาราง ค.9 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 21 95

ตาราง ค.10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 22 96

ตาราง ค.11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 23 96

ตาราง ค.12 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 24 97

ตาราง ค.13 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละต้นข้าวของข้าวกล้องงอกในการทดสอบ 98

ตาราง ค.14 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความใสของข้าวกล้องงอกในการทดสอบ 98

ตาราง ค.15 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความเป็นสีแดงของข้าวกล้องงอกในการทดสอบ 99

ตาราง ค.16 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความเหลืองของข้าวกล้องงอกในการทดสอบ 99

ตาราง ค.17 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกในการทดสอบ 100

ตาราง ง.1 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24 104

ตาราง ง.2 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24 105

ตาราง ง.3 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24 106

ตาราง ง.4 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24 107

ตาราง ง.5 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24 108

ตาราง ง.6 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24 109

ตาราง ง.7 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24 110

ตาราง ง.8 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24 111

ตาราง ง.9 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24 112

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 2.1 แสดงโครงสร้างภายในของข้าวเปลือก (Juliano et al. , 1993) 7

ภาพประกอบ 2.2 ความแตกต่างของข้าวกล้องงอกและข้าวขัดสี (Tsukahara, 2004)..... 11

ภาพประกอบ 2.3 การงอกของข้าวกล้อง (ก) และการงอกของข้าวเปลือก (ข) 12

ภาพประกอบ 2.4 พันธะเคมีของสาร GABA (Jynto, 2011)..... 16

ภาพประกอบ 2.5 การทดลองกระบวนการเพาะงอกด้วยอากาศระบบปิด..... 21

ภาพประกอบ 2.6 เครื่องผลิตข้าวกล้องงอกขนาดเล็กที่ใช้หลักการสเปรย์น้ำล้างข้าวกล้องงอก 23

ภาพประกอบ 2.7 กระบวนการแช่และเพาะงอกโดยใช้หลักการน้ำไหลเวียนผ่านข้าว..... 24

ภาพประกอบ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน 27

ภาพประกอบ 3.2 ภาพการทดสอบหามุมเสียดทานสถิต 29

ภาพประกอบ 3.3 แผนผังการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 30

ภาพประกอบ 3.4 ส่วนประกอบของถังบรรจุข้าวเปลือก 31

ภาพประกอบ 3.5 รายละเอียดส่วนประกอบของถังบรรจุข้าวเปลือก 32

ภาพประกอบ 3.6 รายละเอียดโครงสร้างเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก..... 33

ภาพประกอบ 3.7 วิธีการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยวิธีการของสถานประกอบการ 34

ภาพประกอบ 3.8 วิธีการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 35

ภาพประกอบ 3.9 วิธีการนึ่ง (ก) ผึ่ง (ข) อบลดความชื้น(ค) และตากในที่ร่ม (ง) 35

ภาพประกอบ 3.10 ตำแหน่งการสุ่มนับร้อยละการงอกของข้าว 36

ภาพประกอบ 3.11 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า 39

ภาพประกอบ 4.1จุดแกนเพลาเกิดการแอ่นตัว (ก) ลักษณะการขนถ่ายข้าวออกจากถัง (ข)..... 42

ภาพประกอบ 4.2 อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 44

ภาพประกอบ 4.3 โซลินอยด์วาล์ว แบบ 2/2 ทาง..... 45

ภาพประกอบ 4.4 ลักษณะการติดตั้งหัวฉีดสเปรย์น้ำด้านในของฝาถังแช่และเพาะงอก 45

ภาพประกอบ 4.5 ลักษณะการบรรจุ (ก) และขนถ่ายข้าวออกจากถังบรรจุข้าวเปลือก (ข)..... 46

ภาพประกอบ 4.6 ลักษณะการเติมออกซิเจนในระหว่างน้ำไหลลงสู่รางรับน้ำ..... 46

ภาพประกอบ 4.7 เปรียบเทียบลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก (ก) และเมล็ดข้าวเปลือกงอก (ข)..... 48

ภาพประกอบ 4.0.8 ข้าวเปลือกหลังผ่านทดสอบด้วยเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยระยะเวลาสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 (ก) 90 (ข) และ 120 (ค) นาที ระยะเวลาสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 (ง) 90 (จ) และ 120 (ฉ) นาที ของระยะเวลาสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 (ช) 90 (ซ) และ 120 (ญ) นาที 49

ภาพประกอบ 4.9 ร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 18-24 ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที 50

ภาพประกอบ 4.10 ร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 18-24 ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที 50

ภาพประกอบ 4.11 ร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 18-24 ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที 50

ภาพประกอบ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละต้นข้าวและร้อยละการงอก ที่ระยะเวลาสเปรย์น้ำ 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 90 และ 120 นาที..... 51

ภาพประกอบ 4.13 ค่าความเหลืองของข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาสเปรย์น้ำ 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 90 และ 120 นาที 52

ภาพประกอบ 4.14 ปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาสเปรย์น้ำ 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 90 และ 120 นาที 53

ภาพประกอบ ค.1 อิทธิพลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อร้อยละการงอก..... 100

ภาพประกอบ ค.2 อิทธิพลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อร้อยละต้นข้าว 101

ภาพประกอบ ค.3 อิทธิพลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความเหลืองของข้าวกล้องงอก 101

ภาพประกอบ ค.4 อิทธิพลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA..... 102

ภาพประกอบ จ.1 เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก..... 114

ภาพประกอบ จ.2 ตำแหน่งการสุ่มวัดร้อยละการงอก 114

ภาพประกอบ จ.3 การนึ่งและผึ่งก่อนการลดความชื้น 115

ภาพประกอบ จ.4 อบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้ง 115

ภาพประกอบ จ.5 ภาพร่างเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก 116

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันมีผู้บริโภคสนใจรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น ข้าวกล้องงอกเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นแหล่งสะสมสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย รวมถึงมี Gamma-Aminobutyric acid หรือที่เรียกกันว่า สาร GABA ในปริมาณที่สูง ซึ่งมากกว่าข้าวกล้องอยู่ถึง 11.5 เท่า (Ohtsubo et al., 2005) สาร GABA ทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทส่วนกลางช่วยรักษาความสมดุลในสมอง ช่วยรักษาระดับฮอร์โมนในร่างกายสม่ำเสมอ ควบคุมระดับน้ำตาลและคลอเลสเตอรอลในกระแสเลือด

ข้าวกล้องงอกสามารถผลิตได้ทั้งข้าวเปลือกและข้าวกล้อง โดยเริ่มแรกผลิตตามกรรมวิธีตามภูมิปัญญาท้องถิ่นทำได้โดย นำข้าวเปลือกไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 คืน ในขั้นตอนการแช่นี้ควรต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำแช่อยู่เสมอ เนื่องจากหากปล่อยให้ข้าวแช่น้ำนานจนเกินไป จะทำให้ข้าวมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ ขั้นตอนต่อมาคือ การเพาะงอก ทำได้โดยนำข้าวขึ้นจากน้ำแช่แล้วนำข้าวบรรจุใส่กระสอบเป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดการงอก จากนั้นนำข้าวที่ผ่านแช่และเพาะงอกนึ่งด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลาประมาณ 20 นาที เพื่อให้ข้าวหยุดงอกและทำการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในเมล็ดข้าวออก หลังจากนั้นนำข้าวกล้องงอกที่ได้ลดความชื้นจนเหลือความชื้นฐานเปียกประมาณร้อยละ 14 จึงสามารถเก็บรักษาเพื่อรอการสี และบริโภคต่อไป หากใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นจะส่งผลให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณสาร GABA สูงกว่าข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวกล้องอยู่ถึง 2 เท่า (Moongngarm and Saetung, 2010) ด้วยเหตุนี้ผู้ประกอบการและเกษตรกรจึงนิยมใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ทั้งนี้ยังได้รับการตอบรับจากผู้บริโภคเป็นอย่างดีอีกด้วย

จากที่กล่าวถึงกรรมวิธีการผลิตข้าวกล้องงอกข้างต้นจะเห็นได้ว่า การแช่และการเพาะงอกเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดสาร GABA ในข้าว จึงมีงานวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในการแช่และเพาะงอกเพื่อต้องการเพิ่มปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอกอย่างหลากหลายสายพันธุ์ โดยใช้วิธีการวิธีการที่แตกต่างกันออกไป เช่น กระบวนการเพาะงอกด้วยอากาศระบบปิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Komatsuzaki et al., 2007) การเติมสารเร่งปฏิกิริยาโดยการแช่ในน้ำปรับสภาพเป็นกรดอ่อนด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็น

เวลา 8 ชั่วโมง แล้วเพาะงอกต่ออีก 36 ชั่วโมง (จารุรัตน์ และคณะ , 2550) การทดสอบโดยแช่ในน้ำปรับกรดอ่อนด้วยกรดซิตริกเป็นเวลา 36 ชั่วโมง (นฤมล และคณะ, 2557) การเติมน้ำหมักชีวภาพในน้ำแช่แล้วแช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเพาะงอกต่อ 24 ชั่วโมง (อภิชาติ อาจนาเสียว, 2553) การฆ่าเชื้อโดยการสเตอริไลส์ด้วยสารละลายโซเดียมโดยมีการล้างทำความสะอาดโดยพบว่าข้าวที่ผ่านการแช่ 96 ชั่วโมง พบปริมาณสาร GABA มากที่สุด (Ohtsubo et al., 2005) การแช่ข้าวและเพาะงอกแล้วนำมาปรับความชื้นด้วยการแช่น้ำแล้วนำไปฆ่าเชื้อ (สุนัน และจตุรงค์, 2559) การสเปรย์น้ำล้างข้าวกล้องงอกทุก ๆ 4 ชั่วโมง พบว่าจุลินทรีย์ในข้าวกล้องงอกมีค่าลดลง (สุนัน และคณะ, 2553) และการแช่ข้าวกล้องโดยใช้น้ำไหลผ่าน (ศิโรรัตน์ และวินิต, 2555) โดยพบว่าปริมาณสาร GABA มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่ข้าวเปลือกในน้ำนิ่ง ซึ่งพบว่างานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่แตกต่างเนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้หลักการน้ำไหลเวียนแทรกผ่านเมล็ดข้าวและสามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนนี้ได้อีกด้วย แต่ยังเป็นงานวิจัยที่อยู่ในขั้นตอนการทดลองขนาดเล็กที่ยังไม่ถูกประยุกต์ให้เข้ากับการใช้งานจริง

จากประเด็นดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนากระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกในขั้นตอนการแช่และเพาะงอก ออกแบบโดยใช้หลักการน้ำไหลเวียนซ้ำด้วยการสเปรย์น้ำผ่านเมล็ดข้าวเปลือกเพื่อเพิ่มความชื้นแก่เมล็ดข้าวร่วมกับการพักสเปรย์น้ำเพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดการเพาะงอก โดยคาดว่าสามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนการแช่และเพาะงอก ทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิต และง่ายต่อการใช้งานแก่ผู้ประกอบการ โดยข้าวกล้องงอกที่ได้มีคุณภาพดีกว่าการผลิตข้าวกล้องงอกในรูปแบบเดิม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

2) เพื่อศึกษาระยะเวลาการสเปรย์น้ำ และพักสเปรย์น้ำที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาภายใต้เงื่อนไขการผลิตข้าวกล้องงอกที่ใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบโดยมีตัวแปรที่ใช้ทำการศึกษาดังนี้

1.3.1 ตัวแปรควบคุม

1) วัตถุดิบที่ใช้ทำการทดสอบ คือ ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีร้อยละการงอกเริ่มต้นที่ 98.00

2) ทดสอบที่สภาวะแวดล้อมเดียวกันทุกการทดสอบ

3) อัตราส่วนมวลข้าวเปลือกต่อปริมาตรน้ำที่ใช้ทำการทดสอบ คือ 1:5 กิโลกรัมต่อลิตร

4) อัตราการไหลของการสเปรย์น้ำ 2.4 ลิตรต่อกิโลกรัมข้าวเปลือกต่อนาที

5) การสเปรย์น้ำผ่านข้าวแบ่งเป็น 2 ช่วง โดยช่วงที่ 1 คือ การสเปรย์น้ำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นเป็นช่วงที่ 2 แปรค่าระดับการสเปรย์ และพักสเปรย์น้ำซึ่งจะกล่าวไว้ในตัวแปรต้น

6) ทุกการทดสอบมีระยะเวลาการทดสอบรวม 24 ชั่วโมง

7) ทุกการทดสอบจะต้องนำข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่และเพาะงอกแล้วเข้าสู่ขั้นตอนการนึ่ง และอบแห้งที่สภาวะเดียวกัน

1.3.2 ตัวแปรต้น

1) ศึกษาระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 3 ระดับคือ 20 40 และ 60 นาที

2) ศึกษาระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 3 ระดับคือ 60 90 และ 120 นาที

1.3.3 ตัวแปรตาม

1) กำลังการผลิตของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

2) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

3) ค่าใช้จ่ายในการผลิตข้าวกล้องงอกเมื่อผลิตด้วยเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ภายหลังเสร็จสิ้นการศึกษาคาดว่าจะได้สร้างเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกที่สามารถใช้งานได้จริง ส่งผลให้มีการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกในระดับอุตสาหกรรมได้

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกเพื่อแปรรูปเป็นข้าวกล้องงอก จำเป็นต้องศึกษาหาความรู้พื้นฐานของข้าว ข้าวกล้องงอก การผลิตข้าวกล้องงอก ปัจจัยในการงอกของข้าว และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาการผลิตข้าวกล้องงอก เพื่อรวบรวมข้อมูลใช้ในการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวกล้องงอกในขั้นตอนเดียว โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ข้าว

ข้าว (Rice) เป็นพืชตระกูลหญ้า (วงศ์ Gramineae) ซึ่งเป็นพืชล้มลุกมีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน มีใบชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว มีระบบรากฝอย เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ปลูกได้ในที่ราบจนถึงพื้นที่สูง 2,500 เมตร จากระดับน้ำทะเล และสามารถปลูกในพื้นที่มีน้ำขัง หรือไม่ขัง ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ในดินหลายประเภทที่มีความเป็นกรดด่าง และความเค็มต่างกัน ในประเทศไทยมีพันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกอยู่ประมาณ 3,500 พันธุ์ ในปัจจุบันข้าวที่ปลูกเพื่อการบริโภคแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Oryza sativa ซึ่งปลูกในทวีปเอเชีย และ Oryza glaberrima ที่ปลูกในทวีปแอฟริกา โดยข้าวที่ปลูกในแถบเอเชียที่มีการซื้อขายกันในตลาดโลกในปัจจุบันนี้เป็น Oryza glaberrima เกือบทั้งหมด ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามแหล่งที่ปลูก (อัมมาร และวิโรจน์ , 2533) ได้แก่

1) อินดิคา (Indica type) ลักษณะเมล็ดยาวเรียว มีขนาดกว้างประมาณ 2.8 มิลลิเมตร ยาว 9-11 มิลลิเมตร และหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ต้นสูง ไวต่อช่วงแสง ใบเยอะและโค้งงอ มีการตอบสนองต่อปุ๋ยน้อย ให้ผลผลิตที่ค่อนข้างต่ำ แต่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้ง่าย ปลูกเยอะในประเทศเขตร้อนและเขตมรสุม เช่น ประเทศไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย มาเลเซีย เวียดนาม ลาว กัมพูชา พม่า ในอินเดีย และสหรัฐอเมริกา

2) จาปอนิกา (Japonica type) มีลักษณะเมล็ดป้อมสั้น มีขนาดกว้างประมาณ 3.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 7 มิลลิเมตร และหนาประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ต้นเตี้ย ใบตั้งและสั้น ไม่ค่อยไวต่อช่วงแสง มีการตอบสนองต่อปุ๋ยดีมากให้ผลผลิตสูง ปลูกมากในประเทศเขตอบอุ่น เช่น ประเทศจีน เกาหลี ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา

3) จาวานิกา (Javanica type) เป็นข้าวที่มีลักษณะอยู่กลางระหว่าง อินดิคาและ จาปอนิกา เนื่องจากมีเมล็ดป้อมใหญ่เหมือนจาปอนิกา แต่ให้ผลผลิตต่ำกว่าอินดิคา และไม่ค่อยตอบสนองต่อปุ๋ย มีปลูกเฉพาะในประเทศอินโดนีเซียแต่เป็นข้าวที่ค่อนข้างไม่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าว ทางพฤกษศาสตร์ ลักษณะเป็นผลเดี่ยวซึ่งจะติดแน่นอยู่กับผนังของเยื่อหุ้มผล ซึ่งเมื่อผลสุกจะเป็นผลแห้งไม่แตก เรียกว่า เมล็ด มีเยื่อหุ้มผลและเปลือกหุ้มเมล็ดเชื่อมรวมกันตลอดเมล็ดข้าว โดยลักษณะเมล็ดข้าวจะแตกต่างตามพันธุ์ คือ ขนาด รูปร่าง สี การมีหางหรือไม่มีหาง และมีขนหรือไม่มีขนบนเปลือกแข็ง เมล็ดข้าว ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ

1) ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวเรียกว่า แกลบ (hull หรือ husk) ซึ่งประกอบไปด้วย

1.1) เปลือกใหญ่ เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านท้องมีขนาดใหญ่อาจมีหางหรือไม่มี ลักษณะของเปลือกใหญ่จะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้น เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเปลือกเล็กไว้ทั้ง 2 ด้าน ในลักษณะขบอยู่ข้างบนอย่างแน่นสนิท ประมาณ 2 ใน 3 ของเปลือกทั้งหมดตามแนวยาวของเมล็ด

1.2) เปลือกเล็ก เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลังที่มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ ประมาณ 1 ใน 3 ของเปลือกทั้งหมด จะอยู่ใต้เปลือกใหญ่ตามแนวยาว ทำให้เปลือกทั้ง 2 ติดกันสนิทบนผิวเปลือกเล็กจะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 3 เส้น รอยเส้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็ก อาจทำให้ข้าวกล้องเป็นรอยเส้นตามไปด้วย ในข้าวบางพันธุ์ถึงแม้จะผ่านกระบวนการขัดขาวแล้วยังอาจมีรอยเส้นค้างอยู่บนข้าวสารเรียกว่า สาแหรกข้าว

1.3) ขน จะขึ้นบนเปลือกใหญ่ และเปลือกเล็กเป็นส่วนใหญ่ อาจมีบางพันธุ์ที่ไม่มีขนแต่มีเพียงส่วนน้อย ขนที่ว่านี้คือ ส่วนของเซลล์ผิวนอก (epidermal cell) ที่เจริญกลายเป็นขน เพื่อทำหน้าที่ ลดการระเหยของน้ำ ป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นแก่เมล็ดจากสภาวะภายนอก และเพื่อการกระจายพันธุ์ ตามธรรมชาติ โดยช่วยให้เมล็ดติดไปกับสิ่งต่าง ๆ ที่มีโอกาสสัมผัสเมล็ดจนทำให้เมล็ดหลุดติดไปด้วย

1.4) หาง เป็นส่วนปลายของเปลือกใหญ่ที่ยาวออกมาเป็นตำแหน่งยอดดอก อาจสั้นหรือยาว หรืออาจจะไม่มี แตกต่างกันตามสายพันธุ์ ทำหน้าที่ในการกระจายพันธุ์คล้ายขน

1.5) ขั้วเมล็ด เป็นก้านสั้นอยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่ และติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก

1.6) กลีบรองเมล็ด เป็นกลีบเล็ก 2 กลีบ อยู่ตรงข้ามกันอยู่ใต้สุดของเมล็ด

2) ข้าวกล้อง (brown rice) เมื่อกะเทาะเปลือกแกลบออกจากข้าวแล้ว จะได้ข้าวกล้อง ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

2.1) เยื่อหุ้มผล เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกมีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ห่อหุ้มผลอยู่ภายใน มีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์เส้นใย 6 ชั้น มีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่าง ๆ เช่น น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ น้ำตาลแดง น้ำตาลม่วง น้ำตาลจนเกือบดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมี โปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบสำคัญในชั้นเยื่อหุ้มผลนี้แบ่งย่อยได้เป็น 3 ชั้นย่อย คือ

2.1.1) เอพิคาร์พ เป็นผิวหรือผนังหรือ เปลือกที่อยู่นอกสุด มีลักษณะเรียบเหนียว และมัน ประกอบด้วยเซลล์ชั้นเดียว

2.1.2) เมโซคาร์พ เป็นผนังผลชั้นกลาง

2.1.3) เอนโดคาร์พ เป็นเยื่อชั้นใน

2.2) เยื่อหุ้มเมล็ด อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้ามา ประกอบด้วย เซลล์ 2 ชั้น เรียงตามขวางมีผนังบางกั้น ภายในเซลล์มีไขมันและสารสีเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มผล ทำให้ข้าวกล้องมีสี

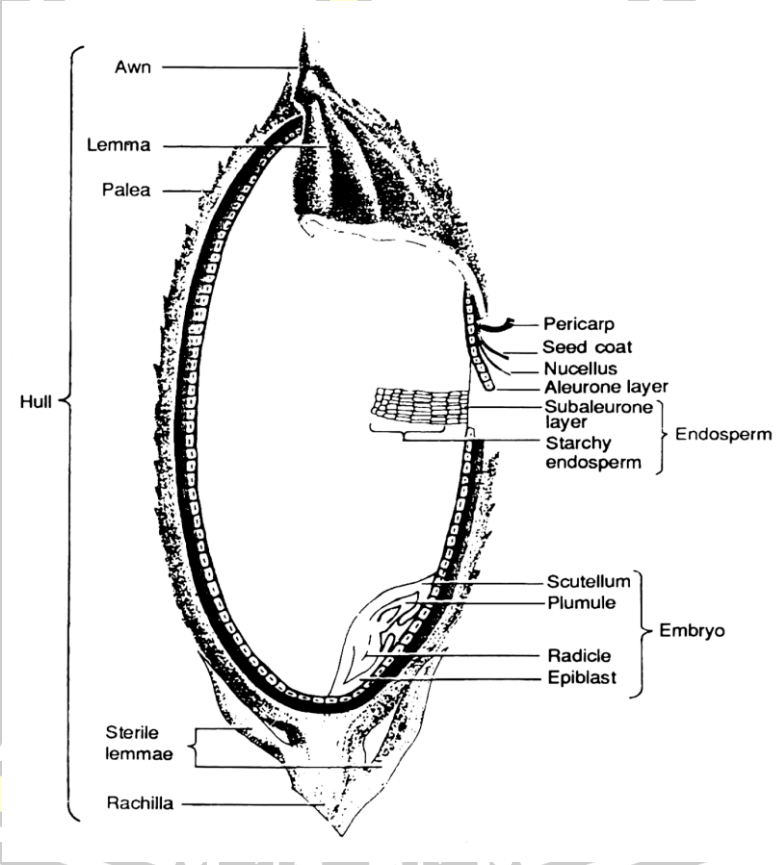
2.3) นิวเซลลัส เป็นเซลล์ชั้นที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด แต่พันธะระหว่างนิวเซลลัสกับเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ติดแน่น จึงแยกจากกันได้ง่าย มีความหนาประมาณ 0.8-2.5 ไมครอน

2.4) เยื่อชั้นแอลิวโรน เป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วย เซลล์ 1-7 ชั้น และมีลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนานี้จะแตกต่างไปตามพันธุ์ข้าว เช่น ข้าวเมล็ดป้อมสั้นจะมีเยื่อชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวเมล็ดยาว เป็นต้น เซลล์แอลิว-โรนจะไม่เชื่อมติดกับคัพภะในส่วนของใบเลี้ยงด้านท้องของเมล็ดลงมาถึงจุดเชื่อมระหว่าง ใบเลี้ยงกับเยื่อหุ้มรากอ่อน ซึ่งอยู่ข้างในของเมล็ด จึงแบ่งลักษณะของเซลล์แอลิวโรนเป็น 2 ลักษณะ คือ เซลล์ส่วนที่ห่อหุ้มรอบเนื้อของเมล็ดจะมีรูปร่างเป็นลูกบาศก์ และมีไซโทพลาซึมอยู่หนาแน่น ในเซลล์ยังมีกลุ่มโปรตีนที่มีรูปร่าง กลุ่มไขมัน และสารอื่น ๆ เช่น นิวเคลียส ไมโครบอดี ไมโทคอนเดรีย เอนโดพลาสมิก เรทิคิวลัม เวสิเคิล และพลาสติก เป็นต้น ส่วนเซลล์แอลิวโรนที่ห่อหุ้มคัพภะจะมีลักษณะบางมีไซโทพลาสซึมน้อย รูปร่างยาว มีกลุ่มไขมัน และกลุ่มโปรตีนน้อย มีเวสิเคิลมาก เป็นต้น ส่วนผนังเซลล์จะมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสประกอบอยู่

2.4.1) คัพภะ (Embryo) จะอยู่ที่โคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ ส่วนท้องของเมล็ด มีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน ต้นอ่อน เยื่อหุ้มรากอ่อน เยื่อหุ้มต้นอ่อน ท่อน้ำท่ออาหาร และใบเลี้ยง ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อนจึงอุดมด้วยโปรตีนและไขมันในส่วนต่าง ๆ

2.4.2) เนื้อเมล็ด (endosperm) มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ประมาณ 80% ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนซันซับแอลิวโรน เป็นเซลล์ 2 ชั้น อยู่ถัดจากชั้น แอลิว-

โรน และส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อของเมล็ด (starchy endosperm) ในชั้นขับ แอลิวโรนจะมีกลุ่มโปรตีนอยู่ภายใน 3 ลักษณะ คือ ลักษณะกลมใหญ่ขนาด 1-2 ไมครอน และกลมเล็กขนาด 0.5-0.75 ไมครอน เป็นผลึกติดกันขนาด 2-3.5 ไมครอน แต่ในส่วนเนื้อของเมล็ดจะมีกลุ่ม โปรตีนลักษณะกลมใหญ่เท่านั้น แทรกอยู่ในระหว่างเม็ดสตาร์ช (starch granules) มีขนาด 3-9 ไมครอน ที่มีอยู่มากอัดแน่นรวมเป็นกลุ่มเม็ดสตาร์ช อยู่ภายในเซลล์พาเรนไคมา ที่มีผนังเซลล์บาง มีรูปร่าง หรือสี่เหลี่ยม เข้าสู่ใจกลางเมล็ด โดยด้านนอกของเมล็ดจะรีและยาวมากกว่าด้านในของเมล็ด แสดงรายละเอียดดังภาพประกอบ 2.1



ภาพประกอบ 2.1 แสดงโครงสร้างภายในของข้าวเปลือก (Juliano et al. , 1993)

2.1.2 คุณลักษณะของข้าว

1) ระยะพักตัวของเมล็ด (seed dormancy) เมล็ดที่เก็บเกี่ยวมาจากต้นเมื่อเอาไปเพาะจะยังไม่งอกทีนที ต้องรอประมาณ 15-30 วัน จึงจะมีความงอกถึงร้อยละ 80-100 ซึ่งจะเรียกว่า ระยะพักตัวของเมล็ด ระยะพักตัวมีประโยชน์มากโดยเฉพาะสำหรับชาวนาในเขตร้อนที่มีฝนตก และมี

ความชื้นสูงในฤดูเก็บเกี่ยว เพราะข้าวที่ไม่มีระยะพักตัวของเมล็ดจะงอกทันทีเมื่อได้รับความชื้น หรือเมล็ดเปียกน้ำฝน ระยะพักตัวของเมล็ดข้าวส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในเมล็ดยังไม่สมบูรณ์ เมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วเมล็ดจึงไม่งอกและต้องรอไปจนกว่าเมล็ดนั้นได้มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาครบสมบูรณ์ก่อนจึงจะงอก

ข้าวป่ามีระยะพักตัวนานกว่าพันธุ์ข้าวที่ชาวนาปลูก บางครั้งเป็นเวลานานประมาณ 5-6 เดือน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระยะพักตัวใน 30 วันแรก เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและหลังจากนั้นเกิดจากเปลือกนอกใหญ่ห่อหุ้มเมล็ดแน่นมากจนอากาศและน้ำเข้าไปไม่ได้ จะต้องแกะเปลือกนอกใหญ่ออกก่อนแล้วจึงเอาเมล็ดไปเพาะในจานแก้วเพื่อให้งอกตามปกติ ดังนั้น ระยะพักตัวของเมล็ดข้าวอาจเกิดขึ้นได้ด้วยสาเหตุทางสรีรวิทยา และลักษณะทางกายภาพของเมล็ด

2) ความไวต่อช่วงแสง (sensitivity to photoperiod) ระยะความยาวของกลางวันมีอิทธิพลต่อการออกดอกของต้นข้าว พันธุ์ข้าวจึงแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด โดยถือเอาความไวต่อช่วงแสงหรือระยะความยาวของกลางวันเป็นหลัก คือ ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง และข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง

2.1) ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง ออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันสั้น ปกติกลางวันและกลางคืนมีความยาวช่วงละ 12 ชั่วโมง หากวันใดกลางวันน้อยกว่านั้นให้นับเป็นวันสั้นและมากกว่านั้นนับเป็นวันยาว การปลูกข้าวที่ไวต่อช่วงแสงต้องปลูกในฤดูนาปี เพราะในฤดูนาปรังกลางวันมีความยาวกว่า 12 ชั่วโมง เดือนที่มีกลางวันสั้นที่สุด ได้แก่ เดือนธันวาคม และเดือนที่มีกลางวันยาวที่ได้สุด ได้แก่ เดือนมิถุนายน ความยาวของกลางวันจะสั้นจนมากพอที่จะทำให้ข้าวพวกไวต่อช่วงแสงออกดอกได้ คือ เดือนกันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม

ข้าวไวต่อช่วงแสงมีประโยชน์สำหรับการปลูกข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งฝนตกไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากบางปีฝนมาเร็วและบางปีมาช้า แต่จะหมดฤดูฝนต้นเดือนพฤศจิกายนเสมอ ดังนั้นการปลูกข้าวด้วยพันธุ์ที่ไวต่อแสง จะออกเมล็ดช้ากว่าปกติและมีเมล็ดลดลง

2.2) ข้าวที่ไม่ไวต่อแสง การออกดอกจะไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของกลางวัน เมื่อข้าวเจริญเติบโตครบตามระยะเวลาที่กำหนด ก็จะออกดอกทันทีไม่ว่าเดือนนั้นจะมีกลางวันสั้นหรือยาว เช่น ข้าวพันธุ์ กข.1 เป็นพันธุ์ที่ไม่ไวต่อช่วงแสงเมื่อเจริญเติบโตนับจากวันที่ตกกล้าครบ 90-100 วัน ต้นข้าวก็จะออกดอกทันที ดังนั้นพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสงจึงปลูกได้เมล็ดข้าวดีทั้งในฤดูนาปรังและนาปี และยังให้จำนวนเมล็ดข้าวสูงหากปลูกในฤดูนาปรังอีกด้วย ระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวทั้งไวและไม่ไวต่อช่วงแสงแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะดังนี้

2.2.1) ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (basic vegetative growth phase) เป็นระยะเวลานับตั้งแต่วันตกกล้าจนถึงวันที่แตกกอและต้นสูงเต็มที่ ในระยะนี้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตสูงและแตกเป็นหน่อใหม่จำนวนมาก

2.2.2) ระยะการสร้างช่อดอก (panicle Initiation phase) เป็นระยะเวลาที่ต้นข้าวเริ่มสร้างช่อดอก จนถึงรวงข้าวเริ่มโผล่ออกมาให้เห็นซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 วัน สำหรับพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงจะเรียกระยะนี้ว่า ระยะที่มีความไวต่อช่วงแสง (photoperiod sensitive phase) ดังนั้น ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงเมื่อได้ครบระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นแล้ว ต้นข้าวจะไม่สร้างช่อดอกจนกว่าต้นข้าวจะได้รับระดับแสงตามต้องการ ส่วนข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสงจะเริ่มสร้างช่อดอกทันทีหลังจากที่ต้นข้าวครบระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น ดังนั้น การปลูกในระยะเวลาที่ไม่เหมาะสมจึงทำให้พันธุ์ที่ไวต่อช่วงแสงมีเวลามากหรือน้อยเกินไปสำหรับการเจริญเติบโตทางลำต้น

3) ความสามารถในการขึ้นน้ำและการทนน้ำลึก (floating ability and tolerance to deep water) ข้าวที่ปลูกในไทยไม่จำเป็นต้องขึ้นน้ำหรือทนน้ำลึกเพราะพื้นที่ปลูกนั้นไม่มีน้ำลึก แต่พันธุ์ข้าวที่ปลูกเป็นข้าวนาเมืองนั้นจำเป็นต้องมีความสามารถในการขึ้นน้ำและต้องทนน้ำลึก เพราะระดับน้ำในนาเมืองขณะที่ต้นข้าวกำลังเจริญเติบโตทางลำต้นและออกรวงมีความสูงประมาณ 80-100 เซนติเมตร โดยเฉพาะในระหว่างเดือนกันยายนและต้นเดือนธันวาคม ปกติหากปลูกข้าวนาเมืองจะต้องลงมือไถนาเตรียมดินและหว่านเมล็ดพันธุ์ในเดือนเมษายนหรือพฤษภาคม เพราะดินแห้งไม่มีน้ำขัง ซึ่งเหมาะสำหรับการเตรียมดินและหว่านเมล็ดพันธุ์ เมื่อหว่านเมล็ดแล้วฝนจึงจะตก เมล็ดข้าวที่หว่านลงไปจะงอกเป็นต้น ในเดือนสิงหาคมฝนจะเริ่มตกหนัก และระดับน้ำในนาก็จะสูงขึ้นในเดือนกันยายนจนถึงกลางเดือนธันวาคม หลังจากนั้นระดับน้ำก็จะเริ่มลดลงจนกระทั่งแห้งในเดือนมกราคม ทำให้ต้นข้าวต้องเจริญเติบโตทางความสูงในระยะที่ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น เพื่อให้ส่วนของลำต้นและใบอยู่เหนือระดับน้ำ ความสามารถในการเจริญเติบโตให้มีต้นสูงเพื่อหนีระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น เรียกว่า ความสามารถในการขึ้นน้ำของต้นข้าว เนื่องจากต้นข้าวจะต้องอยู่ในน้ำที่มีความลึกมากอย่างนี้เป็นเวลา 2-3 เดือน ก่อนที่ต้นข้าวจะออกรวงจนแก่เก็บเกี่ยวได้ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ระดับน้ำในนาได้ลดลงเกือบแห้ง ความสามารถของต้นข้าวที่เจริญเติบโตในน้ำลึกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวนี้ เรียกว่า การทนน้ำลึก การขึ้นน้ำและการทนน้ำลึกจึงเป็นลักษณะที่จำเป็นยิ่งของพันธุ์ข้าวนาเมืองหรือข้าวขึ้นน้ำ

4) คุณภาพของเมล็ด (grain quality) คุณภาพของเมล็ดแบ่งออกได้ เป็น 2 ประเภท ด้วยกัน คือ คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ ซึ่งหมายถึง ลักษณะรูปร่างและขนาดของ เมล็ดที่มองเห็นได้ และคุณภาพทางเคมี หมายถึง องค์ประกอบทางเคมีที่รวมกันเป็นเม็ดแป้งของข้าวที่หุงต้มเพื่อบริโภค

4.1) คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ ขึ้นอยู่กับลักษณะ ความยาว ความกว้าง และความหนาของเมล็ดข้าวกล้อง การมีท้องไข่ของข้าวเจ้า นอกจากนี้ คุณภาพในการสีเป็นข้าวสารถือว่าเป็นคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดด้วย เมล็ดข้าวที่ตลาดต้องการและถือว่ามีเมล็ดได้มาตรฐานนั้น เมล็ดข้าวกล้องจะต้องมีความยาวประมาณ 7-7.5 มิลลิเมตร ความกว้างและความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร และมีหน้าตัดของเมล็ดค่อนข้างกลม ถ้าเป็นข้าวเจ้าเมล็ดจะต้องใสไม่มีท้องไข่ การมีท้องไข่

ของเมล็ดข้าวกล้องนั้นทำให้เมล็ดหักง่ายเมื่อแปรรูปเป็นข้าวสารซึ่งทำให้ได้เมล็ดข้าวสารหักมาก ดังนั้น พันธุ์ข้าวที่ปลูกจะต้องมีคุณภาพเมล็ดได้มาตรฐาน ซึ่งเรียกว่าข้าวพันธุ์ดี

4.2) คุณภาพเมล็ดทางเคมี เป็นลักษณะขององค์ประกอบของแป้งในเมล็ดข้าวกล้อง ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าแตกต่างกันในชนิดของแป้งที่รวมกันเป็นเอ็นโดสเปิร์ม เมล็ดข้าวเหนียวประกอบด้วยแป้งชนิดอะมิโลเพกทินเป็นส่วนใหญ่ และมีแป้งอะมิโลสน้อยมาก คือ ประมาณร้อยละ 5-7 เท่านั้น ส่วนเมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วยแป้งชนิดอะมิโลสประมาณร้อยละ 15-30

ข้าวไทยที่มีร้อยละของแป้งอะมิโลส ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 (ร้อยละ 22) ส่วนข้าวไทยที่มีร้อยละแป้งอะมิโลสสูง ได้แก่ กข. 1 (ร้อยละ 30) ร้อยละแป้งอะมิโลสในเมล็ดของข้าวมีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภค ข้าวเหนียวมีแป้งอะมิโลสน้อยกว่าข้าวเจ้าจึงทำให้หุงสุกเร็วกว่า ข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งอะมิโลสสูง เมื่อหุงสุกเมล็ดข้าวสุกจะแข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณแป้งอะมิโลสต่ำ จึงทำให้ผู้บริโภคที่ชอบรับประทานข้าวที่อ่อนนิ่มจะต้องเลือกพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งอะมิโลสประมาณร้อยละ 20-25

5) ลักษณะรูปต้น (plant type) รูปต้นของข้าวมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการให้ผลิตผล การให้ผลิตผลของข้าวขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 3 อย่าง คือ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวงและน้ำหนักข้าวเปลือก 100 เมล็ด การที่จะได้องค์ประกอบที่ดีทั้งสามอย่างนี้อยู่ในต้นเดียวกันนั้นเป็นการยากมาก เพราะองค์ประกอบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสรีรวิทยาภายในต้นข้าว และสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น การเปลี่ยนแร่ธาตุอาหารให้เป็นแป้งแล้วส่งไปสร้างส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวที่กำลังเจริญเติบโต อาหารจะต้องเปลี่ยนเป็นจำนวนรวง จำนวนเมล็ดและน้ำหนักของเมล็ด ถ้าอาหารส่งไปเลี้ยงและสร้างจำนวนรวงเป็นส่วนใหญ่ อาหารก็เหลือน้อยสำหรับสร้างจำนวนเมล็ดและน้ำหนักเมล็ด เมื่อต้นข้าวมีจำนวนรวงมาก จึงทำให้จำนวนเมล็ดต่อรวงน้อย และน้ำหนักเมล็ดเบา

ต่อมาเมื่อมีการศึกษาพบว่า ต้นข้าวจะให้ผลิตผลสูงหรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะรูปต้นของข้าว เพราะรูปต้นของข้าวมีความสัมพันธ์กับการใช้ปุ๋ย หรือที่เรียกว่า การตอบสนองต่อปุ๋ยและการเปลี่ยนแร่ธาตุอาหารจากปุ๋ยให้เป็นแป้ง ซึ่งใช้ในการสร้างส่วนต่าง ๆ ของต้นและเมล็ดข้าวพันธุ์ข้าวที่ให้ผลิตผลสูงจะต้องมีลักษณะรูปต้นที่สำคัญ ๆ ดังนี้

5.1) ใบมีสีเขียวแก่ ลำต้นตรง ไม่โค้งงอ แผ่นใบไม่กว้าง และไม่ยาวจนเกินไป ลักษณะใบอย่างนี้ทำให้ทุกใบในต้นข้าวได้รับแสงแดดตลอดเวลา และเป็นปริมาณเท่า ๆ กัน นอกจากนี้ ใบสีเขียวแก่ก็จะมีจำนวนคลอโรฟิลล์ในใบมากกว่าใบสีเขียวอ่อนด้วย จึงทำให้มีการสังเคราะห์แสง เพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าใบที่โค้งงอ ดังนั้น ต้นข้าวที่มีลักษณะใบดังกล่าวจึงมีปริมาณอาหารไปสร้างส่วนต่าง ๆ ของต้นและเมล็ดมากจนทำให้ได้ผลิตผลสูงมี

5.2) ความสูงของต้นประมาณ 100-130 เซนติเมตร ความสูงของต้นเป็นระยะตั้งแต่พื้นดินถึงปลายของรวงสูงที่สุด ต้นข้าวที่มีสูงระดับนี้จะไม่ล้มง่าย และมีขนาดของใบเหมาะสมกับการสังเคราะห์แสง

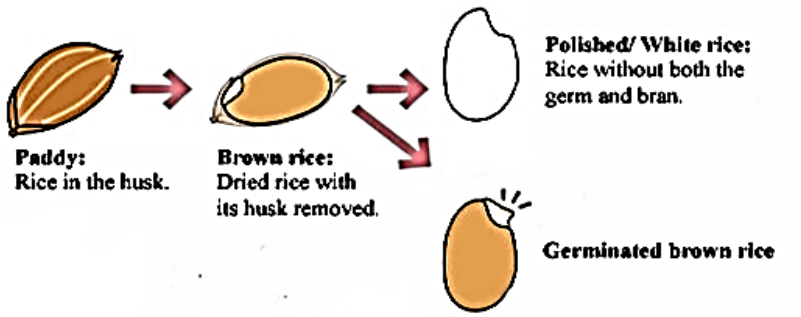
5.3) ลำต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย เมื่อใส่ปุ๋ยลงในนามากขึ้น ต้นข้าวที่ไม่ล้มจะมีการสร้างอาหารและเมล็ดได้ตามปกติ จึงทำให้มีผลิตผลสูง

5.4) แตกกอมากและให้รวงมาก ต้นข้าวที่แตกกอมากและตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ย จะมีจำนวนรวงต่อกอมาก จึงทำให้มีจำนวนรวงต่อเนื้อที่ปลูกสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งของการให้ผลิตผลสูง

6) ความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าว (resistance to diseases and insects) พันธุ์ข้าวที่มีลักษณะรูปต้นดี และตอบรับการใช้ปุ๋ยสูงก็ยังไม่สามารถที่จะให้ผลิตผลสูงได้ หากพันธุ์นั้นไม่มีความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูที่ระบาด ด้วยเหตุนี้ลักษณะต้านทานต่อโรคและแมลงจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก

2.2 ข้าวกล้องงอก

ในปัจจุบันมีผู้บริโภคอาหารเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้นทำให้ข้าวกล้องงอก (Germinated Brown Rice) ได้รับความนิยมเนื่องจากอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ส่งผลให้มีผู้ผลิตข้าวกล้องงอกเพิ่มมากขึ้น ข้าวกล้องงอก หมายถึง ผลิตผลของข้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้งอก สามารถทำได้ทั้งจากข้าวกล้อง และข้าวเปลือก แต่ไม่สามารถผลิตจากข้าวที่ขัดสีแล้ว(ข้าวสาร) โดยแช่ข้าวกล้องหรือข้าวเปลือกในน้ำ แล้วเพาะจนข้าวเกิดรากยาวประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร ที่บริเวณจมูกข้าวดังภาพประกอบ 2.2 แล้วนำไปผ่านความร้อน หรือลดความชื้นเพื่อทำให้แห้ง จึงจะได้เป็นข้าวกล้องงอก (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555)



ภาพประกอบ 2.2 ความแตกต่างของข้าวกล้องงอกและข้าวขัดสี (Tsukahara, 2004)

กระบวนการงอกของข้าวทำได้โดยการนำข้าวกล้องหรือข้าวเปลือกแช่ในน้ำตามระยะเวลาต่าง ๆ แล้วแต่เทคนิคของผู้ประกอบการ แต่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำแช่ทุก ๆ 4-6 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์เนื่องจากการนำข้าวแช่น้ำทำให้เกิดการหมัก การนำข้าวแช่น้ำนี้เพื่อกระตุ้นให้เกิดการงอกของเมล็ดข้าว น้ำทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการงอกของข้าวให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดข้าว การเปลี่ยนแปลงเริ่มขึ้นเมื่อน้ำแทรกซึมเข้าไปในเมล็ดข้าวโดยกระตุ้นเอมไซม์ภายในเมล็ดข้าวให้เกิดการทำงาน จากนั้นจึงทำการเพาะงอกด้วยการแช่น้ำ หรือเพาะงอกหลังจากการแช่น้ำตามเทคนิคของผู้ประกอบการ เป็นระยะเวลา 24-36 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะเกิดรากยาว 0.5 ถึง 1 มิลลิเมตร ตามภาพประกอบ 2.3 เพาะงอกที่อุณหภูมิห้องในสถานที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก จากนั้นจึงนำไปผ่านความร้อนเพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555)

(ก) (ข)

ภาพประกอบ 2.3 การงอกของข้าวกล้อง (ก) และการงอกของข้าวเปลือก (ข)
(กรรณพต แก้วสอน, 2558)

เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมี จนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลง (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) นอกจากนี้โปรตีนภายในเมล็ดข้าวจะถูกย่อยให้เกิดเป็นอะมิโนและเปปไทด์ รวมทั้งยังพบสารเคมีต่าง ๆ เช่น แกมมาโอไรซานอล โทโคฟีรอล (tocopherral) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) และสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (gamma-aminobutyric acid) เป็นที่รู้จักกันว่า สาร GABA

2.2.1 คุณประโยชน์ของข้าวกล้องงอก

จากการศึกษาพบว่า เมื่อข้าวผ่านการแช่และเพาะงอกจะทำให้ข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มมากขึ้นดังตาราง 2.1 ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนอิสระของข้าว

ที่ผ่านการแช่ และไม่แช่น้ำ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังตาราง 2.2

ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก

สารอาหาร	ข้าวกล้อง (mg/100g)	ข้าวกล้องงอก (mg/100g)
องค์ประกอบทางเคมี (%)		
ความชื้น	9.44±0.76	8.86±0.95
โปรตีน	6.98±0.07	8.98±0.27
ไขมัน	1.20±0.68	1.23±0.68
คาร์โบไฮเดรต	79.2±2.08	77.7±2.49
เถ้า	1.96±0.11	2.06±0.11
เยื่อใย	1.13±0.16	1.22±0.26
น้ำตาลทั้งหมด	0.91±0.04	1.88±0.13
น้ำตาลรีดิวซ์	2.11±0.56	0.81±0.19
ปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด	2.11±0.56	3.12±0.55
วิตามิน (mg/100g)		
วิตามินบี 1	0.23±0.02	0.12±0.02
วิตามินบี 3	7.66±0.14	4.47±0.18
วิตามินบี 6	0.76±0.08	0.66±0.04
สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ		
Phytic acid (g/100 g)	1.32±0.07	1.15±0.08
Total phenolic (mg/100 g)	70.3±8.31	84.3±6.35
α-Tocopherol (mg/100 g)	0.93±0.18	0.86±0.08
γ-Oryzanol (mg/100 g)	66.0±5.93	84.0±5.93

(Moongngarm, A. and Saetung, N., 2010)

ตาราง 2.2 ปริมาณกรดอะมิโนอิสระของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

กรดอะมิโน	ข้าวกล้อง (mg/100g)	ข้าวกล้องงอก (mg/100g)
Aspatic acid	6.6±1.04	1.8±0.61
Threonline	1.0±0.48	6.0±1.16
Serine	3.5±0.29	2.7±0.42
Asparagine	7.1±1.69	7.0±0.78
Glutamic acid	12.4±3.06	13.4±3.57
Proline	1.9±1.66	8.4±1.26
Glycine	1.5±0.89	8.7±1.50
Alanine	12.1±4.48	25.6±9.29
Valine	0.8±0.33	12.3±1.00
Cystine	1.4±0.51	2.9±0.70
Methionine	0.4±0.40	3.3±1.01
Isoleucine	0.7±0.15	5.8±0.70
Leucine	0.9±0.17	12.3±1.31
Tyrosine	1.4±0.39	7.0±0.33
Phenylalanine	1.0±0.59	5.5±0.99
GABA	7.3±2.05	24.9±4.00
Lysine	3.9±1.45	9.6±2.55
Histidine	1.0±0.30	4.3±0.99
Arginine	4.9±1.14	10.6±6.48
รวมทั้งหมด	67.0±12.38	178.7±32.78

(Komatsuzaki et al., 2007)

จากตาราง 2.1 และ 2.2 แสดงถึงคุณประโยชน์ของสารชีวภาพในข้าวกล้องงอกที่สำคัญต่อสุขภาพแสดงดังตาราง 2.3 ซึ่งประกอบไปด้วย

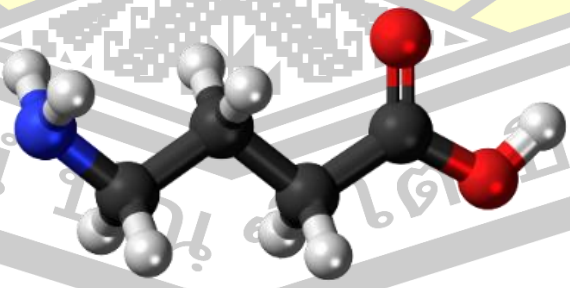
ตาราง 2.3 คุณประโยชน์ของสารชีวภาพในข้าวกล้องงอกที่สำคัญต่อสุขภาพ

สาร	คุณประโยชน์
สาร GABA	ช่วยลดความดันโลหิต เพิ่มระดับของเมตาโบลิซึมในสมอง ป้องกันการปวดศีรษะและลดความเครียด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดภาวะผนัง เส้นเลือดแดงหนา และระบบการหมุนเวียนโลหิตไม่เป็นปกติ อาจทำให้เกิดภาวะ เส้นเลือดในสมองแตก ป้องกันการนอนไม่หลับและอาการกระวนกระวายใจ ทำให้การทำงานของไตเป็นปกติ และป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์
ใยอาหาร	ช่วยให้ระบบขับถ่ายเป็นไปด้วยดี ป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ รักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้เป็นปกติ
Inositols	ช่วยเร่งการเผาผลาญของไขมัน ป้องกันการเกิดไขมันสะสมในตับและไขมันอุดตันในเส้นเลือด
Ferulic acid	เป็นแหล่งของสารที่มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ
Phytic acid	ป้องกันอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน ป้องกันการเกาะตัวของเกล็ดเลือด
Tocotrienols	ป้องกันอนุมูลอิสระ ป้องกันผิวหนังจากรังสีอัลตราไวโอเลต ลดคอเลสเตอรอล ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง
Magnesium	ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ
Potassium	ลดความดันโลหิต
Zinc	ป้องกันการแข็งตัวของหลอดเลือดแดงเล็ก
γ -oryzanol	ต่อต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดริ้วรอยจากวัยบนผิวหนังปรับระดับโคเลสเตอรอล
Prolytendopeptidase inhibitor	ป้องกันโรคอัลไซเมอร์

2.2.2 สาร GABA ในข้าวกล้องงอก

สาร GABA (Gamma-Aminobutyric acid) เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการงอกของเมล็ด มีพันธะเคมีดังภาพประกอบ 2.4 เมื่อข้าวกล้องงอกมีอายุ 1-2 วัน สาร GABA ที่อยู่ในเมล็ดข้าวจะเพิ่มขึ้นถึง 15 เท่า หลังจากนั้นจะลดลง สาร GABA จัดเป็นสารสื่อประสาทประเภทยับยั้ง ซึ่งจะช่วยให้เกิดการผ่อนคลาย และช่วยให้นอนหลับได้ดี และจะทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมอง ทำให้สมองที่ได้รับการกระตุ้นมีความสมดุลจากสาร inhibitor หน้าที่ในการรักษาสมดุล คือ จะทำการกระตุ้น anterior pituitary ซึ่งทำหน้าที่ผลิต Growth Hormone (HGH) ซึ่ง HGH จะทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อและกล้ามเนื้อ และเกิดสาร lipotropic ซึ่งเป็นสารที่ไม่ชอบไขมัน จึงไม่เกิดการสะสมของไขมัน ทำให้กล้ามเนื้อเกิดความกระชับ และช่วยป้องกันการเกิดริ้วรอยเนื่องจากสาร GABA มีบทบาทสำคัญในการเป็น neurotransmitter ในระบบประสาทส่วนกลาง ปัจจุบันจึงมีการนำมาใช้เป็นยารักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาทหลายโรค เช่น โรควิตกกังวล นอนไม่หลับ โรคลมชัก

การได้รับสาร GABA ติดต่อกันนาน 8 สัปดาห์ จะช่วยลดความดันโลหิตและทำให้นอนหลับดีขึ้น รวมทั้งช่วยให้ร่างกายผู้สูงอายุทำงานเป็นปกติดี สาร GABA มีประโยชน์ในการป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์ ซึ่งเป็นโรคที่เกิดขึ้นกับคนวัยชราเป็นส่วนใหญ่ โดยผู้ป่วยจะสูญเสียความทรงจำเนื่องจากมีเปปไทด์ชนิด beta-amyloid peptide ในสมองทำให้สมองทำงานไม่เป็นปกติ โดยทำให้สมองด้านความจำทำงานได้ลดลง จากการศึกษาโดยให้หนูทดลองกินข้าวกล้องที่แช่น้ำ พบว่าภายในสมองของหนูทดลองจะเกิดการป้องกันการทำลายสมองจาก beta-amyloid peptide นอกจากนี้ยังพบว่า การบริโภคอาหารที่อุดมด้วยสาร GABA ช่วยเพิ่มความสามารถในการปล่อย glutamate และความไวต่อ NMDA receptors ซึ่งเป็นส่วนกระตุ้น ให้เกิดความสามารถในการเรียนรู้และการจดจำที่ดี และยังมีรายงานว่าสาร GABA ช่วย ลดการเกิดมะเร็ง (anticancer) ในหนูด้วย (Okada et al., 2000)



ภาพประกอบ 2.4 พันธะเคมีของสาร GABA (Jynto, 2011)

2.3 กระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก

2.3.1 ขั้นตอนการผลิตข้าวกล้องงอก

ขั้นตอนการผลิตข้าวกล้องงอก ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การแช่ และการงอก (Manna, K. M. et al., 1995)

1) การแช่ข้าว (Soaking process)

การแช่ข้าวทำให้น้ำดูดซึมเข้าสู่ภายในเมล็ดแล้วกระจายตัวไปยังส่วนต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ เป็นการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีในเนื้อเมล็ดและทำให้เกิดการงอก โดยอัตราของความเร็วในการดูดซึมน้ำเข้าสู่เมล็ด และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่น้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่แช่ ขนาดของเมล็ด ชนิดและสายพันธุ์ของข้าว และลักษณะของส่วนประกอบในเนื้อเมล็ด (Manna et al., 1995)

การแช่ข้าวในอุณหภูมิต่ำ การดูดน้ำของเมล็ดจะเป็นไปอย่างช้า ๆ จึงเป็นโอกาสในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการหมักและกลิ่นเหม็น ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างกระบวนการงอกเกิดการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกลูตาเมตและไฮโดรเจนเปลี่ยนแปลงเป็น GABA และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นอาจต้องมีการเติมออกซิเจนในระหว่างขั้นตอนการแช่ข้าว

การแช่น้ำในอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการดูดซึมน้ำเข้าสู่เมล็ดได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการกระจายตัว ของความชื้นในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดโดยเฉพาะในส่วนเนื้อเมล็ด และคัพภะ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในการผลิตเอมไซม์ การเจริญของรากและลำต้นมีประสิทธิภาพต่ำ เมื่อทดลองแช่ข้าวกล้องที่อุณหภูมิน้ำแช่ 40 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดการลดลงของปริมาณสาร GABA ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำกว่าข้าวขาว (Siriprapa s., 2006; กรรณพต, 2558)

2) การงอกของเมล็ดข้าว (Germination process)

การงอกของเมล็ดเป็นกระบวนการสำคัญของพืช เพื่อที่จะสามารถดำรงพันธุ์ตามธรรมชาติ เมล็ดข้าวจะเกิดการงอกก็ต่อเมื่อเมล็ดมีคัพภะ มีการพักตัวของเมล็ด (Primary dormancy) และปัจจัย 3 อย่างดังนี้

2.1) น้ำ

เมื่อเมล็ดเจริญ ภายในเมล็ดจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่น้อยมาก เมื่อเมล็ดพันธุ์จะงอก น้ำเป็นปัจจัยแรกที่จะกระตุ้นให้เมล็ดตื่นตัว กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีและขบวนการเมทบอลิซึม ในเบื้องต้นเมล็ดดูดน้ำเข้าไปทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม ทำให้เมล็ดพองโตขึ้น เนื่องจากการขยายของผนังเซลล์และโพรโทพลาสต์ เมล็ดพืชแต่ละชนิดต้องการน้ำสำหรับการงอกแตกต่างกัน

บางชนิดหากได้รับน้ำมากเกินไปจะทำให้เมล็ดขาดออกซิเจนที่ใช้สำหรับหายใจและทำให้เมล็ดเน่า ในบางชนิด การที่เมล็ดพันธุ์ได้รับน้ำมาก ๆ อาจจะทำให้เมล็ดเข้าสู่สภาวะพักตัวใหม่ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ความหนาของเปลือก สารที่เคลือบอยู่ที่ผิวเปลือก ความเข้มข้นของน้ำ อุณหภูมิ และการสุกแก่ของเมล็ดที่ต่างกัน

2.2) ออกซิเจน

มีความสำคัญต่อกระบวนการหายใจของเมล็ดข้าวที่กำลังงอก เนื่องจากเมล็ดที่กำลังงอกต้องการพลังงานจากกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) โดยใช้ออกซิเจนคือ กระบวนการหายใจ เมล็ดข้าวที่กำลังงอกจะมีอัตราการหายใจสูงเมื่อเทียบกับการ หายใจในช่วงอื่น ๆ มีกิจกรรมการสลายและเผาผลาญอาหารที่เก็บสะสมไว้เมล็ด โดยทั่วไปเมล็ดจะงอกในสภาพบรรยากาศปกติที่มีออกซิเจนประมาณร้อยละ 20 และคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 0.03 แต่มีเมล็ดพันธุ์พืชหลายชนิดที่งอกได้ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำกว่าปกติ เช่น พืชที่งอกได้ในน้ำ เมล็ดข้าวจะงอกได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ และสภาพที่มีออกซิเจนสูง ลักษณะการงอกจะมีความแตกต่างกัน ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำจะงอกยอดอ่อนออกมาก่อน แล้วจึงงอกในส่วนของรากออกมาทีหลัง และพลังงานที่ใช้ในการงอกจะมาจากกระบวนการออกซิเดชัน ที่ไม่ใช้ออกซิเจนคือกระบวนการหมัก เมล็ดที่งอกจึงทนต่อการสะสมแอลกอฮอล์หรือสารพิษที่เกิดจากกระบวนการหมักได้จนกว่าต้นกล้าจะงอกขึ้นเหนือน้ำและได้รับออกซิเจน ส่วนเมล็ดที่ต้องการออกซิเจนสูงสำหรับการงอกนั้น เมื่อได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ เมล็ดจะพักตัว นอกจากนี้ อัตราการใช้ออกซิเจนจะเป็นตัวชี้การเกิดกระบวนการงอก และเป็นตัววัดความแข็งแรงของเมล็ดอีกด้วย

2.3) อุณหภูมิ

มีความสำคัญมากต่อการควบคุมและอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตามมา ด้วยความแตกต่างของชนิดและถิ่นกำเนิดของพืช ทำให้พืชมีความต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกที่แตกต่างกัน เช่น พืชเขตหนาว เอนไซม์และปฏิกิริยาชีวเคมีในเมล็ดเขตหนาวยังทำงานได้เมื่ออุณหภูมิใกล้จุดเยือกแข็ง และเมล็ดยังสามารถงอกได้ ในขณะที่ที่จุดเยือกแข็งจะเป็นอันตรายสำหรับการงอกของเมล็ดพืชเขตร้อนถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม ซึ่งเกินกว่าที่เมล็ดพันธุ์จะสามารถงอกได้ เมล็ดบางชนิดอาจจะมีการพักตัวหรือบางชนิดอาจจะตายได้ ดังนั้น เมล็ดแต่ละชนิดจะมีระดับอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่เมล็ดจะสามารถงอกได้แตกต่างกัน และยังมีการปรับตัวต่อช่วงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในรอบวัน คือ ถ้าอุณหภูมิกลางคืนและกลางวันมีความแตกต่างกันมาก เมล็ดพันธุ์จะงอกได้ดีกว่าการได้รับอุณหภูมิที่สม่ำเสมอตลอดเวลา (จินดา ศรศรีวิชัย, 2514)

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าวกล้องงอก

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA ที่ได้จากข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก ซึ่งแบ่งเป็น 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยด้านวัตถุดิบ (ข้าว) และปัจจัยด้านกระบวนการผลิตจากงานวิจัยที่ได้ศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ปัจจัยด้านวัตถุดิบ

1.1) พันธุ์ข้าว

ชนิดของพันธุ์ข้าวนั้นส่งผลต่อปริมาณสาร GABA จากการศึกษางานวิจัยพบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้ปริมาณสาร GABA ที่ได้นั้นต่างกันไปด้วย มีการทดสอบด้วยการนำข้าวพันธุ์พื้นเมือง 11 พันธุ์ และข้าวพันธุ์ใหม่ 10 พันธุ์ แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่ม 0-48 ชั่วโมง (Karladee and Suriyong, 2012) พบว่าปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอกแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน

1.2) ขนาดของจมูกหรือคัพภะของข้าว

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมามีการทดสอบนำข้าวมาเพาะงอกด้วยการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ข้าวที่มีจมูกข้าวขนาดใหญ่จะพบปริมาณสาร GABA สูงกว่าข้าวที่มีจมูกเล็ก (Zhang et al., 2005) แต่ถึงอย่างไรยังพบงานวิจัยที่ขัดแย้งกัน เนื่องจากเมื่อทดสอบแช่ข้าวกล้องงอกเพื่อชั่งน้ำหนักจมูกข้าวเปรียบเทียบกับปริมาณสาร GABA ที่ได้ พบว่าน้ำหนักของจมูกข้าวไม่ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA (Varanyanond et al., 2005)

1.3) ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวหลังการเก็บเกี่ยว

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบการทดสอบ นำข้าวที่มีระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน แช่น้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า ข้าวที่มีระยะเวลาการเก็บรักษาสั้นมีปริมาณสาร GABA มากกว่าข้าวที่มีการเก็บรักษาเป็นเวลานาน (Saikusa et al., 1994)

2) ปัจจัยด้านกระบวนการผลิต

2.1) อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าว (Soaking temperature)

อุณหภูมิของน้ำที่แช่ข้าวมีความสำคัญในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี ทำให้มีผลต่อการงอกและเจริญเติบโตของพืช ทั้งยังพบว่าอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการแช่ส่งผลให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณสาร GABA ที่แตกต่างกันด้วย โดยพบงานวิจัยที่ทำการทดสอบแช่ข้าวกล้องในน้ำอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง พบปริมาณสาร GABA เพิ่มมากขึ้น (Ito, 2004) และยังพบงานวิจัยที่ทำการทดสอบแช่ข้าวญี่ปุ่นในน้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกันคือ 30 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Saikusa et al., 1994) เช่นกันกับงานวิจัยที่การแช่ข้าวพันธุ์ขาว

ดอกมะลิ 105 ในอุณหภูมิน้ำแช่ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง (Sriwing Tipkanon, 2014) ทั้งสองงานวิจัยนี้พบปริมาณสาร GABA สูงที่สุดที่การแช่ข้าวในน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ในการแช่จำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำอยู่เสมอ

2.2) ระยะเวลาในการแช่ข้าว (Soaking time)

ระยะเวลาในการแช่ข้าวนั้นมีความสำคัญต่อการเพิ่มปริมาณสาร GABA พบงานวิจัยทดสอบแช่ข้าวญี่ปุ่นเป็นเวลา 0 0.5 1 2 4 8 และ 24 ชั่วโมง (Saikusa et al., 1994) และข้าวไทยพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นเวลา 0 1 2 4 8 และ 16 ชั่วโมง (Sriwing Tipkanon, 2014) งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นพบผลที่สอดคล้องกัน คือ ปริมาณสาร GABA เพิ่มมากขึ้น ที่ระยะเวลาการแช่ที่มากขึ้น เมื่อมีการทดสอบแช่ข้าวในน้ำที่ระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น คือ 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสาร GABA สูงที่สุดที่การแช่ 72 ชั่วโมง มีปริมาณสาร GABA มากกว่าข้าวกล้องถึง 11.5 เท่า (Ohtsubo et al., 2005) แสดงให้เห็นว่าสาร GABA นั้น เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งไม่ควรเกิน 72 ชั่วโมง

2.3) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

พบงานวิจัยที่ทำการแช่ข้าวในน้ำที่ทำการปรับความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน โดยทำการทดสอบแปรค่ากรด-ด่าง จาก 3 ถึง 8 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 4 ชั่วโมง พบว่า ค่ากรด-ด่าง ที่ 5.5 มีความเหมาะสมในการเพิ่มปริมาณสาร GABA ในข้าวมากที่สุด (Saikusa et al., 1994)

2.4) ระยะเวลาในการเพาะงอกข้าว (Germinating time)

จากการศึกษางานวิจัยที่ทำการเพาะงอกข้าวกล้องงอก พบว่าระยะเวลาในขั้นตอนการเพาะงอกข้าวที่แตกต่างกันนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร GABA การเพาะงอกข้าวโดยทั่วไปนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555) คือ

2.4.1) เพาะงอกข้าวขณะแช่น้ำ

ทำได้โดยแช่ข้าวเปลือกหรือข้าวกล้องในน้ำให้น้ำท่วมเมล็ดข้าวเล็กน้อย จนกว่าจะเกิดรากความยาว 0.5-1 มิลลิเมตร วิธีการนี้ควรเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก ๆ 4-6 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นหืนจากการหมัก

2.4.2) เพาะงอกข้าวหลังการแช่น้ำ

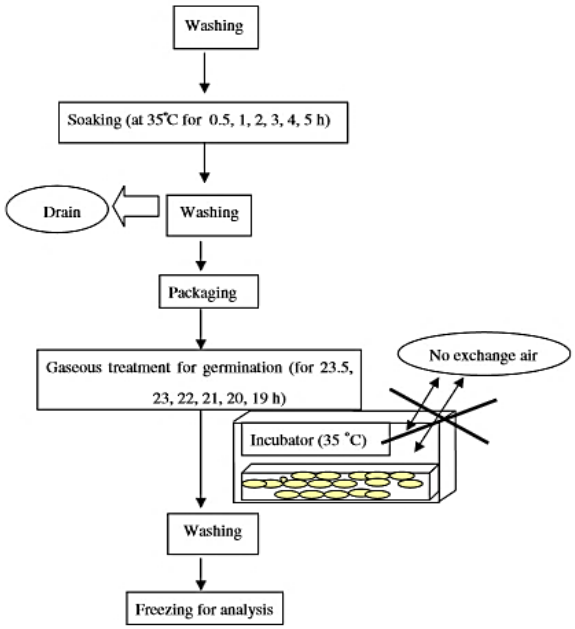
ทำได้โดยนำข้าวกล้องหรือข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำจนอิ่มตัวแล้ว บรรจุในภาชนะ เช่น กระสอบ แล้วจึงคลุมด้วยผ้าอีกครั้ง จนกระทั่งเกิดรากที่มีความยาว 0.5-1 มิลลิเมตร วิธีการนี้ได้รับความนิยมมากกว่าวิธีแรก เนื่องจากการเพาะข้าวขณะแช่น้ำทำให้ข้าวเกิดกลิ่นหืนได้มากกว่า

2.4 งานวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก

ในประเทศไทยและต่างประเทศมีการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในการผลิตข้าวกล้องงอกเพื่อพัฒนากระบวนการผลิต ลดระยะเวลาการแช่และเพาะงอก และเพิ่มปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอกที่หลากหลายสายพันธุ์โดยวิธีการที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

2.4.1 การเพาะงอกด้วยอากาศแบบระบบปิด

1) ทำการทดสอบโดยนำข้าวกล้องแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในระดับเวลาที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง จากนั้นล้างข้าวที่แช่แล้วนำข้าวที่ได้มาเพาะงอกในระบบปิดไม่ให้อากาศไหลเวียนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่ระดับเวลาที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 23.5, 23, 22, 21, 20 และ 19 ชั่วโมง เพื่อให้กระบวนการครบ 24 ชั่วโมงทุกการทดสอบ จากการทดสอบนี้พบปริมาณสาร GABA ที่สูงที่สุดคือ 24.9 mg/100g ที่ เวลาการแช่ 3 ชั่วโมง และเพาะงอก 21 ชั่วโมง แสดงการทดลองดังภาพประกอบ 2.5 (Komatsuzaki et al., 2007)



ภาพประกอบ 2.5 การทดลองกระบวนการเพาะงอกด้วยอากาศระบบปิด
(Komatsuzaki et al., 2007)

2.4.2 การเติมสารเร่งปฏิกิริยา

1) ทดลองเติมสารเร่งปฏิกิริยาโดยการแช่ในน้ำปรับกรดอ่อนที่ pH 5 ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร ทำการแช่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณสาร GABA 31.18 mg/100g นำมาเพาะงอกต่อที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 36 ชั่วโมง ตรวจปริมาณสาร GABA พบว่าสูงถึง 96.83 mg/100g (จารุรัตน์ และคณะ, 2550)

2) การทดสอบโดยแช่ในน้ำปรับกรดอ่อน pH 5.6 ด้วยกรดซิตริก 0.1 นอร์มอล สัดส่วนข้าวต่อน้ำ 1:3 เมื่อแช่ข้าวนาน 36 ชั่วโมงได้ปริมาณสาร GABA 25.695 mg/100g และเมื่อนำมาเพาะงอกต่ออีก 16 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณสาร GABA 11.208 mg/100g ทั้งยังพบว่าอายุการเก็บรักษามีแนวโน้มที่มากขึ้นอีกด้วย (นฤมล และคณะ, 2557)

3) การแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วเพาะงอกที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 ชั่วโมง ได้ปริมาณสาร GABA 138 mg/100g โดยใช้น้ำที่ pH 5.6 เช่นกัน (Zhang et al., 2014)

4) การเติมน้ำหมักชีวภาพในกระบวนการแช่ในอัตราส่วนสารเร่งกับน้ำหนัก 1:100 แช่และเพาะงอกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงเพาะงอกต่ออีก 24 ชั่วโมง พบว่าได้ปริมาณสาร GABA สูงถึง 448.79 mg/100g (อภิชาติ อาจนาเสียว, 2553)

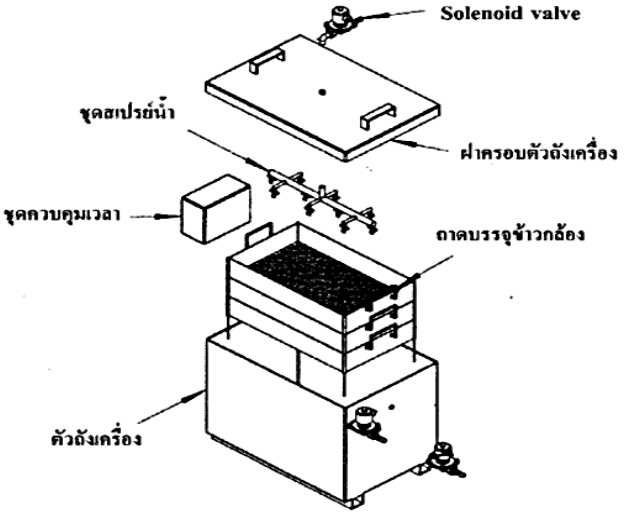
2.4.3 การฆ่าเชื้อในข้าวกล้องงอก

1) ฆ่าเชื้อข้าวกล้องโดยการสเตอริไลส์ด้วยสารละลายโซเดียมร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาล้างทำความสะอาด ทดสอบด้วยการแช่เป็นเวลา 24-96 ชั่วโมง ด้วยอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราข้าวต่อน้ำ 1 : 30 เก็บผลทุก ๆ 24 ชั่วโมง พบว่า ข้าวที่ผ่านการแช่ 96 ชั่วโมงให้ปริมาณสาร GABA สูงที่สุดคือ 149.03 mg/100g มากกว่าข้าวที่ผ่านการแช่ 24 ชั่วโมงถึง 13 เท่า (Ohtsubo et al., 2005)

2) ทำการแช่ข้าวกล้องโดยแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพาะงอกโดยนำมาห่อด้วยผ้าขาวบางเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกมาล้างทุก ๆ 4 ชั่วโมง แล้วนำมาปรับความชื้นด้วยการแช่น้ำอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อตรวจสอบปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกก่อนนำไปฆ่าเชื้อพบว่ามีปริมาณสาร GABA สูงกว่าข้าวกล้องอยู่ถึง 6 เท่า (11.7mg/100g) หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่าปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นเพียงช่วงแรกและมีแนวโน้มลดลงเมื่อแช่นานขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการฆ่าเชื้อยังมีมากกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก (สุนัน และคณะ, 2559)

2.4.4 การแช่และเพาะงอกข้าวกล้องงอกโดยใช้น้ำไหลผ่าน

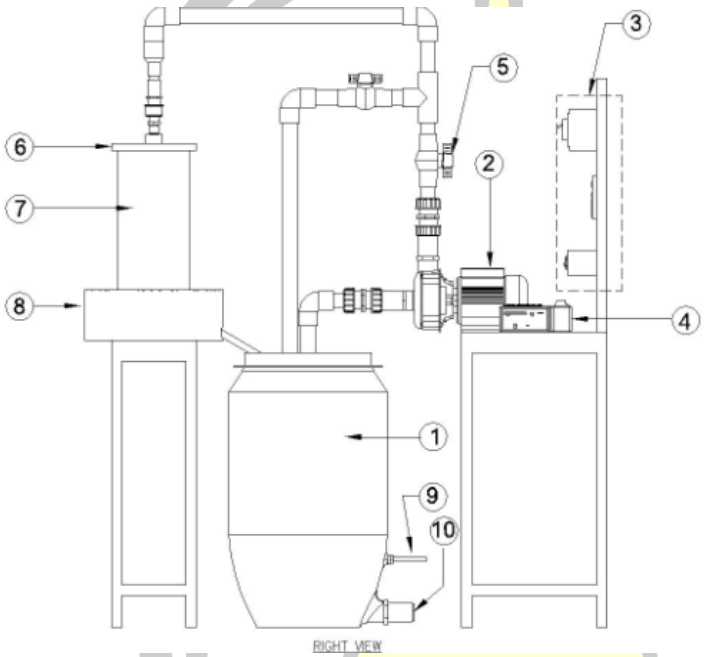
1) สุนัน และคณะ, 2553 ทำการนี้ทำการเปรียบเทียบผลเวลาการแช่ข้าว เวลาการเพาะงอกข้าวกล้องงอก พบว่าเมื่อนำข้าวกล้องแช่น้ำ 24 ชั่วโมง พบปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นจาก 20 mg/kg เป็น 53.35 mg/kg โดยจมูกข้าวมีความยาวน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร และเมื่อทดสอบแช่ข้าวกล้อง 4 ชั่วโมง แล้วนำไปเพาะงอก 20 ชั่วโมง โดยสเปรย์น้ำผ่านข้าวทุก ๆ 4 ชั่วโมง ลดการเจริญเติบโตของปริมาณจุลินทรีย์ พบว่าปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นเป็น 77.91 mg/kg และความยาวรากอยู่ในช่วงประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และพบว่าส่งผลดีต่อทางด้านคุณลักษณะทางกายภาพภายนอก โดยให้สี และกลิ่นหอม แสดงภาพเครื่องทดสอบดังภาพประกอบ 2.6



ภาพประกอบ 2.6 เครื่องผลิตข้าวกล้องงอกขนาดเล็กที่ใช้หลักการสเปรย์น้ำล้างข้าวกล้องงอก (สุนัน และคณะ, 2553)

2) ศิโรรัตน์ พิลาวุธ, 2559 ทำการศึกษาที่เหมาะสมต่อกระบวนการแช่และการงอกของข้าวเปลือกสำหรับการผลิตข้าวกล้องงอก ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบที่ใช้หลักการน้ำไหลผ่านข้าว แสดงดังภาพประกอบ 2.7 ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก คือ ถังกักเก็บน้ำ ปั๊ม ฝักบัวสำหรับปล่อยน้ำไหลผ่านข้าวที่ติดอยู่ด้านบนถังบรรจุข้าวเปลือก ถังข้าวเปลือก โดยใช้หลักการน้ำไหลวน เมื่อทำการแช่ข้าวเปลือกในน้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ศิโรรัตน์ และวินิต, 2555) ด้วยอัตราการไหล 1-5 ลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมข้าวเปลือก สัดส่วนข้าวเปลือก : น้ำ คือ 1 : 3-10 ส่วน (ศิโรรัตน์ พิลาวุธ, 2561) ระยะเวลาในการแช่ 32 ชั่วโมง โดยในกระบวนการนี้ไม่มีการเพาะงอก พบปริมาณสาร GABA 34 mg/100g (ศิโรรัตน์ พิลาวุธ, 2559)

เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการแช่ข้าวในน้ำนิ่ง และโดยให้น้ำไหลผ่านข้าวพบว่า วิธีการแช่ข้าวในน้ำนิ่งส่งผลให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณสาร GABA น้อยกว่าวิธีการให้น้ำไหลผ่านข้าว และยังพบว่าความยาวรากของวิธีการให้น้ำไหลผ่านข้าวมีค่ามากกว่า ในขณะที่ร้อยละข้าวกล้องงอกรวมและค่าความเหลืองมีค่าน้อยกว่าการแช่ในน้ำนิ่ง (ศิโรรัตน์ และคณะ, 2562)



รายละเอียดแบบ :	
1.	WATER STORAGE TANK
2.	PUMP
3.	TEMPERATURE AND PUMP CONTROL DEVICE
4.	AUTOMATIC DATA LOGGER
5.	INFLOW VALVE
6.	HEAD SHOWER
7.	PADDY RICE CHAMBER
8.	WATER FLOW THROUGH TANK
9.	THERMOCOUPLE TYPE K
10.	HEATER

ภาพประกอบ 2.7 กระบวนการแช่และเพาะงอกโดยใช้หลักการน้ำไหลเวียนผ่านข้าว
(ศิโรรัตน์ พิลาวุธ, 2559)

2.5 สรุปผลการทบทวนวรรณกรรมสำหรับแนวทางการศึกษา

จากการศึกษาวรรณกรรมและงานวิจัยที่มีความสำคัญต่อการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก โดยปัจจัยทางด้านวัตถุดิบในการทดสอบพิจารณาว่าควรเลือกใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากเป็นที่นิยมในการบริโภคและมีค่าปริมาณสาร GABA สูง (Karladee and Suriyong, 2012) แต่ไม่พิจารณาขนาดของจมูกข้าวเนื่องจากทำการทดสอบด้วยปริมาณที่มากจึงทำให้ไม่สามารถคัดเลือกจมูกข้าวทุกเมล็ดได้ ระยะเวลาการเก็บรักษาประมาณ 4 เดือน (Saikusa et al., 1994) โดยทำการเก็บเกี่ยวข้าวเมื่อปลายเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 และทดสอบเดือนต้นเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562

ปัจจัยในด้านกระบวนการผลิตจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมานั้นนิยมทดสอบที่อุณหภูมิน้ำแช่มากกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งจะพบปริมาณสาร GABA มากที่สุดที่อุณหภูมิน้ำแช่ 40 องศาเซลเซียส (Saikusa et al., 1994; Sriwing Tipkanon, 2014; Ito, 2004) แต่จำเป็นต้องมีการให้ความร้อนแก่น้ำซึ่งทำให้ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ด้วย จึงทำวัดอุณหภูมิน้ำที่สภาวะอากาศภายนอกพบว่าช่วงเวลากลางวันส่งผลให้อุณหภูมิน้ำอยู่ที่ประมาณ 30-36 องศาเซลเซียส และในช่วงกลางคืนอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ซึ่งพิจารณาว่าการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการใช้น้ำที่สภาวะแวดล้อมเนื่องจากอุณหภูมิระหว่างวันนั้นอยู่ในช่วงที่เมล็ดข้าวสามารถงอกได้ (จวงจันทร์ ดวงพัตรา, 2529) และในการทดสอบใช้ข้าวเปลือกและน้ำในปริมาณมาก หากมีการให้ความร้อนจะเพิ่มค่าใช้จ่าย (ค่าฮีตเตอร์ และค่าไฟฟ้า) มากขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกันกับการปรับแต่งความเป็นกรด-ด่าง (จารุรัตน์ และคณะ, 2550; นฤมล และคณะ, 2557; Zhang et al., 2014) หรือการเติมสารเร่งการงอกในน้ำแช่ (อภิชาติ อาจนาเสียว, 2553) นอกจากจะส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายมากเพิ่มขึ้นแล้วพบว่ามีความซับซ้อนในการผลิต จึงพิจารณาว่าควรใช้น้ำประปาที่ไม่มีการปรับแต่งน้ำเพื่อความสะดวกแก่การผลิต

ระยะเวลาในการแช่และเพาะงอกพบว่า งานวิจัยที่ศึกษามักใช้เวลานานในขั้นตอนการแช่ใช้ระยะเวลา 0-96 ชั่วโมง (Saikusa et al., 1994; Sriwing Tipkanon, 2014; Ohtsubo et al., 2005) และการเพาะงอกใช้ระยะเวลาถึง 12-48 ชั่วโมง (Banchuen et al., 2009) ซึ่งเห็นว่าระยะเวลาในขั้นตอนทั้งสองใช้เวลาประมาณ 1-4 วัน นับเป็นระยะเวลานานหากเทียบกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องเร่งกระบวนการผลิตเพื่อให้ทันตามความต้องการในท้องตลาด โดยพบงานวิจัยบางส่วนใช้เวลาในการแช่และเพาะงอกเพียง 24 ชั่วโมง (Komatsuzaki et al., 2007; สุนัน และคณะ, 2553) ซึ่งพบว่าเป็นงานวิจัยที่ควรศึกษาต่อในด้านระยะเวลาการแช่และเพาะงอก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวิจัยของ สุนัน และคณะ, 2553 ที่ได้ทำการทดสอบแช่ข้าวเพียง 4 ชั่วโมง แล้วจึงทำการเพาะงอกต่อเป็นเวลา 20 ชั่วโมง โดยในการเพาะงอกนี้ทำการสเปรย์น้ำล้างข้าวทุก ๆ 4 ชั่วโมง พบว่านอกจากสามารถลดระยะเวลาของกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกแล้วยังสามารถลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในข้าวกล้องงอก และยังทำให้ปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นอีกด้วย

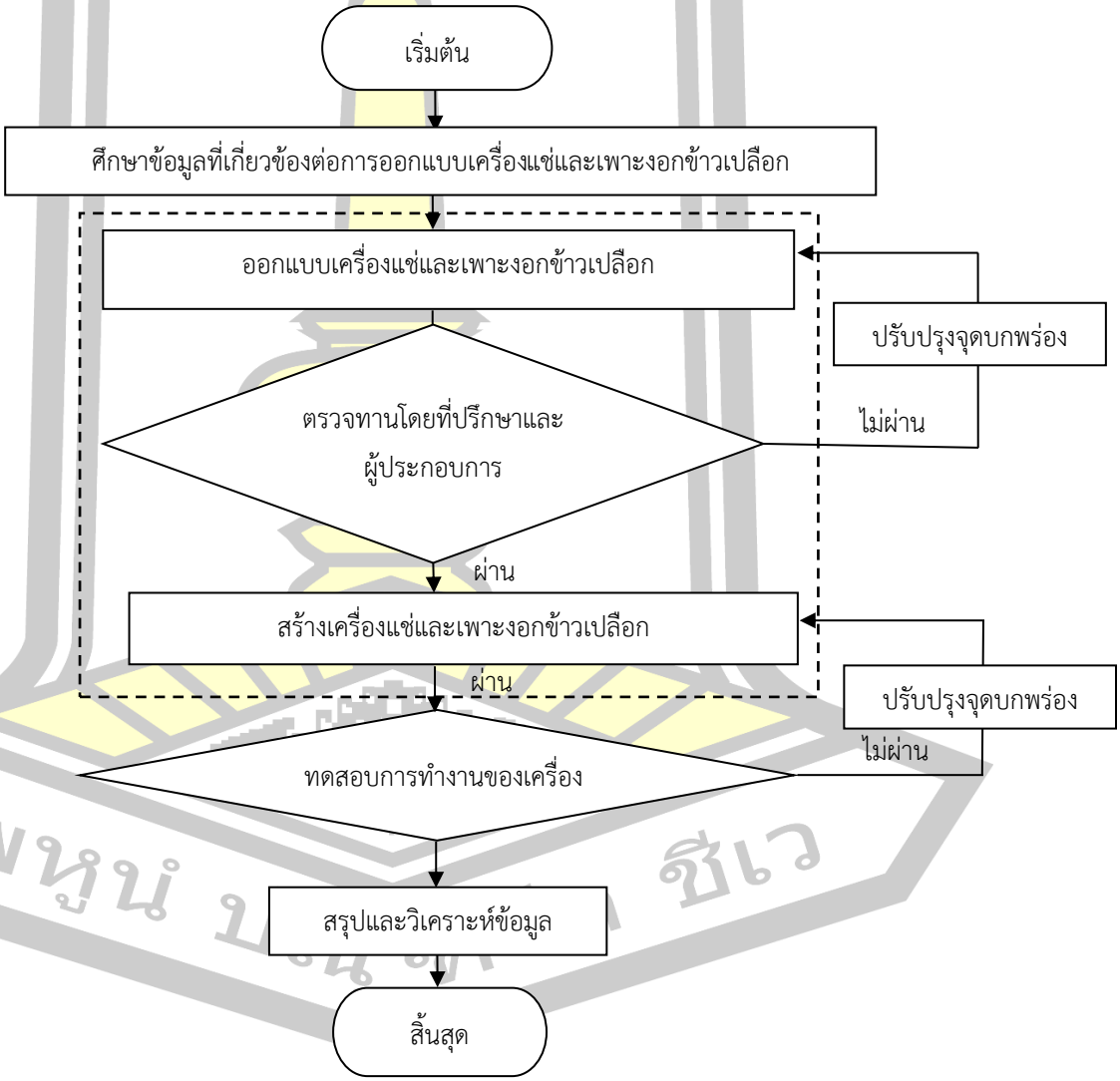
หลักการสเปรย์น้ำล้างข้าวกล้องนี้ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ใช้หลักการน้ำไหลเวียนผ่านข้าวโดยการสเปรย์น้ำต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 32 ชั่วโมง โดยไม่มีการเพาะงอก (ศิโรรัตน์ พิลาวุธ, 2559) ซึ่งพบข้อมูลการทดสอบที่โดดเด่นจากงานวิจัยอื่น คือ การศึกษาอัตราการไหลของน้ำ ผลสรุปการศึกษาพบว่า ควรใช้อัตราการไหลของน้ำผ่านข้าว 1-3 ลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมข้าวเปลือก (ศิโรรัตน์ และวินิต , 2555) และสัดส่วนของน้ำต่อข้าวเปลือกที่มากกว่า 3 ลิตร แต่ไม่เกิน 10 ลิตร ต่อ 1 กิโลกรัม ข้าวเปลือก (ศิโรรัตน์ พิลาวุธ, 2561) ซึ่งพิจารณาว่างานวิจัยที่ใช้หลักการสเปรย์น้ำล้างข้าวกล้องงอกและการใช้หลักการน้ำไหลเวียนนั้นสามารถพัฒนาหลักการร่วมกันได้

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นจึงสรุปได้ว่า ในการทดสอบนี้ใช้วัตถุดิบเป็นข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทดสอบการแช่โดยใช้น้ำประปาที่ไม่ผ่านการปรับแต่งและอุณหภูมิของน้ำแช่เป็นไปตามสภาวะแวดล้อมของการทดสอบไม่มีการให้ความร้อนหรือการให้ความเย็นเพิ่มเติม ระยะเวลาในการแช่และเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยทำการสเปรย์น้ำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้ข้าวได้รับความชื้น หลังจากนั้นจึงทำการหยุดสเปรย์แล้วจึงเริ่มการสเปรย์สลับกันเป็นเวลา 20 ชั่วโมง โดย อัตราการไหลของน้ำผ่านข้าวเปลือกและสัดส่วนของน้ำต่อข้าวเปลือกปรับแต่งตามความเหมาะสมของผู้ประกอบการโดยมีขอบเขตตามงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

จากการศึกษาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจนทราบปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกแล้ว ในหัวข้อนี้ทำการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกให้เสร็จสมบูรณ์พร้อมทั้งแก้ไขในจุดที่บกพร่องเพื่อทดสอบสมรรถนะตามรูปแบบการทดสอบที่วางแผนไว้ให้สำเร็จแล้วจึงทำการวิเคราะห์ผลในหัวข้อต่อไปโดยสรุปวิธีการดำเนินงานพอสังเขปดังภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

3.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

3.1.1 การศึกษาเงื่อนไขการออกแบบจากทางสถานประกอบการ

ลงพื้นที่สอบถามความต้องการของสถานประกอบการในด้านกำลังการผลิตที่ต้องการ ศึกษาปัญหาจากเครื่องจักรเดิมเพื่อปรับปรุงแก้ไขปัญหาด้านกลไกการทำงาน และสอบถามการทำงานของพนักงานเพื่อปรับให้สะดวกต่อการใช้งาน

3.1.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก

ในการสร้างเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกจำเป็นต้องศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือก และข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการสเปรย์น้ำ 24 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการออกแบบ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหากายภาพของข้าวเปลือก พบงานวิจัยที่ทำการศึกษาโดยใช้หลักการที่ได้มาตรฐานต่าง ๆ (พิศมาส, 2558) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การศึกษาน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด

ทำได้โดยนับเมล็ดข้าวเปลือก และข้าวเปลือกงอกตัวอย่างจำนวนละ 1,000 เมล็ด แล้วทำการชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำเป็นจำนวน 5 ซ้ำ (Reddy and Chakraverty, 2004)

2) การศึกษาความชื้น

การศึกษานี้ทำการวัดความชื้นข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก

2.1) สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกเพื่อหาค่าความชื้นข้าวเริ่มต้น 5 ซ้ำ

2.2) สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกงอก 5 ซ้ำ

2.3) นำตัวอย่างข้าวที่สุ่มได้มาหาความชื้น บรรจุข้าวในภาชนะที่ได้มาตรฐานนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 72 ชั่วโมง (UNIDO, 1995) จากนั้นบันทึกน้ำหนักข้าวหลังเข้าอบ นำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละความชื้นจากสมการ 1 และ 2

ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$MC\ (\%wb) = \frac{w_w - w_d}{w_w} \times 100\% \quad (1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$MC\ (\%db) = \frac{w_w - w_d}{w_d} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ w_w = น้ำหนักเมล็ดทั้งหมด

w_d = น้ำหนักแห้งของเมล็ด

3) การศึกษาความหนาแน่น

ทำได้โดยชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอกต่อปริมาตรบรรจุ กล่องบรรจุทำจากไม้อัดมีปริมาตรภายใน 0.001 ลูกบาศก์เมตร ใส่ข้าวเปลือกลงในถังบรรจุให้เกินขอบถังบรรจุ ใช้ไม้ผิวเรียบที่มีความยาวเกินถังบรรจุปาดเมล็ดข้าวส่วนเกินออกแล้วชั่งน้ำหนัก ทำการทดลอง 5 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยดังสมการ 3

$$\rho = \frac{m}{v} \qquad (3)$$

เมื่อ v = ปริมาตรของกล่องไม้อัด (ลูกบาศก์เมตร)

m = น้ำหนักของข้าวที่บรรจุในกล่องไม้อัด (กิโลกรัม)

ρ = ความหนาแน่นของข้าว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

4) การศึกษามุมเสียดทานสถิต

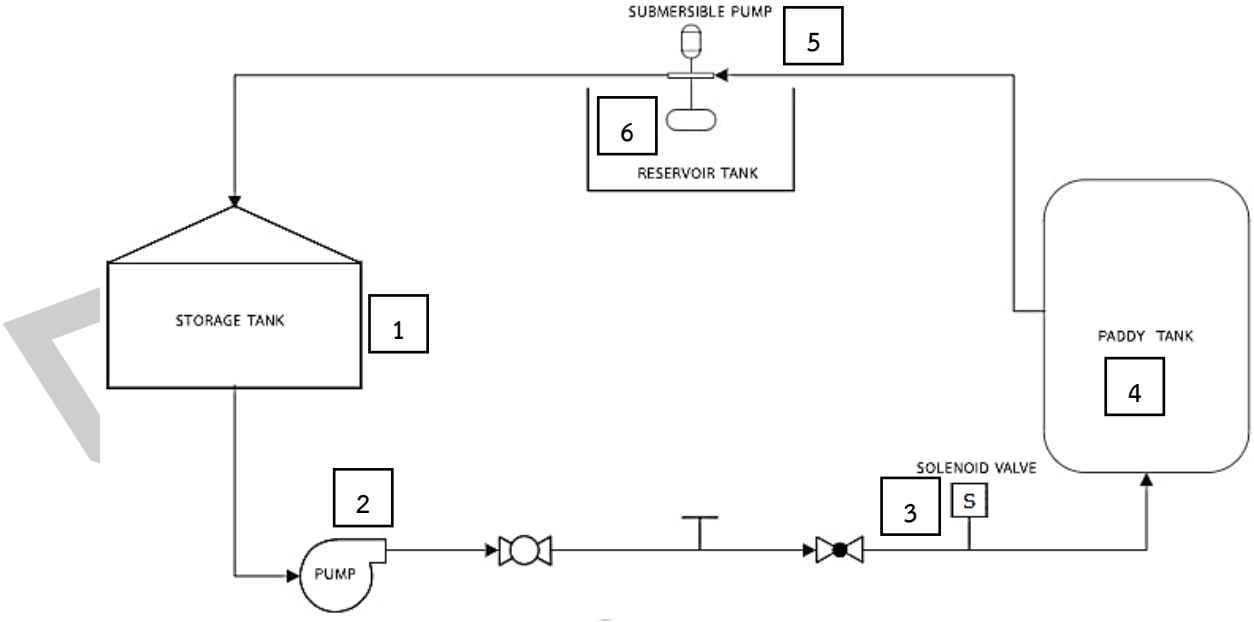
เนื่องจากจากศึกษานี้ต้องมีการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกจึงจำเป็นต้องหามุมเสียดทานสถิตของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก เพื่อประกอบการออกแบบมุมการไหลของข้าวเปลือกที่บรรจุในเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก นำข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอกบรรจุในกล่องขนาด 0.1 x 0.1 x 0.1 เมตร ตามลำดับ วางบนพื้นสแตนเลสในแนวราบที่สามารถปรับมุมเอียงได้ จากนั้นยกระดับพื้นทดสอบขึ้นหนึ่งข้างจนกระทั่งกล่องบรรจุเมล็ดข้าวเปลือกเริ่มเลื่อนไถลจากสภาพหยุดนิ่ง วัดมุมการเลื่อนไถลจากแนวระนาบกับแผ่นทดสอบดังภาพประกอบ 3.2 (วีรกุลและคณะ, 2560)

ภาพประกอบ 3.2 ภาพการทดสอบหามุมเสียดทานสถิต

3.2 การออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

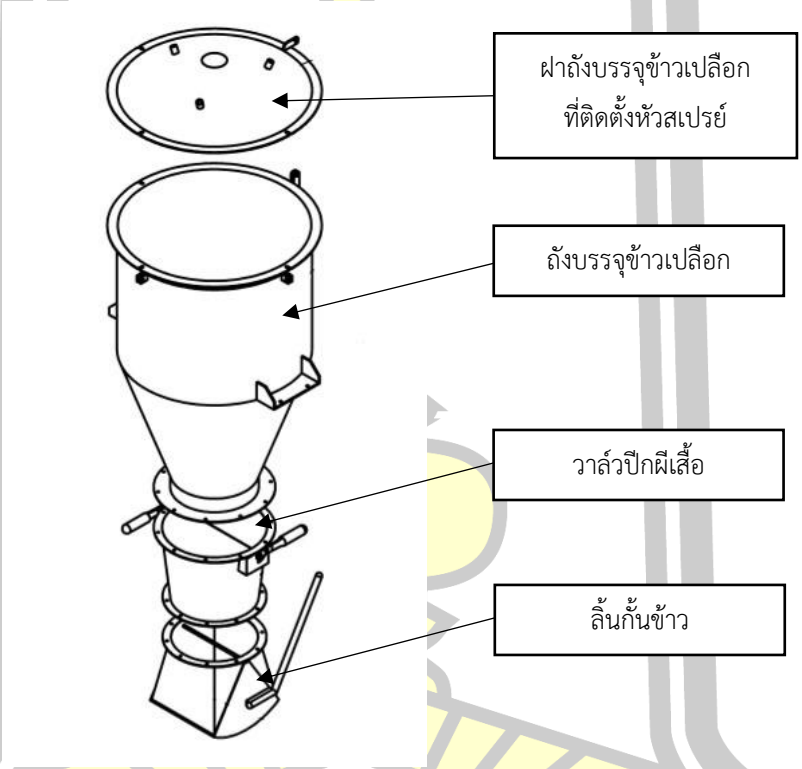
จากการศึกษาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 จึงได้ออกแบบหลักการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกโดยใช้หลักการน้ำไหลผ่านข้าว ทำการออกแบบแผนผังการทำงานเพื่อเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกโดยมีหลักการทำงาน และอุปกรณ์ดังนี้

1. ถังน้ำหมายเลข 1 (Storage Tank) ทำหน้าที่กักเก็บน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ
2. ปั๊มน้ำหมายเลข 2 (Pump) ทำหน้าที่ปั๊มน้ำส่งจากหมายเลข 1 ไปยังถังบรรจุข้าวเปลือกหมายเลข 4
3. ควบคุมการปิด-เปิดน้ำด้วย Solenoid Valve หมายเลข 3 ก่อนจะถูกส่งไปยังถังบรรจุข้าวเปลือกหมายเลข 4 (Paddy Tank) น้ำจะไหลผ่านเมล็ดข้าวแล้วออกจากถังบรรจุข้าวเปลือก
4. น้ำที่ผ่านถังบรรจุข้าวเปลือกหมายเลข 4 จะไหลรวมกันที่อ่างรับน้ำหมายเลข 6 (Reservoir Tank) เมื่อน้ำในอ่างรับน้ำถึงปริมาตรที่กำหนด จะปั๊มน้ำไปเก็บยังถังเก็บน้ำหมายเลข 1 ด้วยปั๊มแบบจุ่มหมายเลข 5 (Submersible Pump) เป็นการใช้น้ำแบบเวียนซ้ำทั้งการทดสอบ ดังภาพประกอบ 3.3



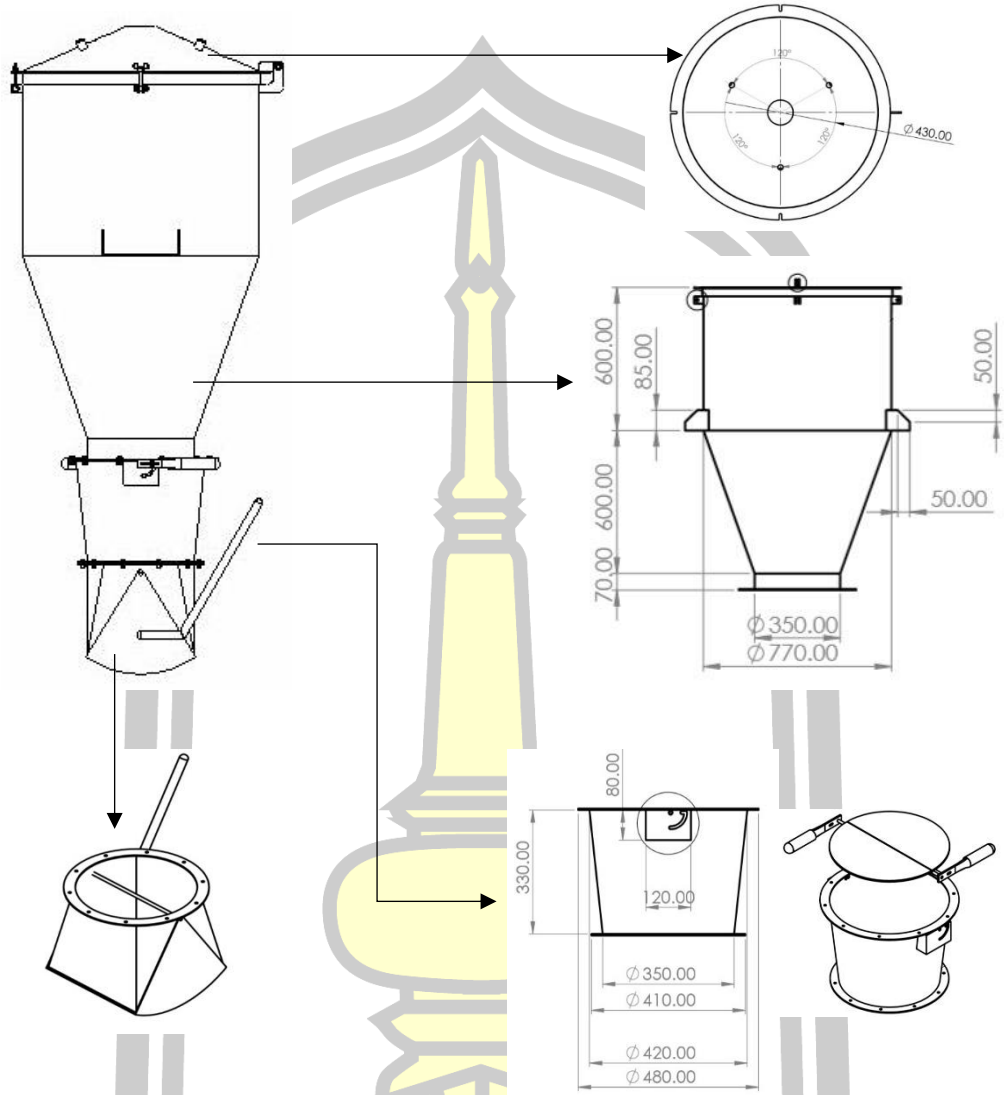
ภาพประกอบ 3.3 แผนผังการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ออกแบบส่วนประกอบถังบรรจุข้าวเปลือกที่สามารถให้น้ำไหลผ่านข้าวเปลือกด้วยการสเปรย์น้ำที่ติดตั้งด้านในฝาถังบรรจุข้าวเปลือก แล้วให้น้ำไหลออกจากถังบรรจุได้โดยออกแบบวาล์วปีผีเสื้อลักษณะเป็นแผ่นวงกลมที่สามารถพับครึ่งได้ วาล์วปีผีเสื้อทำหน้าที่กักไม่ให้ข้าวเปลือกไหลออกจากถังบรรจุแต่สามารถให้น้ำไหลผ่านช่องว่างขนาดเล็กระหว่างวาล์ว และด้านในของถังบรรจุข้าวเปลือกได้ โดยด้างล่างของวาล์วปีผีเสื้อมีลิ้นกั้นข้าวที่เชื่อมต่อกับคันโยก ทำหน้าที่รองรับข้าวเปลือกเมื่อต้องการถ่ายข้าวออกจากถังบรรจุ แสดงส่วนประกอบของถังบรรจุข้าวเปลือกดังภาพประกอบ 3.4



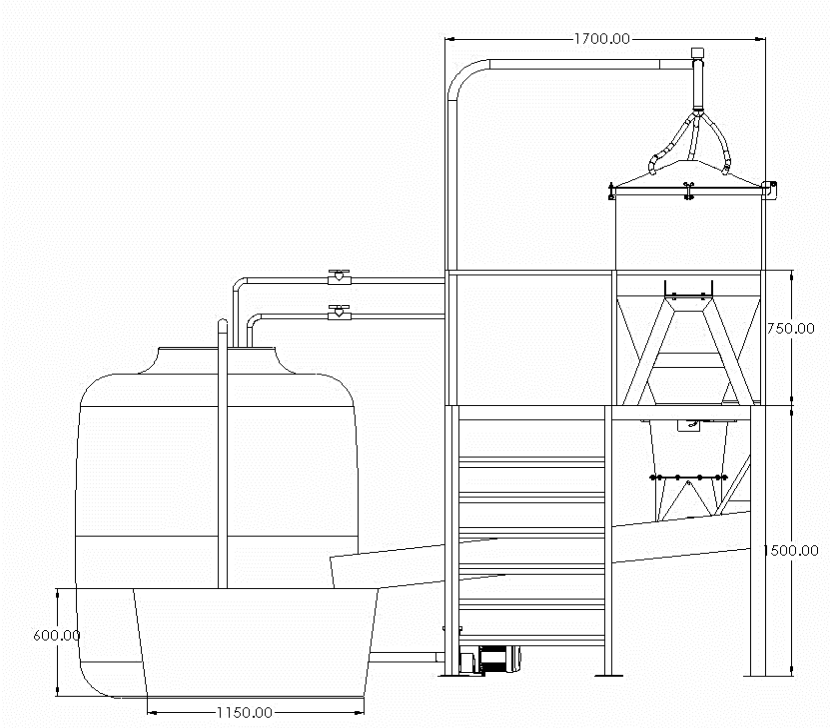
ภาพประกอบ 3.4 ส่วนประกอบของถังบรรจุข้าวเปลือก

ออกแบบถังบรรจุข้าวเปลือกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.77 เมตร มีความสูง 1.2 เมตร ซึ่งแบ่งออกเป็นทรงกระบอกด้านบน 0.6 และ ทรงกรวยด้านล่าง 0.6 เมตร ตามลำดับ โดยมีฝาปิดด้านบนซึ่งติดตั้งหัวฉีดสเปรย์จำนวน 3 ตัว ทำมุม 120 องศา เพื่อฉีดกระจายน้ำลงสู่ข้าวเปลือกที่บรรจุในถัง โดยด้านล่างเป็นวาล์วปีผีเสื้อกักข้าวไม่ให้ไหลออกจากถังบรรจุ แต่สามารถพับเพื่อขนถ่ายข้าวเปลือกออกจากถังบรรจุเมื่อสิ้นสุดการทดสอบได้ โดยมีลิ้นกั้นข้าวทำหน้าที่เปิด และปิดการถ่ายเทข้าวออกจากถังเป็นขั้นตอนสุดท้าย แสดงรายละเอียดดังภาพประกอบ 3.4



ภาพประกอบ 3.5 รายละเอียดส่วนประกอบของถังบรรจุข้าวเปลือก

ติดตั้งถังบรรจุข้าวเปลือกตั้งอยู่บนโครงสร้างสูง 1.5 เมตร และกว้าง 1.7 เมตร ติดตั้งบันไดให้สะดวกเมื่อขนย้ายเข้าสู่ถังบรรจุข้าวเปลือก และราวจับสูง 0.75 เมตร เพื่อความสะดวกและปลอดภัยของผู้ใช้งานเมื่ออยู่บนโครงสร้าง อ่างรับน้ำขนาดสูง 0.6 และกว้าง 1.15 เมตร และถังกักเก็บน้ำขนาด 1.5 ลูกบาศก์เมตร เพียงพอต่อการทดสอบสำหรับการผลิตข้าวเปลือก 180 กิโลกรัม ซึ่งต้องการปริมาตรน้ำ 0.9 ลูกบาศก์เมตร แสดงรายละเอียดโครงสร้างดังภาพประกอบ 3.6



ภาพประกอบ 3.6 รายละเอียดโครงสร้างเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

3.3 การทดสอบการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกที่สร้างขึ้น โดยแบ่งเป็น 2 หัวข้อหลัก คือ กำลังการผลิตของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

3.3.1 การทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

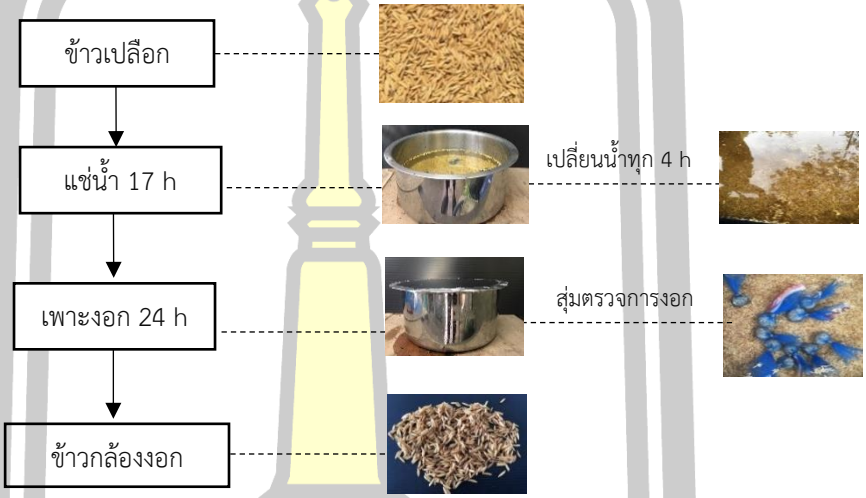
จุดประสงค์ในการทดสอบกำลังการผลิตของวิธีการเดิมของสถานประกอบการและเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกที่สร้างขึ้น โดยในกรณีของสถานประกอบการนั้นจำลองวิธีการแช่และเพาะงอกตามวิธีของสถานประกอบการ

1) วิธีการทดสอบโดยใช้วิธีการเดิมของสถานประกอบการ

1.1) นำข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่ทำการทำความสะอาดคัดแยกสิ่งแปลกปลอม และฟาง

1.2) นำข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้ว แช่น้ำในหม้อสแตนเลสแล้วปิดฝาอย่างมิดชิดไม่ให้อากาศถ่ายเทเป็นเวลา 17 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาตรน้ำตามวิธีการของสถานประกอบการ ในระหว่างการแช่ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก ๆ 4 ชั่วโมง

1.3) เมื่อครบเวลา ปล่อยน้ำออกพักข้าวไว้ในหม้อปิดฝาสนิทเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นการงอก แล้วจึงหยุดการทดสอบ แสดงวิธีการผลิตข้าวกล้องงอกโดยใช้วิธีการของสถานประกอบการ ดังภาพประกอบ 3.7



ภาพประกอบ 3.7 วิธีการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยวิธีการของสถานประกอบการ

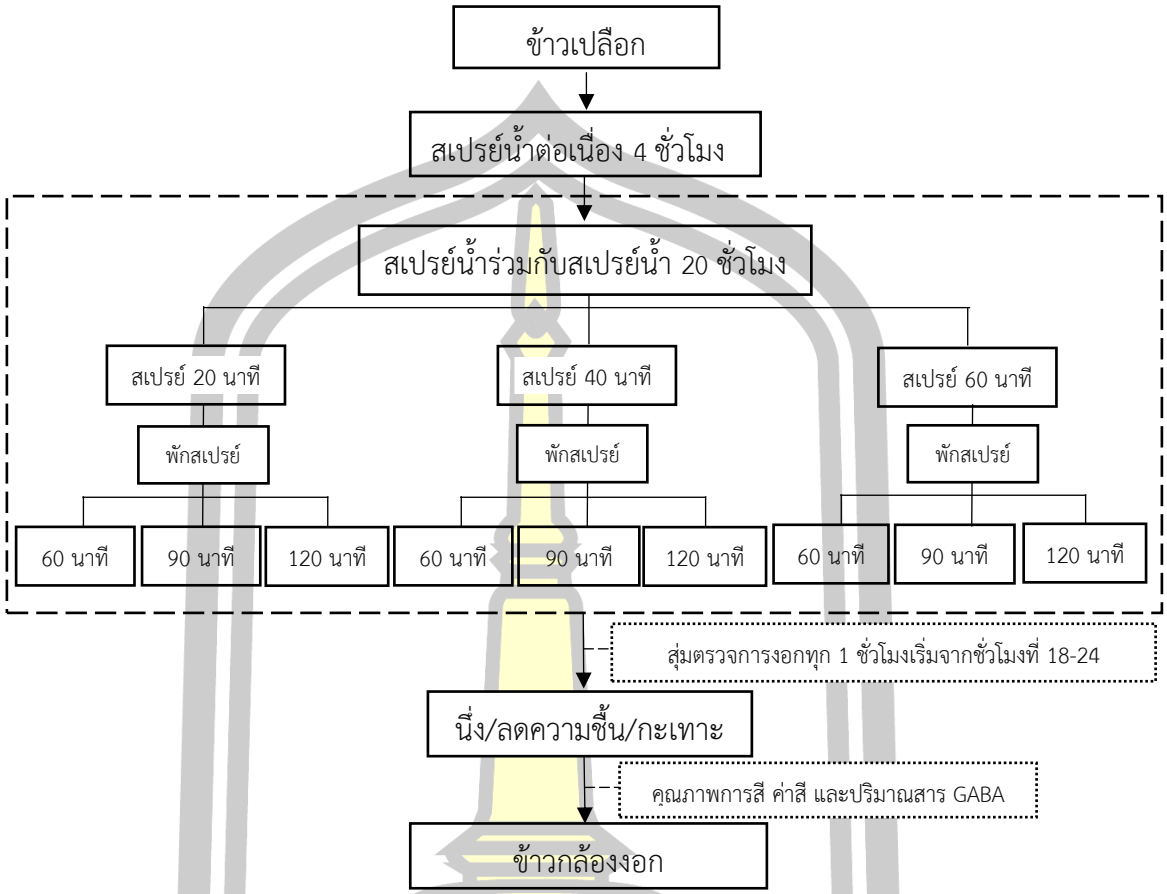
2) วิธีการทดสอบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

2.1) นำข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ทำการทำความสะอาดคัดแยกสิ่งแปลกปลอม และฟางข้าวออกแล้ว บรรจุข้าวเปลือกลงเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวกล้องงอกในขั้นตอนเดียวครั้งละ 180 กิโลกรัม

2.2) ทำการสเปรย์น้ำต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำแทรกซึมผ่านเมล็ดข้าวจนเปียกชุ่มกระจายสม่ำเสมอกันทั่วทั้งถัง

2.3) จากนั้นสเปรย์น้ำเป็นเวลา 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับพักสเปรย์น้ำเพื่อทำการเพาะงอกเป็นเวลา 60 90 และ 120 นาที รวมทั้งสิ้นเป็น 9 การทดสอบ

2.4) ตรวจนับร้อยละการงอกของข้าวจากการทดสอบเบื้องต้นได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงเมล็ดข้าวเปลือกจนพบว่า ในชั่วโมงที่ 15 เมล็ดข้าวเปลือกพร้อมจะแทงราก จึงเริ่มทำการตรวจนับร้อยละการงอกเมื่อเวลาผ่านไป 18-24 ชั่วโมง ตรวจนับทุก ๆ 1 ชั่วโมง แสดงวิธีการผลิตข้าวกล้องงอกของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกดังภาพประกอบ 3.8



ภาพประกอบ 3.8 วิธีการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

นำข้าวที่ผ่านการทดสอบจากวิธีการของสถานประกอบการ และจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก นึ่งด้วยไอน้ำร้อนในสภาวะความดันบรรยากาศเป็นเวลา 30 นาที เริ่มจับเวลาการนึ่งเมื่อน้ำเดือดจนเกิดไอน้ำ แล้วผึ่งจนไอร้อนหมดก่อนนำไปอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้งด้วยอุณหภูมิหลอดอินฟราเรด 750 องศาเซลเซียส วนซ้ำเป็นจำนวน 2 รอบ แล้วผึ่งลมในที่ร่มจนข้าวเปลือกมีความชื้นเฉลี่ยร้อยละฐานเปียก 12 ± 1 (ทรงผล และคณะ , 2560) แสดงวิธีการนึ่งและอบลดความชื้นดังภาพประกอบ 3.9

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพประกอบ 3.9 วิธีการนึ่ง (ก) ผึ่ง (ข) อบลดความชื้น(ค) และตากในที่ร่ม (ง)

3.3.2 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

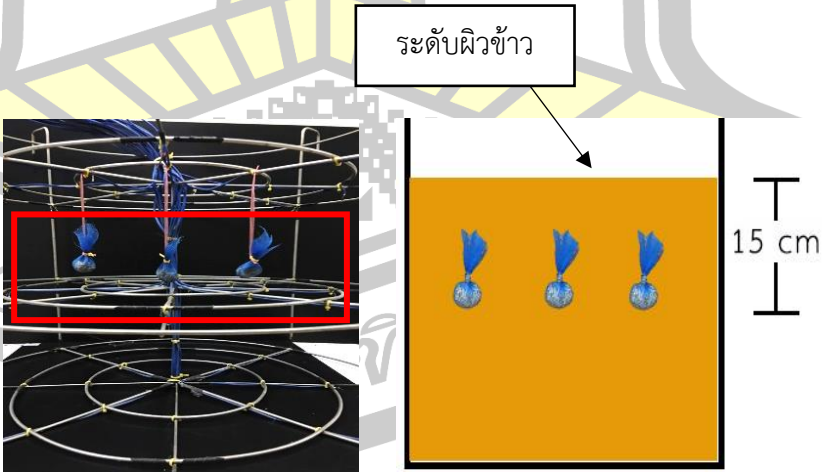
ในหัวข้อนี้กล่าวถึงวิธีการหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่สุ่มในระหว่างการทดสอบ คือ การวัดร้อยละการงอกหาในระหว่างการทดสอบ จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดข้าวเปลือกเมื่อเวลาผ่านไป 15 ชั่วโมง พบว่าเมล็ดข้าวใสเห็นรากพร้อมจะแทงออกจากเปลือก และพบว่าข้าวเริ่มงอกจนสามารถตรวจนับได้ในชั่วโมงที่ 18 จึงทำการตรวจสอบการงอกทุก ๆ 1 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ในชั่วโมงที่ 18 จนถึงชั่วโมงที่ 24

ตรวจสอบคุณภาพข้าวกล้องงอกโดยนำข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการทดสอบครบ 24 ชั่วโมง นึ่งในรังถึงในสภาวะบรรยากาศ และอบลดความชื้นแล้ว วัดคุณภาพการสี วัดสีของเมล็ดข้าวกล้องงอก และวัดปริมาณสาร GABA

1) วิธีการวัดร้อยละการงอก

1.1) วิธีการวัดร้อยละการงอกในกรณีวิธีการจากสถานประกอบการ ทำได้โดยบรรจุตัวอย่างข้าวเปลือก 100 เมล็ด ในถุงตาข่ายเพื่อให้น้ำไหลผ่านเป็นสภาวะเดียวกันกับข้าวที่ไม่ได้สุ่ม นำถุงสุ่มวางไว้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในหม้อผลิตข้าวเปลือกงอก สุ่มวัดการงอกครั้งละ 3 ซ้ำ เริ่มต้นจากชั่วโมงที่ 18 สุ่มตรวจครั้งละ 3 ซ้ำ สุ่มทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งครบ 24 ชั่วโมง

1.2) วิธีการวัดร้อยละการงอกจากการใช้เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก ทำการสุ่มวัดการงอกเริ่มต้นจากชั่วโมงที่ 18 สุ่มตรวจครั้งละ 3 ซ้ำ สุ่มทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งครบ 24 ชั่วโมง สุ่มโดยบรรจุตัวอย่างข้าว 100 เมล็ด ในถุงตาข่ายเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 1.1) จากนั้นนำถุงสุ่มไว้ที่ระดับต่ำกว่าผิวข้าวด้านบน 15 เซนติเมตร ดังภาพประกอบ 3.10 หลักการวิเคราะห์การงอก คือ เมื่อข้าวเริ่มปลิเปลือกออก ลักษณะปรากฏเห็นเป็นปุ่มรากนับเป็นการงอก วิเคราะห์ร้อยละการงอกโดยไม่วิเคราะห์ความยากราก



ภาพประกอบ 3.10 ตำแหน่งการสุ่มนับร้อยละการงอกของข้าว

2) วิธีการตรวจสอบคุณภาพการสี

การผลิตข้าวกล้องงอกจำเป็นต้องหาปริมาณร้อยละต้นข้าวเพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำได้โดยนำข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการผลิตจากวิธีการของสถานประกอบการ และจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกนำไป นึ่ง ลดความชื้น กะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกอุปกรณ์ของ SATAKE รุ่น HU-35 แบบลูกยาง จำนวน 3 รอบ แล้วนำไปแยกต้นข้าวด้วยเครื่องคัดแยกข้าวแบบตะแกรงหมุน อุปกรณ์ของ SATAKE รุ่น L-02 ดัดแปลงจาก ปริพัฒน์ และคณะ, (2556) นำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาค่าปริมาณร้อยละต้นข้าว และปริมาณข้าวแตกหัก ตามสมการ 4และ 5 ตามลำดับ

$$\text{ปริมาณร้อยละต้นข้าว} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ด}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \times 100 \qquad (4)$$

$$\text{ปริมาณข้าวแตกหัก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวหัก}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \times 100 \qquad (5)$$

3) วิธีการตรวจสอบสีของเมล็ดข้าวกล้องงอก

การวัดสีของเมล็ดข้าวกล้องงอกในกรณีวิธีการของสถานประกอบการ และในกรณีการใช้เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิค Chroma Meter รุ่น CR-400 โดยใส่แผ่น calibrate เพื่อปรับค่าสีมาตรฐานโดยใช้แผ่นเทียบสีดำและขาว จากนั้นตักข้าวใส่ถ้วยให้ล้นจากขอบถ้วยเล็กน้อย แล้วปิดฝาครอบ ทำการวัดสีเป็นจำนวน 5 ซ้ำ

แสดงผลเป็น L* a* และ b* โดย L* คือ ค่าความสว่างโดย 0 เป็นค่าที่มืดที่สุด และ 100 คือค่าที่สว่างที่สุด a* คือ ค่าแสดงสีแดงหรือสีเขียว โดยหากแสดงค่าบวกเป็นสีแดง ค่าลบเป็นสีเขียว และ b* แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน โดยหากแสดงค่าบวกเป็นสีเหลือง ค่าลบเป็นสีน้ำเงิน จากนั้นนำผลที่ได้คำนวณหาค่าเฉลี่ย ดัดแปลงวิธีการจาก (ศิโรรัตน์ และวินิต , 2555; สุนัน และคณะ , 2553)

4) วิธีการตรวจสอบปริมาณสาร GABA

เนื่องจากสาร GABA เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการแช่และเพาะงอก จึงจำเป็นต้องศึกษาความเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารเพื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและเปรียบเทียบกับวิธีการของสถานประกอบการ

ทำได้โดยนำข้าวเปลือกงอก นึ่ง อบแห้ง แล้วกะเทาะเปลือกแล้วบดให้เป็นผงแป้ง นำตัวอย่างจำนวน 5 กรัม เติม Methanol ปริมาตร 20 มิลลิลิตร สกัดด้วยเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่

25 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 155 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วเตรียมให้ได้ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตต์ใส่ในหลอดทดลอง ปริมาตร 300 ไมโครลิตร เติม Borate buffer pH 9 ความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 600 ไมโครลิตร และ phenol reagent ความเข้มข้นร้อยละ 6 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปแช่ในอ่างน้ำเย็น 10 นาที เติม Sodium hypochlorite reagent ความเข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แช่ในอ่างน้ำเย็น 10 นาที จากนั้นแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80-95 องศาเซลเซียส 10 นาที แล้วแช่ในอ่างน้ำเย็นอีก 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร โดยใช้ Methanol เป็น Blank และใช้ ɣ-aminobutyric acid ความเข้มข้น 0.05 0.10 0.20 0.40 0.60 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นสารมาตรฐาน ได้ค่า r^2 = 0.9920 สมการเส้นตรง y = 0.0272x+0.0024 นำค่าที่วัดได้จากเครื่อง Spectrophotometer แทนค่าในสมการเพื่อหาปริมาณกาบา แสดงในหน่วยมิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัม (mg GABA/g of Sample) (จิราภรณ์ และคณะ, 2557)

3.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้เครื่องจักรในขั้นตอนการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ในการสร้างเครื่องจักรจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนวณค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องจักร โดยเปรียบเทียบวิธีการของสถานประกอบการ และจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกโดยมีข้อมูลค่าใช้จ่ายดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First Cost) คือ ค่าใช้จ่ายเริ่มแรกรวมทั้งหมดของการลงทุนโดยค่าใช้จ่ายนี้ จะไม่มีจ่ายจ่ายซ้ำอีก เช่น ค่าเครื่องจักร ค่าติดตั้ง เป็นต้น

2) ค่าดำเนินการ (Operating Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่เตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ลงทุนเพื่อให้เกิดผลผลิต

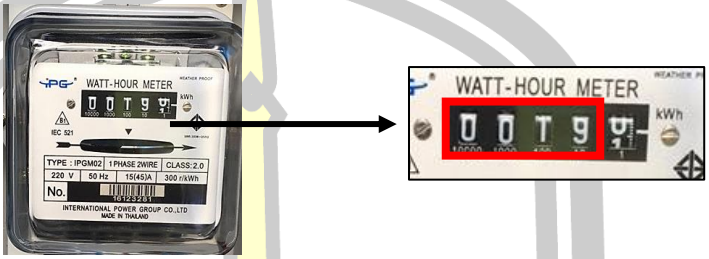
3) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ ไม่ผันแปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคา

4) ค่าใช้จ่ายแปรผัน (Variable Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่แปรผันไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงาน ค่าซ่อมบำรุงและรักษา

4.1) ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า และน้ำประปา

การวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวกล้องงอกในขั้นตอนเดียว มีเครื่องใช้ไฟฟ้าหลัก 2 เครื่อง คือ ปั๊มน้ำแบบหอยโข่งขนาด 1.5 แรงม้า และปั๊มน้ำแบบจุ่ม การวัดพลังงานไฟฟ้าในการทดสอบนี้วัดด้วยมิเตอร์วัดค่าไฟฟ้าแสดงผลเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ

ยกตัวอย่างการนับหน่วยพลังงานไฟฟ้าแสดงดังภาพประกอบ 3.11 อ่านค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 19.05 กิโลวัตต์-ชั่วโมง สามารถนำค่าที่ได้คำนวณหาค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าจากสมการ 6 ในกรณีของสถานประกอบการค่าพลังงานไฟฟ้าได้จากการสัมภาษณ์และประเมิณผลจากผู้ประกอบการ



ภาพประกอบ 3.11 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

ค่าพลังงานไฟฟ้า = จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ x ราคาต่อหน่วยไฟฟ้า (6)

ในการทดสอบครั้งนี้ใช้น้ำปริมาตรคงที่ทุกการทดสอบ คือ 900 ลิตร ทำให้ค่าใช้จ่ายค่าปริมาณน้ำประปาเท่ากันทุกการทดสอบ คือ 0.9 ลูกบาศก์เมตร คำนวณหาค่าน้ำประปาได้จากสมการ 7 และในกรณีของสถานประกอบการได้จากการสัมภาษณ์และประเมินผลจากผู้ประกอบการ

ค่าน้ำประปา = จำนวนหน่วยน้ำประปาที่ใช้ x ราคาต่อหน่วยประปา (7)

ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$D = (P-S)/N \quad (8)$$

$$I = [(P+S)/2](r/100) \quad (9)$$

$$F_C = D+I \quad (10)$$

$$A_C = (F_C/A)+(1/C_t)(R\&M+F+L_O) \quad (11)$$

เมื่อ

D = ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)

I = ดอกเบี้ย (บาท/ปี)

P = ราคาซื้อ (บาท)

S	=	มูลค่าซาก	(บาท)
N	=	อายุการใช้งาน	(ปี)
r	=	อัตราดอกเบี้ย	(ร้อยละ/ปี)
A_c	=	ต้นทุนการใช้เครื่อง	(บาท/กิโลกรัม)
F_c	=	ต้นทุนคงที่	(บาท/ปี)
A	=	น้ำหนักข้าวกล้องงอกที่ผลิตได้	(กิโลกรัม)
R&M	=	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา	(บาท/ปี)
F	=	ค่าไฟฟ้า	(บาท/ปี)
L_o	=	ค่าแรงงานคนปฏิบัติงาน	(บาท/ปี)
C_t	=	ค่าสามารถในการทำงานของเครื่อง	(กิโลกรัม/ปี)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปราย

วิธีการดำเนินการศึกษาเพื่อการออกแบบหลักการทำงานเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 แล้วนั้นในบทนี้เป็นผลการศึกษาและอภิปรายผลโดยแบ่งเป็นหัวข้อที่ได้ทำการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

4.2 ผลการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

4.3 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

4.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้เครื่องจักรในขั้นตอนการแช่และเพาะงอกข้าวกล้องงอก

4.1 ผลการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

4.1.1 เงื่อนไขการออกแบบจากทางสถานประกอบการ

1) จากการสอบถามข้อมูลจากทางสถานประกอบการพบว่ากระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกจากสถานประกอบการมีขั้นตอนการผลิตเป็นรอบซึ่งในหนึ่งสัปดาห์มีรายละเอียดดังนี้

1.1) นำข้าวเปลือกแช่น้ำเป็นเวลา 17 ชั่วโมง โดยระยะเวลาของขั้นตอนการแช่เริ่มจากเวลา 15.00 น. ของวันจันทร์ ระหว่างนี้จำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำแช่ทุก ๆ 4 ชั่วโมง หยุดการแช่เมื่อถึงเวลา 8.00 น. ของวันอังคาร

1.2) เปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากข้าว พักไว้ในที่อับอากาศและอับแสง 24 ชั่วโมง จากวันอังคารเวลา 8.00 น. ถึงวันพุธเวลา 8.00 น. เพื่อกระตุ้นการงอกของข้าว

1.3) นำข้าวเปลือกที่ได้นึ่งด้วยไอร้อนในสภาวะความดันไอ 1 bar เป็นเวลา 30 นาที

1.4) นำไปอบลดความชื้นเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ด้วยลมร้อนแบบถาดอยู่นิ่งเมื่อผลิตข้าวกล้องงอกในปริมาณมาก หรือการแผ่ตากบนลานปูนหากผลิตข้าวกล้องงอกในปริมาณน้อย

1.5) นำข้าวเปลือกที่แห้งแล้วไปกะเทาะเปลือก จากการสอบถามผู้ประกอบการกล่าวว่า ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้ให้ปริมาณสาร GABA อยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่ามาตรฐานสินค้าเกษตร (มากกว่า 5 mg/100g) โดยในหนึ่งสัปดาห์ (วันจันทร์-วันศุกร์) สามารถผลิตข้าวกล้องงอกได้ 2 รอบ คือ รอบที่ 1 วันจันทร์ถึงวันพุธ และรอบที่ 2 วันพุธถึงวันศุกร์ กำลังการผลิตประมาณครั้งละ

300 กิโลกรัม เมื่อสอบถามจากผู้ประกอบการพบว่ากำลังการผลิตนี้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด

2) จากหัวข้อ 1.1) ที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าระยะเวลาในการแช่เริ่มที่ 15.00 น. ดังนั้นระยะเวลาเปลี่ยนถ่ายน้ำแช่จะอยู่ในเวลา 19.00 23.00 และ 2.00 น. ของวันต่อมา ซึ่งเป็นเวลาการทำงานที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของพนักงาน

3) เครื่องจักรเดิมลักษณะเป็นถังทรงกระบอกวางทางแนวแกนนอนทำให้เพลาของถังเกิดการแอ่นตัวเนื่องจากต้องรับน้ำหนักของถัง และเมื่อจะขนถ่ายข้าวออกจากถังไปสู่ขั้นตอนการลดความชื้นทำได้ไม่สะดวกนักเนื่องจากต้องทำการกวาดด้วยใบกวาดสแตนเลสซึ่งพบว่าทำให้เมล็ดข้าวแตกจากการกวาดด้วยของแข็ง ดังภาพประกอบ 4.1

(ก) (ข)

ภาพประกอบ 4.1จุดแกนเพลาเกิดการแอ่นตัว (ก) ลักษณะการขนถ่ายข้าวออกจากถัง (ข)

4.1.2 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก

ศึกษากายภาพของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก กำหนดเวลาการสเปรย์น้ำต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการหยุดพักการสเปรย์น้ำ เพื่อให้ได้ผลทางกายภาพที่ข้าวเปลือกงอกดูดซึมน้ำมากที่สุดในการทดสอบ จากนั้นนำผลที่ได้ประกอบการคำนวณเพื่อออกแบบและพัฒนาโครงสร้างเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก โดยผลการศึกษาจัดในรูปแบบตารางโดยแบ่งเป็นหัวข้อ คือ ผลการศึกษาน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด ผลการศึกษาความชื้น ผลการศึกษาความหนาแน่น ผลการศึกษามุมเสียดทานสถิต

ตาราง 4.1 ผลการทดสอบทางกายภาพของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก

หัวข้อการศึกษา	ข้าวเปลือก		ข้าวเปลือกงอก	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
น้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด (กรัมต่อ 1,000 เมล็ด)	24.82	0.13	33.12	0.67
ความชื้น (ร้อยละฐานเปียก)	12.42	0.24	36.54	0.12
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	537.66	7.87	560.22	11.96
มุมเสียดทานสถิต (องศา)	19.80	0.84	25.32	0.84

จากตาราง 4.1 เมื่อทำทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก พบว่า ผลคุณสมบัติของข้าวเปลือกงอกมีค่ามากกว่าข้าวเปลือกทุกการทดสอบ โดยเมื่อทดสอบหาน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด ความชื้น ความหนาแน่น และมุมเสียดทานสถิต ของข้าวเปลือกที่ผ่านการสเปรย์น้ำ 24 ชั่วโมง ได้ผลการทดสอบอยู่ที่ 33.12 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด 36.54 ร้อยละฐานเปียก 560.22 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 25.32 องศา ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวเปลือกมีค่า ที่ 24.82 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด 12.42 ร้อยละฐานเปียก 537.66 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 19.80 องศา

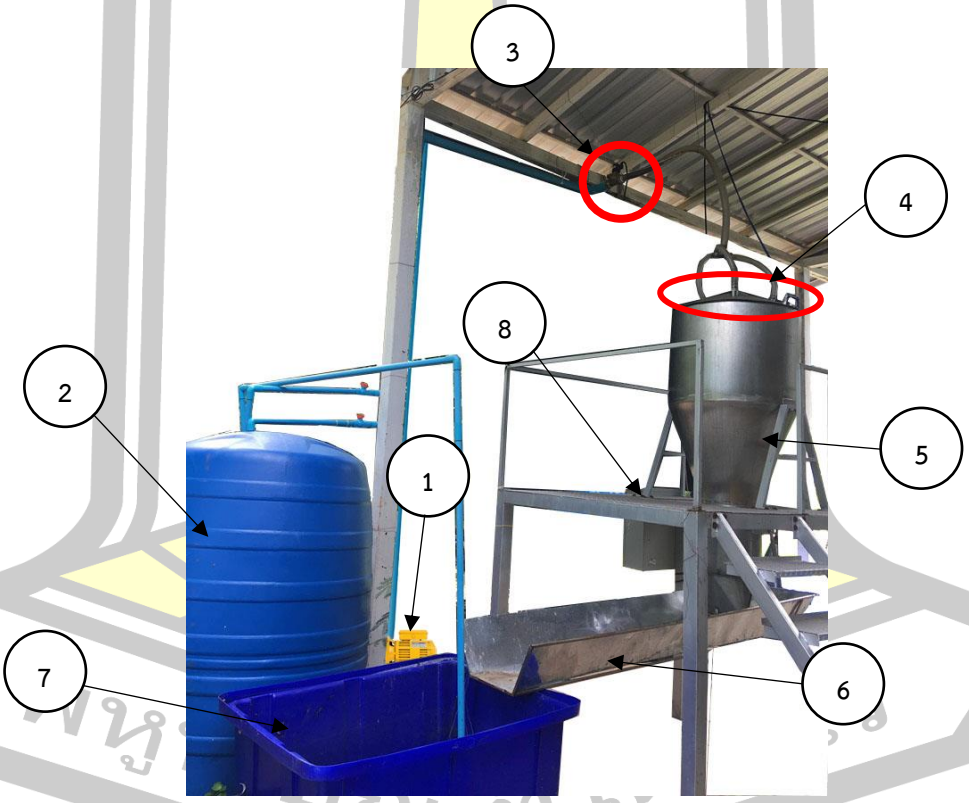
ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกงอกมีค่ามากกว่าข้าวเปลือก เนื่องจากข้าวเปลือกที่ผ่านการสเปรย์ 24 ชั่วโมง มีค่าความชื้นสูง ทำให้น้ำหนัก ความหนาแน่น เพิ่มขึ้น และจึงส่งผลให้มุมเสียดทานสถิตมากเพิ่มขึ้น

4.2 ผลการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ในการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก ออกแบบโดยคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งาน มุ่งเน้นให้เครื่องทำงานแบบอัตโนมัติเพื่อลดความซับซ้อนในการผลิตสามารถใช้งานง่ายและสะดวกต่อการขนย้าย หลักการทำงานของเครื่องศึกษาและพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยที่ได้ศึกษาในบทที่ 2 และจากการศึกษาข้อมูลจากสถานประกอบการในหัวข้อ 4.1.1 พบปัญหาด้านเวลาการทำงานที่ไม่เหมาะสมของพนักงาน เนื่องจากในขั้นตอนการแช่อยู่ในช่วงเวลาค่ำถึงรุ่งเช้าซึ่งต้องคอยเปลี่ยนถ่ายน้ำอยู่เสมอเพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นหืนของข้าวกล้องงอก จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา

พบงานวิจัยที่สามารถกำจัดกลิ่นหืนของข้าวกล้องงอกด้วยการล้างทำความสะอาดข้าวกล้องงอก โดยเริ่มจากแช่ข้าวกล้องงอก 2-6 ชั่วโมง แล้วจึงเพาะงอก 18-22 ชั่วโมง ในช่วงการเพาะงอกทำความสะอาดล้างข้าวกล้องงอกด้วยการสเปรย์น้ำทุก 4-6 ชั่วโมง พบว่าการสเปรย์น้ำล้างข้าวกล้องช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์และกลิ่นหืนของข้าวกล้องงอกได้ (สุนัน และคณะ , 2553)

ออกแบบการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกโดยการใช้หลักการน้ำไหลผ่านข้าวเพื่อเพิ่มความชื้นให้เมล็ดข้าว ร่วมกับการหยุดพักเพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดการเพาะงอก ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำด้วย Solenoid Valve สั่งการด้วยไฟฟ้า ใช้ระบบน้ำแบบไหลเวียนซ้ำ เมื่อสเปรย์ผ่านข้าวแล้วปั๊มน้ำกลับไปที่ถังเก็บน้ำเพื่อใช้ในการสเปรย์อีกครั้ง และในการใช้น้ำแบบเวียนซ้ำนี้ช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำเนื่องจากออกซิเจนจะช่วยย่นระยะเวลาการเน่าเสียของน้ำทั้งยังช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ในเมล็ดข้าวได้ ส่งผลให้ในการผลิตข้าวกล้องงอกในหลักการนี้ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำแช่ โดยมีส่วนประกอบดังภาพประกอบ 4.2 และการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก ดังนี้



ภาพประกอบ 4.2 อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

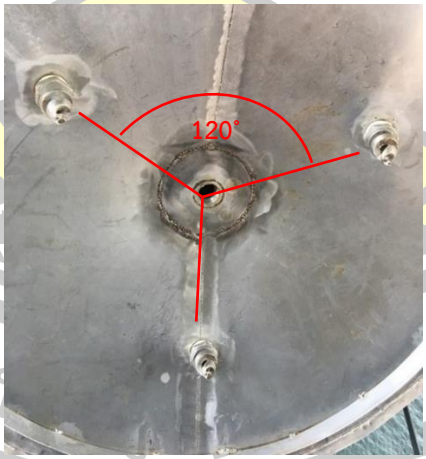
1) ปั๊มน้ำแบบหอยโข่ง ขนาด 1.5 แรงม้า ทำหน้าที่ปั๊มน้ำจากถังเก็บน้ำหมายเลข 2 ส่งไปตามท่อทางไปยังถังบรรจุข้าวเปลือกหมายเลข 5

2) ถังกักเก็บน้ำ ทำหน้าที่ กักเก็บน้ำเพื่อใช้ในการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

3) โซลินอยด์วาล์ว แบบ 2/2 ทาง (Solenoid Valve 2/2 ways) ทำหน้าที่ เปิด-ปิดน้ำด้วยคำสั่งทางไฟฟ้าส่งน้ำไปยังหัวฉีดที่ติดตั้งอยู่ด้านในของฝาถังบรรจุข้าวเปลือกเพื่อทำการสเปรย์และหยุดสเปรย์น้ำตามเวลาที่กำหนด แสดงลักษณะดังภาพประกอบ 4.3

ภาพประกอบ 4.3 โซลินอยด์วาล์ว แบบ 2/2 ทาง

4) ฝาถังบรรจุข้าวเปลือก ซึ่งติดตั้งหัวสเปรย์ฉีดน้ำแบบ Spiral ซึ่งมีลักษณะเด่นทางด้านป้องกันการอุดตันจากเศษฝุ่นและเศษเจือปนขนาดใหญ่ใหญ่เช่นเศษฟางข้าวที่ติดมากับข้าวเปลือก ติดตั้งจำนวน 3 หัว ทำมุม 120 องศา ตามแนวรัศมีเพื่อฉีดกระจายน้ำให้แทรกซึมเมล็ดข้าวเปลือกทั่วทั้งถัง แสดงดังภาพประกอบ 4.4



ภาพประกอบ 4.4 ลักษณะการติดตั้งหัวฉีดสเปรย์น้ำด้านในของฝาถังแช่และเพาะงอก

5) ถังบรรจุข้าวเปลือก ทำหน้าที่บรรจุข้าวเปลือกเพื่อทำการแช่และเพาะงอก ถังขนาดปริมาตร 400 ลิตร สามารถบรรจุได้เปลือกได้ถึง 200 กิโลกรัม น้ำข้าวเปลือกบรรจุในถังโดยเทเข้าทางด้านบนของถัง และขนถ่ายออกด้วยการโยกลิ้นกั้นข้าวด้านท้ายถัง ข้าวจะไหลออกด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก แสดงดังภาพประกอบ 4.5

(ก) (ข)

ภาพประกอบ 4.5 ลักษณะการบรรจุ (ก) และขนถ่ายข้าวออกจากถังบรรจุข้าวเปลือก (ข)

6) รางรับน้ำ ทำหน้าที่รับน้ำที่ผ่านการสเปรย์ผ่านเมล็ดข้าวแล้วไหลออกด้านท้ายถัง ไปรวมไว้ที่อ่างรองรับน้ำในขณะที่น้ำไหลลงสู่รางรองรับน้ำนั้นทำให้เกิดกระแสน้ำ ตกกระทบกับรางรับน้ำในระหว่างนี้น้ำจะสัมผัสกับอากาศแวดล้อมจนเกิดการเติมออกซิเจนเข้าไปด้วย แสดงการไหลของน้ำดังภาพประกอบ 4.6

ภาพประกอบ 4.6 ลักษณะการเติมออกซิเจนในระหว่างน้ำไหลลงสู่รางรับน้ำ

7) อ่างรับน้ำ ทำหน้าที่รองรับน้ำที่ผ่านการสเปรย์แล้ว และปั๊มน้ำกลับไปยังถังกักเก็บน้ำหมายเลข 1 ด้วยปั๊มแบบจุ่ม ควบคุมการปั๊มน้ำกลับเมื่อน้ำถึงระดับที่กำหนดจะปั๊มน้ำโดยอัตโนมัติ

8) ตู้ควบคุมการทำงาน ทำหน้าที่ควบคุมระยะเวลาการสเปรย์ และระยะเวลาการหยุดพักสเปรย์ พร้อมทั้งควบคุมระยะเวลาการแช่และเพาะงอกทั้งหมด การทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวกล้องงอก จะวนซ้ำจากข้อ 1-7 จนกว่าจะครบเวลาที่กำหนด

4.3 ผลการทดสอบการทำงานเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ในการทดสอบการทำงานเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกนี้ แบ่งผลการทดสอบออกเป็น 2 หัวข้อ คือ กำลังการผลิตของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก และคุณภาพผลิตภัณฑ์**ได้**จากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกซึ่งจะกล่าวถึง ร้อยละการงอกของข้าวเปลือกงอก ร้อยละต้นข้าว ปริมาณสาร GABA และค่าสีของข้าวกล้องงอก

4.3.1 กำลังการผลิตของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกที่สร้างขึ้นนี้ สามารถทำการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกได้ครั้งละ 180 กิโลกรัม ระยะเวลาในการแช่ ร่วมกับการเพาะงอกรวมทั้งสิ้นครั้งละ 24 ชั่วโมง ใน 1 สัปดาห์ (จันทร์-ศุกร์) สามารถผลิตได้มากถึง 5 รอบการผลิตต่อสัปดาห์

ในขณะที่เครื่องจักรที่สถานประกอบการใช้อยู่ในปัจจุบันมีกำลังการผลิตครั้งละ 150 กิโลกรัม ระยะเวลาการแช่และเพาะงอก 41 ชั่วโมง ภายใน 1 สัปดาห์ สามารถผลิตได้ 2 รอบการผลิต เมื่อเปรียบเทียบกำลังการผลิตต่อสัปดาห์พบว่าสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ถึง 3 เท่า และใน 1 ปี ทำการผลิต 120 วัน เปรียบเทียบกำลังการผลิตโดยแสดงรายละเอียดดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 เปรียบเทียบกำลังการผลิตต่อสัปดาห์ของเครื่องจักรของสถานประกอบการและเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

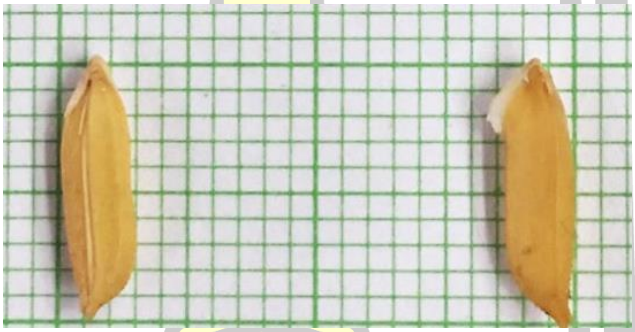
วิธีการ	ขั้นตอน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	จำนวนรอบการผลิตต่อสัปดาห์	กำลังการผลิตต่อสัปดาห์ (กิโลกรัม)	กำลังการผลิตต่อปี (กิโลกรัม)
เครื่องจักรของสถานประกอบการ	แช่	17	2	300	7,200
	เพาะงอก	24			
เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก	แช่และเพาะงอก	24	5	900	21,600

4.3.2 ผลของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ผลของคุณภาพข้าวเปลือกงอก และข้าวกล้องงอกที่ผ่านกระบวนการผลิตจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคือ ระยะเวลาการสเปรย์ และเวลาการพักสเปรย์น้ำที่แตกต่างกัน ทดสอบแบบระบบเปิด อากาศสามารถไหลเวียนได้ ที่สภาวะแวดล้อมในช่วงเดือนมิถุนายน 2562 แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ง ผลการทดสอบด้านคุณภาพมีดังนี้

1) ผลร้อยละการงอก

ร้อยละการงอกของข้าวเปลือกงอกที่ผ่านกระบวนการจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกได้จากการเก็บผลร้อยละการงอกทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ชั่วโมงการทดสอบที่ 18-24 ชั่วโมง เมื่อทำการตรวจวัดร้อยละการงอกในครั้งแรกที่ชั่วโมง 18 พบว่ามีเมล็ดข้าวเปลือกบางส่วนปลิรากออกมาจากเปลือกเล็กน้อย แต่เห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเปลือกที่ไม่มีการงอกดังภาพประกอบ 4.7 และแสดงภาพการงอกของทุกการทดสอบดังภาพประกอบ 4.8 ซึ่งอาจจะไม่เห็นความแตกต่างไม่ชัดนักเนื่องจากความยาวรากน้อยมากแต่เมื่อวิเคราะห์ร้อยละการงอกแตกต่างกันเนื่องจากการตรวจสอบต้องใช้รายละเอียดสูง



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 4.7 เปรียบเทียบลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก (ก) และเมล็ดข้าวเปลือกงอก (ข)

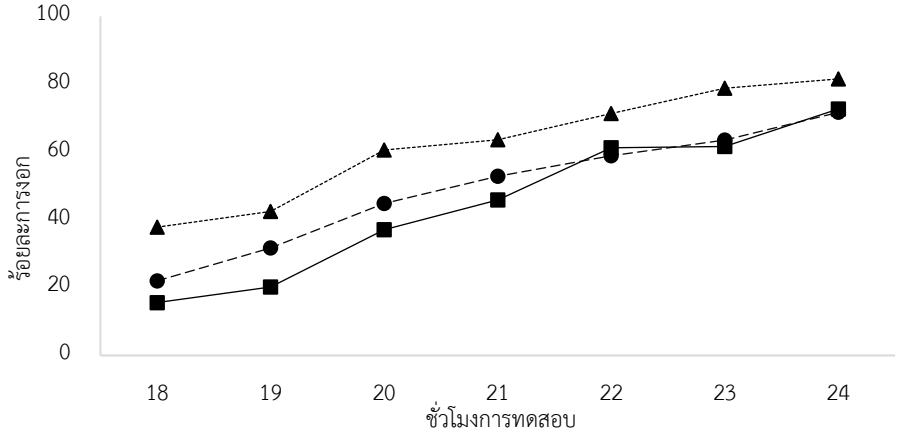
(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

(ฉ) (ช) (ซ) (ญ)

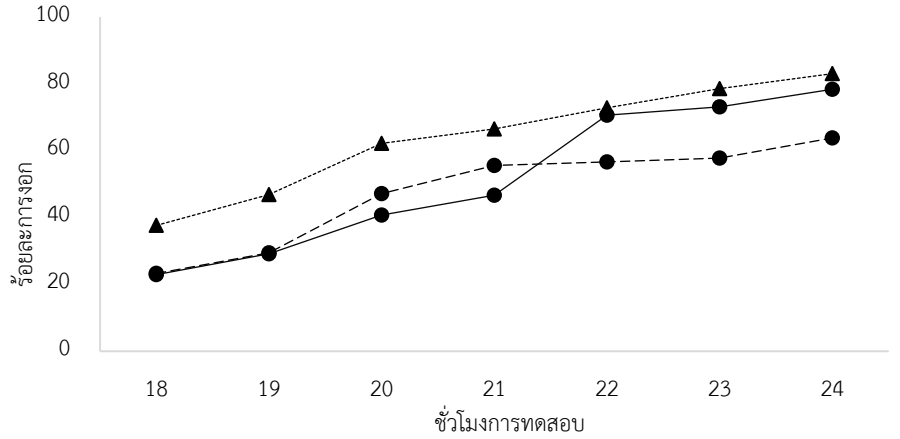
ภาพประกอบ 4.0.8 ข้าวเปลือกหลังผ่านทดสอบด้วยเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยระยะเวลาสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 (ก) 90 (ข) และ 120 (ค) นาที ระยะเวลาสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 (ง) 90 (จ) และ 120 (ฉ) นาที ของระยะเวลาสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 (ช) 90 (ซ) และ 120 (ญ) นาที

จากการทดสอบแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกเพื่อหาร้อยละการงอกภายในระยะเวลา 18-24 ชั่วโมง พบว่า ร้อยละการงอกในทุกการทดสอบมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างชัดเจนทุกการทดสอบ ดังภาพประกอบ 4.9 4.10 และ 4.11 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น 95% พบว่า ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองมีผลต่อร้อยละการงอก และเมื่อวิเคราะห์กราฟอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect Plot) ดังภาคผนวก ค พบว่า ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำมีผลต่อการงอกมากกว่าระยะเวลาการพักสเปรย์ โดยการงอกมากที่สุดที่ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 90 นาที และต่ำที่สุดคือ 120 นาที

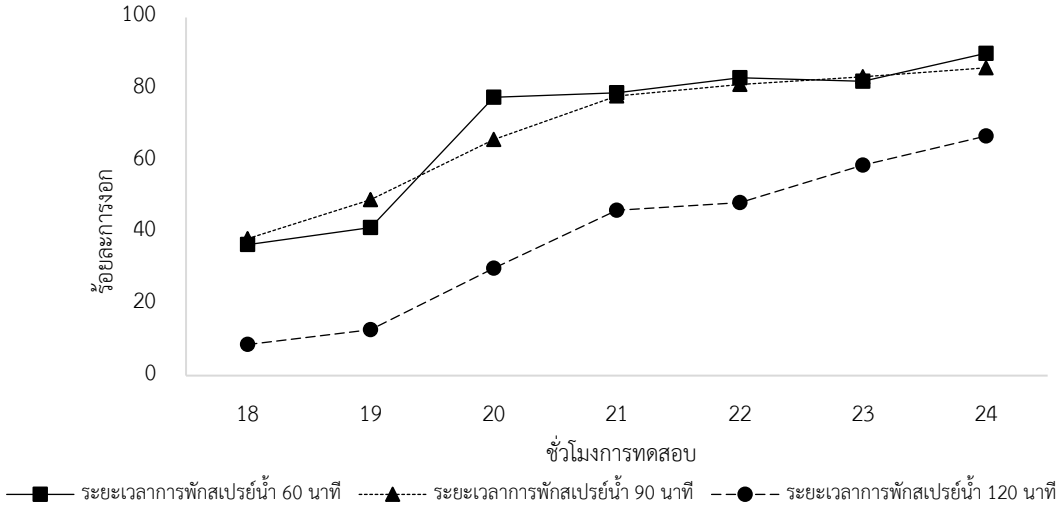
จากภาพประกอบ 4.9 4.10 และ 4.11 พบว่าที่ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 นาที และ 90 นาที มีผลร้อยละการงอกสูงใกล้เคียงกันในทุกระยะเวลาการสเปรย์น้ำ และในทุกการทดสอบ พบว่าเมื่อระยะเวลาการสเปรย์เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการพักสเปรย์ 120 นาทีลดลง เนื่องจากเมล็ดข้าวต้องการปัจจัยในการเจริญเติบโตที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 คือ น้ำ ออกซิเจน อุณหภูมิ การพักสเปรย์น้ำเป็นเวลา 120 นาที นั้นเป็นเวลานานส่งผลให้เมล็ดข้าวได้รับน้ำไม่เพียงพอ เนื่องจากน้ำช่วยให้ส่วนห่อหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่มทำให้น้ำเข้าสู่เมล็ดได้ง่าย ซึ่งน้ำจะไปละลายไซโทรพลาซึมให้มีความเข้มข้นน้อยลง (พวงทอง และสมมาตร, 2539) และทำให้ก๊าซซึมผ่านเมล็ดได้ง่ายเช่นกัน ด้วยเหตุนี้การพักสเปรย์น้ำเป็นเวลานานจึงส่งผลกระทบให้ก๊าซออกซิเจนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการงอกของข้าวต่ำลงไปด้วย และยังพบว่าที่การพักสเปรย์น้ำเป็นเวลานานนั้นส่งผลให้ข้าวเปลือกงอกที่ได้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์เนื่องจากการสเปรย์น้ำช่วยชะล้างเมล็ดข้าวไม่ให้เกิดกลิ่นเปรี้ยว และช่วยลดการสะสมของเชื้อรา (กฤษฎา และคณะ, 2562)



ภาพประกอบ 4.9 ร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 18-24 ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที



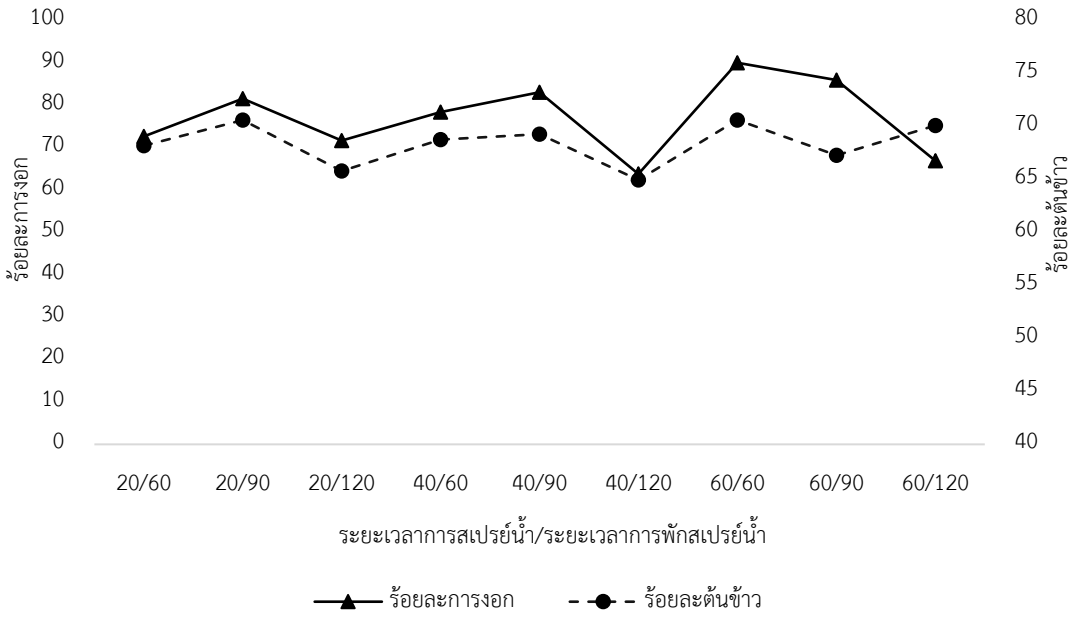
ภาพประกอบ 4.10 ร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 18-24 ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที



ภาพประกอบ 4.11 ร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 18-24 ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที

2) ผลร้อยละต้นข้าว

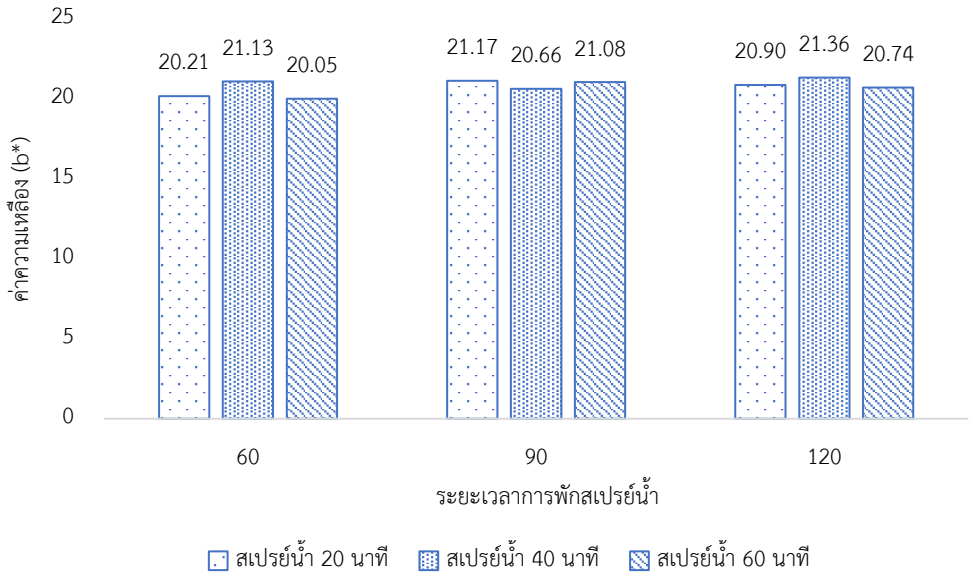
ผลร้อยละต้นข้าวเมื่อทดสอบที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 90 และ 120 นาที เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น 95% พบว่า ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองมีผลต่อร้อยละต้นข้าว และเมื่อวิเคราะห์ด้วยกราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยหลัก ดังภาคผนวก ค พบว่าระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำส่งผลต่อร้อยละต้นข้าวมากที่สุด โดยค่าร้อยละต้นข้าวมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการพักสเปรย์ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของร้อยละการงอกกับร้อยละต้นข้าว พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงไปทิศทางเดียวกันดังภาพประกอบ 4.12 จากการศึกษางานวิจัยเมื่อแช่ข้าวเปลือกด้วยหลักการน้ำไหลผ่าน 32-96 ชั่วโมง แล้วเพาะงอก 30 ชั่วโมง พบว่าข้าวเปลือกงอกที่ความยาวราก 0.87 มิลลิเมตร ส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวอยู่ที่ 67.57 และข้าวเปลือกงอกที่มีความยาวราก 12.42 มิลลิเมตร ส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวอยู่ที่ 51.66 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อความยาวรากมากขึ้น จะส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวลดลง (ศิโรรัตน์ พิลาวุธ, 2559) ซึ่งในการทดสอบนี้ข้าวเปลือกงอกมีความยาวรากน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร จึงทำให้เกิดการแตกหักในเมล็ดข้าวต่ำ ซึ่งทำปริมาณต้นข้าวสูงซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 64-70



ภาพประกอบ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละต้นข้าวและร้อยละการงอก ที่ระยะเวลาสเปรย์น้ำ 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 90 และ 120 นาที

3) ผลการวัดสีข้าวกล้องงอก

ผลการวัดสีข้าวกล้องงอกที่ผ่านการทดสอบที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 90 และ 120 นาที เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น 95% พบว่า ไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อความสว่างของข้าวกล้องงอก (L*) แต่พบว่าระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำมีผลต่อความเหลืองของข้าวกล้องงอก (b*) โดยเมื่อวิเคราะห์ด้วยกราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยหลัก ดังภาคผนวก ค พบว่า เมื่อระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ข้าวกล้องงอกเหลืองมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาระยะเวลาการแช่และเพาะงอกข้าวเหนียว พบว่า ข้าวเหนียวจะมีความเหลืองเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาเพาะงอกมากขึ้น อันเนื่องมาจากหากเพาะงอกเป็นเวลานานจะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับปฏิกิริยาเมลลาร์ดมีค่ามาก ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาลที่เมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น (ณัฐฌา และคณะ, 2561) แสดงค่าความเหลืองของข้าวกล้องงอกจากการทดสอบดังภาพประกอบ 4.13

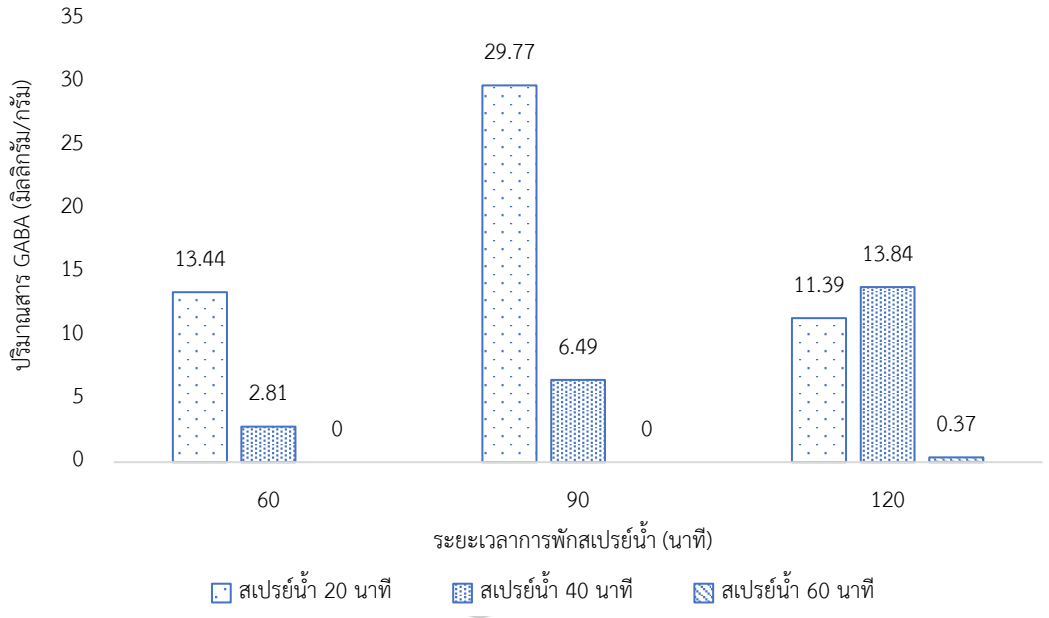


ภาพประกอบ 4.13 ค่าความเหลืองของข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาสเปรย์น้ำ 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 90 และ 120 นาที

4) ผลปริมาณสาร GABA

ผลปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอกที่ผ่านการทดสอบที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 90 และ 120 นาที เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่น 95% พบว่า ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ และ

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองมีผลต่อปริมาณสาร GABA และเมื่อวิเคราะห์ด้วยกราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยหลัก ดังภาคผนวก ค พบว่า ระยะเวลาการสเปรย์น้ำมีผลต่อปริมาณสาร GABA มากที่สุด โดยปริมาณสาร GABA จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการสเปรย์น้ำลดลง อันเนื่องมาจากเมื่อมีการสเปรย์น้ำสูงจะส่งผลให้ออกซิเจนซึมเข้าไปในเมล็ดข้าวสูงขึ้นด้วยแสดงผลดังภาพประกอบ 4.14 แต่ปริมาณสาร GABA นั้นจะเกิดขึ้นสูงอย่างรวดเร็วเมื่อเมล็ดข้าวเกิดความเครียด ซึ่งเกิดจากการที่เมล็ดข้าวเข้าสู่สภาวะที่มีออกซิเจนน้อย (Roberts et al., 1984) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการเปรียบเทียบการเพาะงอกข้าวกล้อง ในสภาวะที่ใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าการเพาะงอกที่ไม่ใช้ออกซิเจนนั้นส่งผลต่อปริมาณสาร GABA ที่มากกว่าการใช้ออกซิเจน (Thung and Ha, 2016) ซึ่งถังบรรจุข้าวเปลือกนี้เป็นถังสแตนเลสทึบทำให้แสงไม่สามารถเข้าถึงเมล็ดข้าวได้ทำให้ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA สูงยิ่งขึ้นไป ซึ่งตรงกับงานวิจัยที่ได้กล่าวถึงศึกษาปริมาณสาร GABA จะสูงขึ้นเมื่อเมล็ดพืชอยู่ในความมืด (Servaites et al., 1979) อย่างไรก็ตามการงอกของเมล็ดข้าวก็มีส่วนสำคัญต่อปริมาณสาร GABA เนื่องจากสารGABA เกิดจากสารอาหารที่เปลี่ยนแปลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เก็บสะสมไว้ซึ่งได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมา คาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ ไฮโดรเลส โปรตีนจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ โปรทิเอส ซึ่งเป็นเอมไซม์ที่สร้างขึ้นมาใหม่ระหว่างการงอกของเมล็ด ได้กรดอะมิโนเกิดขึ้นหลายชนิด รวมถึงปริมาณสาร GABA



ภาพประกอบ 4.14 ปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอกที่ระยะเวลาสเปรย์น้ำ 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 90 และ 120 นาที

จากผลการทดสอบการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 40 และ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ 60 90 และ 120 นาที รวมทั้งสิ้นเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับวิธีการจากสถานประกอบการซึ่งทำการแช่ข้าวเปลือกเป็นระยะเวลา 17 ชั่วโมง และเพาะงอก 24 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้นเป็นระยะเวลา 41 ชั่วโมง ผลการทดสอบเมื่อวัดค่าร้อยละการงอก ร้อยละต้นข้าว ปริมาณสาร GABA และค่าสี แสดงดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 สรุปคุณภาพของข้าวกล้องงอกจากวิธีการของสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ระยะเวลาสเปรย์น้ำ (นาที)	ระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ (นาที)	ร้อยละการงอก	ร้อยละต้นข้าว	ปริมาณสาร GABA (mg/g)	ค่าสี	
					b*	L*
ข้าวกล้องงอกจากวิธีการของสถานประกอบการ *		0 ^{g} (96.00)*	65.53^{de}*	0.18^{c}*	21.37^{a}*	59.00^{a}*
20	60	72.67^{de}	69.18^{b}	13.84^{b}	20.21^{bc}	57.11^{e}
	90	81.54^{bc}	70.59^{a}	29.77^{a}	21.17^{a}	57.64^{bcde}
	120	71.67^{de}	65.79^{d}	11.39^{b}	20.90^{ab}	58.67^{ab}
40	60	78.35^{cd}	68.75^{b}	2.81^{c}	21.13^{a}	58.20^{abcd}
	90	83.02^{bc}	69.28^{b}	6.49^{bc}	20.66^{abc}	58.04^{abcde}
	120	63.78^{f}	64.95^{e}	13.84^{b}	21.36^{a}	58.41^{abc}
60	60	90.01^{a}	70.61^{a}	0.00^{c}	20.05^{c}	57.34^{de}
	90	85.94^{ab}	67.27^{c}	0.00^{c}	21.08^{a}	58.05^{abcde}
	120	66.90^{ef}	70.08^{a}	0.37^{c}	20.74^{abc}	57.55^{cde}

^{abc} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$), *ทดสอบที่ 41 ชั่วโมง

จากตาราง 4.3 แสดงผลการงอกของวิธีการของสถานประกอบการพบว่าไม่เกิดการงอกภายในเวลา 24 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นการเพาะงอกแบบแช่น้ำนิ่งร่วมกับการเพาะงอก ซึ่งโดยทั่วไปจำเป็นต้องใช้เวลาในวิธีการนี้ถึง 24-96 ชั่วโมง (Ohtsubo et al., 2005) ทำการตรวจสอบการงอกจนพบว่างอกในชั่วโมงที่ 30 และเมื่อครบ 41 ชั่วโมง พบการงอกถึงร้อยละ 96 และความยาวรากมากกว่า 1 มิลลิเมตร ในขณะที่เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกสามารถเร่งการงอกได้ภายในเวลา 18 ชั่วโมง และมีค่ามากที่สุดเมื่อผ่านการแช่และเพาะงอก 24 ชั่วโมง แต่พบว่าความยาวรากมีค่าน้อย

กว่า 1 มิลลิเมตร จากการสมมติฐานหากทำการแช่และเพาะงอกจนถึง 30 ชั่วโมง คาดว่าร้อยละการงอกจะมีค่าสูงและความยาวรากใกล้เคียงกับวิธีการของสถานประกอบการ แต่เมื่อวิเคราะห์ร้อยละต้นข้าวพบว่า เมื่อความยาวรากสูงจะทำให้ร้อยละต้นข้าวต่ำ (ศิโรรัตน์ พิลาวุธ, 2559) จึงทำให้ร้อยละต้นข้าวจากวิธีการของสถานประกอบการมีค่าต่ำกว่าข้าวกล้องงอกที่ผลิตด้วยเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก ปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอกจากการผลิตด้วยวิธีการของสถานประกอบการมีค่าต่ำกว่าการผลิตด้วยเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก เนื่องจากเป็นวิธีการแช่และเพาะงอกโดยทั่วไปอาจส่งผลให้เมล็ดข้าวเกิดความเครียดต่ำซึ่งเป็นสภาวะที่ทำให้เกิดสาร GABA ต่ำตามไปด้วย แต่ยังพบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของข้าวกล้องงอกซึ่งต้องมากกว่า 5 มิลลิกรัม/100กรัม (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555) จากการแช่น้ำเป็นเวลานานทำให้ข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากสถานประกอบการมีค่าความเหลืองสูง

4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้เครื่องจักรในขั้นตอนการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

1) ราคารวมของเครื่อง

เนื่องจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกมีส่วนประกอบหลายส่วนจึง จำแนกประเภทและราคาของเครื่อง ดังตาราง 4.4 อายุการใช้งานของเครื่อง 10 ปี

ตาราง 4.4 ราคารวมของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ประเภทของส่วนประกอบ	ราคา (บาท)
โครงสร้างเครื่อง	45,500
ชุดควบคุมการเปิด-ปิดน้ำ และหัวฉีด	8,300
ปั๊มน้ำ	5,900
กล่องวงจรควบคุมอัตโนมัติ	10,000
อุปกรณ์ระบบปะปา	4,300
ถังกักเก็บน้ำ และอ่างรับน้ำ	4,000
ค่าติดตั้ง	2,000
รวม	80,000

2) ค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน

ค่าแรงงาน (L_o) ประกอบด้วยแรงงานในการขนย้ายข้าวเปลือกเข้าบรรจุ และขนถ่ายออกจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกจำนวน 1 คน เช่นเดียวกันกับเครื่องจักรของสถานประกอบการ โดยมีค่าจ้างวันละ 318 บาท/วัน ทำงาน 120 วัน/ปี ดังนั้น ค่าจ้างของทั้ง 2 กรณี มีค่าเท่ากัน คือ 38,160

3) ค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมแซมและบำรุงรักษาเครื่องจักร

ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (R&M) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการซ่อมแซมและบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกโดยคิดเป็นร้อยละ 10 ของราคาเครื่องที่สร้างซึ่งจะเท่ากับ 8,000 บาท/ปี ในกรณีเครื่องจักรของสถานประกอบการนั้นมีราคาแรกซื้ออยู่ที่ 100,000 บาท จึงทำให้ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาจะเท่ากับ 10,000 บาท/ปี

4) ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าและน้ำ

เนื่องจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกนี้เหมาะสมแก่การใช้งานของสถานประกอบการขนาดเล็กโดยคิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยตามมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อัตราหน่วยละ 3.9086 บาท ติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าโดยแสดงผลเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) คำนวณหาค่าไฟฟ้าได้ดังสมการ 6 แสดงค่าไฟฟ้าในแต่ละการทดสอบดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ค่าใช่จ่ายด้านไฟฟ้าการใช้งานเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ (นาที)	ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ (นาที)	ค่าไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
20	60	13.9	54.33
	90	13.8	53.94
	120	13.3	51.98
40	60	16.0	62.54
	90	15.2	59.41
	120	13.9	54.33
60	60	20.9	81.69
	90	20.0	78.17
	120	19.6	76.61

จากตาราง 4.5 พบว่าค่าไฟฟ้าในการใช้งานเครื่องแช่และเพาะงอกเปลือก เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการสเปรย์และพักสเปรย์น้ำ โดยค่าต่ำสุดอยู่ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที เนื่องจากเวลาในการสเปรย์น้ำน้อยที่สุด จึงใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด คือ มีค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 51.98-54.33 บาท เช่นเดียวกันกับระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ซึ่งใช้เวลาในการสเปรย์น้ำมากที่สุด ส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คือ อยู่ในช่วง 76.61-81.69 บาท โดยในการคำนวณค่าใช้จ่ายเลือกค่าพลังงานไฟฟ้าอ้างอิงจากการทดสอบที่ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA ที่มากที่สุด คือ การสเปรย์น้ำ 20 ร่วมกับการพักสเปรย์ 90 นาที ในกรณีเครื่องจักรของสถานประกอบการนั้นใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เนื่องจากมีการใช้ไฟฟ้าเพียงขั้นตอนการเปลี่ยนน้ำซึ่งใน 1 รอบการผลิตต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 4 ครั้ง โดยใช้ไฟฟ้าการหมุนถังเพื่อชะล้างเมล็ดข้าวก่อนการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ค่าใช้จ่ายด้านน้ำประปาในการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกเท่ากันทุกการทดสอบอัตราส่วนข้าวเปลือกต่อปริมาตรน้ำ คือ 1:5 ดังนั้นเมื่อผลิตข้าวกล้องงอกครั้งละ 180 กิโลกรัมจะใช้น้ำในการผลิตข้าวกล้องงอก 900 ลิตร/การทดสอบ หรือ 0.9 ลูกบาศก์เมตร และในกรณีเครื่องจักรของสถานประกอบการใช้น้ำในการผลิตข้าวกล้องงอกครั้งละ 2.56 ลูกบาศก์เมตร เนื่องจากต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในระหว่างการแช่ โดยในการคำนวณค่าใช้จ่ายเมื่อผลิตข้าวกล้องงอก 120 วัน/ปี แสดงผลค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าและค่าน้ำประปาดังตาราง 4.6

ตาราง 4.6 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและค่าน้ำประปาเมื่อเปรียบเทียบวิธีการของสถานประกอบการและด้วยเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

รายการ	ค่าไฟฟ้า 3.9086 (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าน้ำประปา 21 (บาท/ลูกบาศก์เมตร)	ค่าใช้จ่ายต่อครั้ง (บาท/ครั้ง)	ค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท/ปี)
เครื่องจักรของสถานประกอบการ	2 x 3.9086 = 7.82	2.56 x 21 = 53.76	61.58	1,477.92
เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก	13.8 x 3.9086 = 53.94	0.9 x 21 = 18.9	72.84	8,740

5) ความสามารถในการทำงาน (Ct)

ความสามารถในการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก จากการทดสอบใช้เวลา 1 วัน/การทดสอบ กำลังการผลิตครั้งละ 180 กิโลกรัม จำนวนวันที่ทำการผลิตต่อปี 120 วัน ดังนั้นจะได้กำลังการผลิต 21,600 กิโลกรัม/ปี ในขณะที่เครื่องจักรของสถานประกอบการนั้นมีกำลังการผลิต 7,200 กิโลกรัม/ปี

จากนั้นคำนวณค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรจากสมการ 8

เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

$D = (P-S)/N$

$= (80,000-8,000)/10$

$= 7,200$ บาท/ปี

เครื่องจักรของสถานประกอบการ

$D = (P-S)/N$

$= (100,000-10,000)/10$

$= 9,000$ บาท/ปี

คำนวณหาดอกเบี้ยจากคิดที่ดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 6.775 บาท/ปี จากสมการ 9

เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

$I = [(P+S)/2](i/100)$

$= [(80,000-8,000)/2]x(6.775/100)$

$= 2,981$ บาท/ปี

เครื่องจักรของสถานประกอบการ

$I = [(P+S)/2](i/100)$

$= [(100,000-10,000)/2]x(6.775/100)$

$= 3,048.75$ บาท/ปี

และคำนวณหาต้นทุนคงที่จากสมการ 10

เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

$F_c = D+I$

$= 7,200 + 2,981$

$= 10,181$ บาท/ปี

เครื่องจักรของสถานประกอบการ

F_C = D+I

= 9,000+3,048.75

= 12,048.75 บาท/ปี

สรุปผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องจักรของสถานประกอบการ และจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก แสดงต้นทุนในการผลิตข้าวกล้องงอกในทั้ง 2 กรณี ดังตางราง 4.7

ตาราง 4.7 เปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยเครื่องจักรของสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

รายการ	เครื่องจักรของสถานประกอบการ	เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก	หน่วย
ราคารวมแรกซื้อ	100,000	80,000	บาท
ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา	10,000	8,000	บาท/ปี
ค่าไฟฟ้าและค่าน้ำ	1,477.92	8,740	บาท/ปี
ค่าแรงงาน	38,160	38,160	บาท/ปี
ต้นทุนคงที่	12,048.75	10,181	บาท/ปี
ต้นทุนการผลิต	61,686.67	65,081	บาท/ปี
กำลังการผลิต	7,200	21,600	กิโลกรัม/ปี
ต้นทุนต่อกิโลกรัม	8.57	3.01	บาท/กิโลกรัม
ต้นทุนต่อตัน	8,567	3,013	บาท/ตัน

ตาราง 4.7 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการใช้เครื่องจักรในการผลิตข้าวกล้องงอก ในกรณีที่ใช้เครื่องจักรของสถานประกอบการ และกรณีใช้เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก โดยใช้แรงงาน 1 คน เท่ากันทั้ง 2 กรณี จะเห็นได้ว่ากำลังการผลิตของเครื่องจักรของสถานประกอบการผลิตได้น้อยกว่า 3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการลงทุนซื้อเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกด้วยราคาแรกซื้อ 80,000 บาท จะทำให้เพิ่มกำลังการผลิตได้มากขึ้น 14.44 ตันต่อปี และส่งผลให้ต้นทุนลดลงได้ถึง 5,554 บาทต่อตัน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 สรุปผลการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

จากการสอบถามความต้องการของทางสถานประกอบการพบว่า เครื่องจักรของสถานประกอบการที่ใช้ในการผลิตข้าวกล้องงอกมีกำลังการผลิตครั้งละ 150 กิโลกรัม ในการผลิต 1 ครั้งใช้เวลาการแช่และเพาะงอกเป็นเวลา 2-3 วัน เมื่อความต้องการของท้องตลาดเพิ่มมากขึ้นทำให้ผลิตไม่เพียงพอจึงต้องการเครื่องจักรที่สามารถลดระยะเวลาในการแช่และเพาะงอก อีกทั้งข้าวกล้องงอกที่ได้จากการผลิตนั้นมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องจากต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำแช่ในช่วงกลางดึกทำให้ไม่สะดวกต่อการเปลี่ยนถ่ายน้ำส่งผลให้ยากต่อการจัดการเวลาการทำงานของพนักงาน การขนถ่ายข้าวเปลือกออกจากเครื่องจักรนั้นทำให้เมล็ดข้าวเกิดความเสียหายจากการเนื่องจากกวาดข้าวเปลือกด้วยของแข็ง

5.1.2 สรุปผลการออกแบบเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกออกแบบเป็นชุดอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย ถังทรงบรรจุข้าวเปลือก ด้านฝาถังติดตั้งหัวสเปรย์ฉีดน้ำแบบ spiral ปั๊มแบบหอยโข่งขนาด 1.5 hp การทำงานเริ่มต้นจากปั๊มส่งน้ำจากถังเก็บน้ำส่งเข้าท่อทางแล้วผ่านหัวฉีดสเปรย์เกิดกระแสน้ำกระจายอย่างสม่ำเสมอแทรกผ่านข้าวเปลือก น้ำที่ผ่านการสเปรย์จะไหลจากส่วนบนของถังผ่านข้าวเปลือกลงสู่ด้านล่างถัง ถูกรองรับด้วยรางรับน้ำให้ไหลรวบรวมลงในอ่างรับน้ำ วนกลับมาใช้ซ้ำทำได้โดยการใช้ปั๊มน้ำแบบจุ่ม ปั๊มส่งน้ำเข้าสู่ถังเก็บน้ำเพื่อสเปรย์อีกครั้ง ปรับค่าการทำงานโดยระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งปรับตั้งค่าเวลาการสเปรย์และพักสเปรย์ผ่านชุดสวิตซ์ตั้งค่าเวลา เพื่อควบคุมคาบเวลาการเปิด-ปิดการทำงานของปั๊ม และSolenoid Valve ควบคุมระบบส่งจ่ายน้ำในท่อทางและหัวฉีด ในการนำข้าวเปลือกเข้าด้วยการเทป้อนส่วนบน และการนำข้าวออกโดยการเปิดลิ้นส่วนล่างของถังเพื่อให้ข้าวไหลออกด้วยแรงโน้มถ่วง

5.1.3 สรุปผลการทดสอบการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

จากการทดสอบการทำงานเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกสามารถผลิตข้าวเปลือกงอกพบว่าภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยกำลังการผลิตครั้งละ 180 กิโลกรัม ในขณะที่เครื่องจักรของสถานประกอบการใช้เวลาในการผลิตข้าวเปลือกงอกเป็นเวลา 41 ชั่วโมง ซึ่งมีกำลังการผลิตครั้งละ 150 กิโลกรัม จากเหตุที่กล่าวมาข้างต้นจึงสรุปได้ว่าเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกสามารถเพิ่มกำลังการผลิตข้าวเปลือกงอกเพื่อการแปรรูปเป็นข้าวกล้องงอกได้ 3 เท่า

วิธีการของสถานประกอบการนั้นต้องใช้ระยะเวลาในการแช่และเพาะงอกถึง 30 ชั่วโมง จึงจะพบว่าข้าวเปลือกเกิดการงอก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกพบว่าเกิดการงอกภายในเวลา 18 ชั่วโมง เนื่องจากการสเปรย์น้ำอย่างต่อเนื่องทำให้เมล็ดข้าวได้รับน้ำ และออกซิเจน เป็นปัจจัยสำคัญในการงอกอย่างสม่ำเสมอ (พวงทอง และสมมาตร, 2539) ด้วยเหตุนี้จึงแปรค่าระยะเวลาการสเปรย์น้ำ และพักสเปรย์น้ำ จากการทดสอบพบว่า เมื่อสเปรย์น้ำเป็นระยะเวลานาน (20-60 นาที) จะทำให้เมล็ดข้าวเกิดการงอกได้ดีจากการได้รับน้ำ และออกซิเจนที่เหมาะสม แต่เมื่อระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำเพิ่มมากขึ้นถึง 120 นาที ทำให้การงอกต่ำเนื่องจากการพักสเปรย์เป็นเวลานานทำให้เมล็ดข้าวขาดออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจจึงทำให้การงอกต่ำลง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละต้นข้าวและร้อยละการงอกพบว่า เมื่อร้อยละการงอกสูงส่งผลให้ร้อยละต้นข้าวต่ำเนื่องจากข้าวเปลือกเกิดราก เช่นเดียวกันข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากวิธีการของสถานประกอบการที่มีค่าร้อยละต้นข้าวต่ำเนื่องจากมีความยาวรากสูง สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก ซึ่งพบว่าเมื่อความยาวรากเพิ่มมากขึ้นทำให้ร้อยละต้นข้าวต่ำลง (ศิโรรัตน์ พิลาวุธ, 2559) ค่าความเหลืองของข้าวกล้องงอกเพิ่มมากขึ้นหากพักสเปรย์น้ำเป็นเวลานาน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับวิธีการของสถานประกอบการเนื่องจากข้าวกล้องงอกเหลืองมากซึ่งเกิดจากการเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการศึกษางานวิจัยพบว่าเมื่อระยะเวลาการเพาะงอกเพิ่มมากขึ้น ทำให้น้ำตาลรีดิวซิงมีค่าสูงซึ่งจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดสูงขึ้นตามไปด้วยทำให้เมล็ดข้าวเหลืองขึ้น (ณัฐณา และคณะ, 2561) เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสาร GABA พบว่า เมื่อระยะเวลาการสเปรย์น้ำเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณสาร GABA ต่ำลง เนื่องจากการสเปรย์น้ำทำให้เมล็ดข้าวได้รับออกซิเจนที่ประกอบอยู่ในโมเลกุลน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณสาร GABA จะเพิ่มขึ้นเมื่อเมล็ดข้าวเกิดความเครียด คือ สภาวะที่มีออกซิเจนน้อย (Roberts et al., 1984) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ทำการทดสอบเพาะงอกข้าวกล้องโดยเปรียบเทียบสภาวะใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนส่งผลให้มีปริมาณสาร GABA มากกว่า (Thung and Ha, 2016)

5.1.4 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้เครื่องจักรในขั้นตอนการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

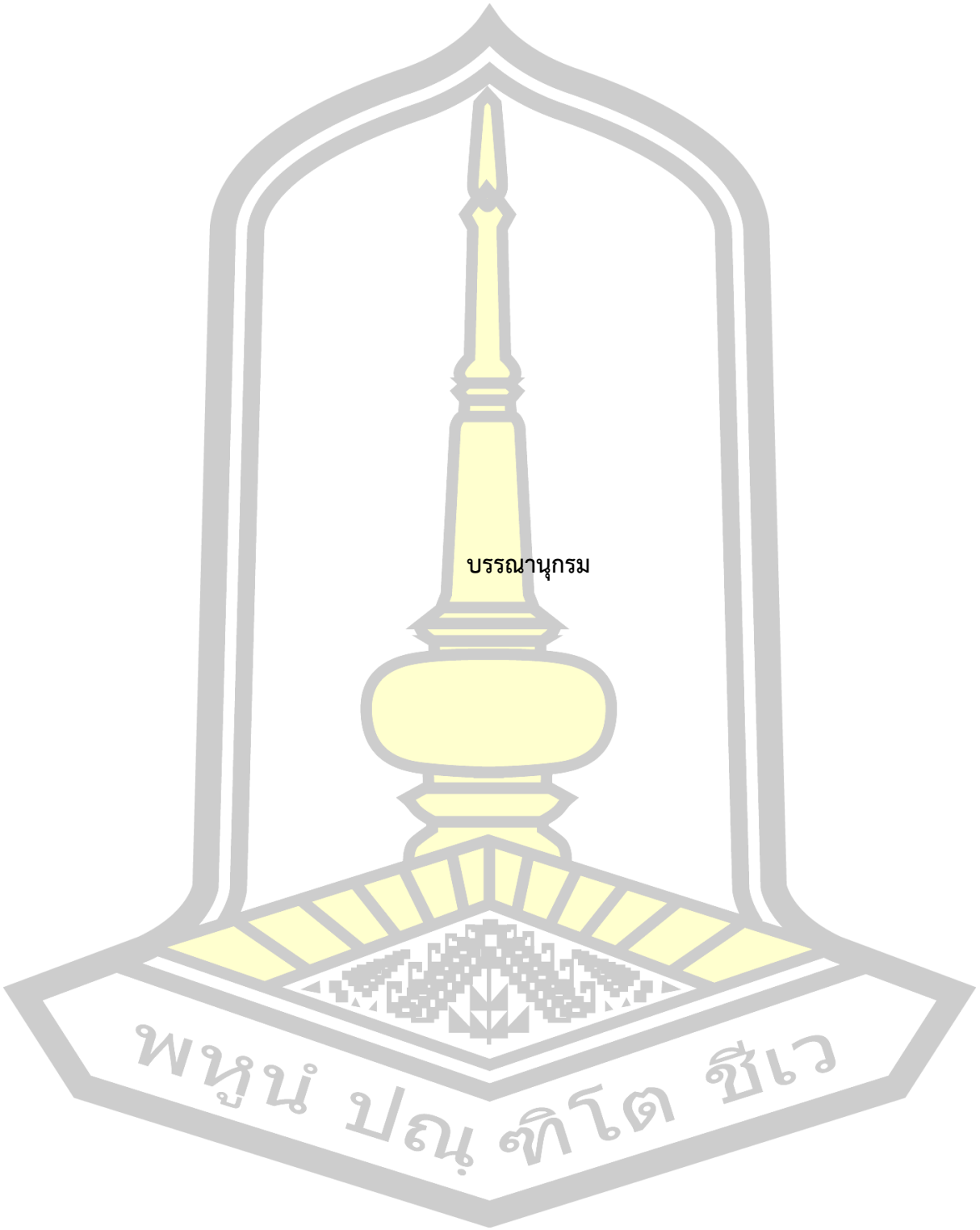
เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกมีราคาแรกซื้อ 80,000 บาท ซึ่งเป็นราคารวมอุปกรณ์พร้อมติดตั้ง มีอายุการใช้งานของเครื่อง 10 ปี เมื่อทำการผลิต 120 วันต่อปี (ไม่รวมวันเสาร์และอาทิตย์) จะมีกำลังการผลิต 21,6000 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งมากกว่าวิธีของสถานประกอบการถึง 3 เท่า เมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบเครื่องจักรของสถานประกอบการ กับเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก พบว่าเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกสามารถลดต้นทุนในการผลิตข้าวกล้องงอกได้ถึง 2.8 เท่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) จากการสังเกตการงอกในถังบรรจุข้าวเปลือกพบว่า ข้าวเปลือกในส่วนท้ายของถังบรรจุข้าวเปลือกที่มีลักษณะเป็นทรงกรวยเกิดการงอกช้ากว่าข้าวเปลือกส่วนบนของถังที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก คาดว่าเป็นจุดที่น้ำที่ผ่านการสเปรย์ไหลรวมก่อนจะลงไปสู่รางรับน้ำ ทำให้เกิดการงอกที่ช้ากว่าปกติ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องตำแหน่งการงอกของข้าวเปลือกในถังบรรจุข้าวเปลือก

2) ควรมีการศึกษาคุณภาพข้าวกล้องหุงสุกที่ผลิตจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรรณพต แก้วสอน. (2558). การวัดปริมาณแกมมาอะมิโนบิวริก (กาบา) และแกมมาโอไรซานอลของข้าวกล้องงอกโดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาตรดุษฎีบัณฑิต. *สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*

กฤษฎา พวงสุวรรณ สหพงศ์ สมวงค์ และ สันติ ขำตรี. (2562). ศึกษาพฤติกรรมการงอกของจมูกข้าวกล้องสำหรับพัฒนาระบบเพาะงอกแบบอัตโนมัติประสิทธิภาพสูง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 14(2), 1–11.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. (2529). เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. กรุงเทพมหานคร: *กลุ่มหนังสือเกษตร.*

จารุรัตน์ สันเต วรนุข ศรีเจษฎารักข์ และรัชฎา ตั้งวงค์ไชย. (2550). ผลของกระบวนการแช่ต่อปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวเทอริกเอซิดในข้าวกล้องงอก (หอมมะลิ 1.5). *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 5, 164–167.

จิราภรณ์ กระแสเทพ มาระตรี เปลี่ยนศิริชัย และมัณฑนา นครเรียบ. (2557). สารกาบ้า สารประกอบฟีโนลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากข้าว. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 10, 88–96.

ณัฐฌา เหล่ากุลดิลก สุวนันท์ คำปัน ธัญเรศ พรมอินทร์ นภาพันธ์ โชคอำนวยพร และนันทินา ดำรงวัฒนกูล. (2561). สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการงอกของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ข้าวอบพอง. *journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University*, 34(2), 297-309.

ทรงผล วิจารณ์จักร สุพรรณ ยั่งยืน และจักรมาส เลาหวณิช. (2560). การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมลมร้อนปล่อยทิ้งในกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 3, 51–54.

นฤมล ลอยแก้ว เบ็ญจรัก วายุภาพ และวราพร ลักษณลม้าย. (2557). การศึกษาสภาวะในการแช่ข้าวฮางงอกเพื่อลดการเหม็นหืนของแป้งข้าวฮางงอกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่. *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต.* 320–327.

ปริพัฒน์ ช้อยชื่น และประสันต์ ชุ่มใจหาญ. (2556). การปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวงอกด้วยวิธีการขัดขาว. *ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 14, 637–641.

พวงทอง ยินอัศวพรรณ และสมมาตร จงวนิช. (2539). การทดสอบความงอก. *กองขยายพันธุ์พืช กรมส่งเสริมการเกษตร*, 1–23.

วีรกุล มีกลางแสน เพลงพิณ เพียณภูมิพง ณัฐพงษ์ ปุมเสียนเทียะ และนัฐวุฒิ ศิริวัฒน์. (2560). ผลของความชื้นต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของข้าวไรซ์เบอรี่ และข้าวเหนียวลืมผัว. *การประชุมวิชาการสมคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 18, 294–298.

ศิโรรัตน์ พิลาวุธ. (2559). การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการแช่และการงอกของข้าวเปลือกสำหรับการผลิตข้าวกล้องงอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต. *มหาวิทยาลัยขอนแก่น*.

ศิโรรัตน์ พิลาวุธ. (2561). สัดส่วนของน้ำต่อข้าวเปลือกในกระบวนการแช่ข้าวเปลือกสำหรับการผลิตข้าวกล้องงอกที่มีผลต่อปริมาณสาร GABA และคุณภาพข้าวกล้อง. *การประชุมวิชาการสมคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 19, 573–576.

ศิโรรัตน์ พิลาวุธ ธนากร บูรณเพชร จิรพงษ์ แสนศักดิ์ เชิดศักดิ์ ศิริหล้า วีระยุทธ จี้เพชร และพิศาล หมื่นแก้ว. (2562). การเปรียบเทียบวิธีการแช่ข้าวเปลือกในน้ำนิ่งและโดยให้น้ำไหลผ่านข้าวเปลือกของการผลิตข้าวกล้องงอกที่มีต่อปริมาณ GABA และคุณภาพข้าวกล้อง. *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 20, 236–241.

ศิโรรัตน์ พิลาวุธ และวินิต ชินสุวรรณ. (2555). อัตราการไหลของน้ำผ่านข้าวในกระบวนการแช่ของการผลิตข้าวเปลือกงอก ที่มีผลต่อปริมาณ GABA และคุณภาพข้าวกล้อง. *Agricultural Sci. J.*, 43(3), 264–267.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2555a). การปฏิบัติที่ดีสำหรับการผลิตข้าวกล้องงอก. กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2555b). ข้าวกล้องงอก. กรุงเทพมหานคร.

สุนัน ปานสาคร ศราวุฒิ สุขนาค เบญจวรรณ พงษ์ศักดิ์ และสุกานดา สนรัมย์. (2553). การศึกษาและออกแบบเครื่องผลิตข้าวกล้องงอกขนาดเล็กในครัวเรือน. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี*, 8(1), 61–67.

สุนัน ปานสาคร และจตุรงค์ ลังกาพินธุ์. (2559). สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวกล้องหอมนิลออแกนิกส์เพาะงอกหุงสุก ในภาชนะพลาสติกอ่อนตัวปิดสนิท. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี*, 14, 65–75.

อภิชาติ อาจนาเสียว. (2553). ผลของกระบวนการแช่ที่มีการเติมสารเร่งและการงอกที่มีผลต่อปริมาณสาร GABA ในข้าวเปลือกงอกหอมมะลิ 105. *วิศวกรรมสาร มข.*, 37(2), 131–139.

อัมมาร สยามวาลา, & วิโรจน์ ณ ระยอง. (2533). ประมวลความรู้เรื่องข้าว. *สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย*

Banchuen, J., Thammarutwasik, P. and Ooraikul, B. (2009). Effect of Germinating Processes on Bioactive Component of Sangyod Muang Phatthalung Rice. *Thai Journal of Agricultural Science*, 42(4), 191–199.

Ito, S. (2004). Marketing of Value-Added Rice Products in japan. *FAO RICE CONFERENCE*, 1–10. Rome, Italy.

Juliano, B. O., Unit, B. and Division, B. (1993). Rice in human nutrition. *In International Rice Research Institute*. https://doi.org/10.5860/choice.32-1529

Jynto. (2011). GABA 3D ball. Retrieved October 30, 2019, from https://en.wikipedia .org/wiki/File:GABA_3D_ball.png

Karladee, D. and Suriyong, S. (2012). γ-Aminobutyric acid (GABA) content in different varieties of brown rice during germination. *ScienceAsia*, 38(1), 13–17.

Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. (2007). Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. *Journal of Food Engineering*, 78, 556–560.

Manna, K. M., Naing, K. M. and Pe, H. (1995). Amylase activity of some roots and sprouted cereals and beans. *Food and Nutrition Bulletin*, 16, 1–4.

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.

Ohtsubo, K., Suzuki, K., Yasui, Y. and Kasumi, T. (2005). Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(4), 303–316.

Okada, Y., Kihara, M., Kuroda, H., Yoshigi, N. and Ito, K. (2000). Cloning and Sequencing of the Promoter Region of the Seed Specific β-amylase Gene from Barley. *Journal of Plant Physiology*, 156(5), 762–767.

Reddy, B. S. and Chakraverty, A. (2004). Physical properties of raw and parboiled paddy. *Biosystems Engineering*, 88(4), 461–466.

Roberts, J. K. ., J. Callis, D. Wemmer, V.Wallot. and O.Jerdetzky. (1984). Mechanism of cytoplasim pH regulation in hypoxic maize root tips and its role in survival under hypoxia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, (81)3379-3383.

Saikusa, T., Horino, T. and Mori, Y. (1994). Distribution of free amino acids in rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(5), 1122–1125.

Servaites, J. C., L.E. Schrader. and D.M. Jung. (1979). Energy-dependent loading of amino acids and sucrose into the phloem of soybean. *Plant Physiology*, 64(4), 546–550.

Siriprapa s. (2006). A study of the properties of germinated brown rice and its products. AIT Disertation no. FB-06-01. *Asian Institute of Technology*. Bangkok, Thailand.

Sriwing Tipkanon. (2014). Factor Affecting on Accumulation of Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) in Rice Germ (Khao Dawk Mali 105). *KMUTNB International Journal of Applied Science and Technology*, 7(3), 43–48.

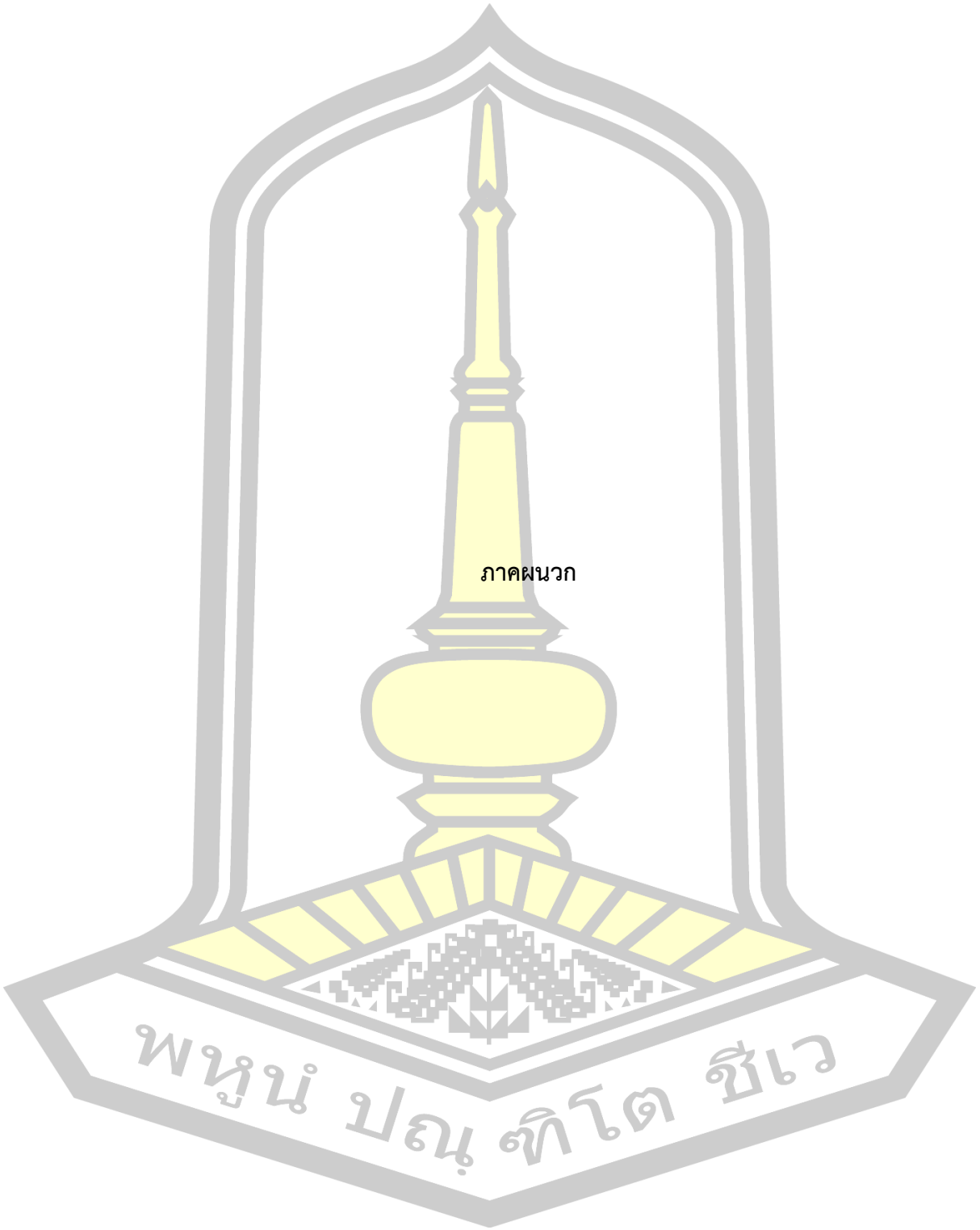
Thung, P. O. and Ha, N. C. (2016). Changes of chemical propoties and functional compounds during the germination of vairous brown rice in Mekong Delta, Viet Nam. *Journal of Agriculture and Food Technology*, 6(2), 1–6.

Tsukahara, K. (2004). Sprouted brown rice. *DOMER* Co., Ltd.

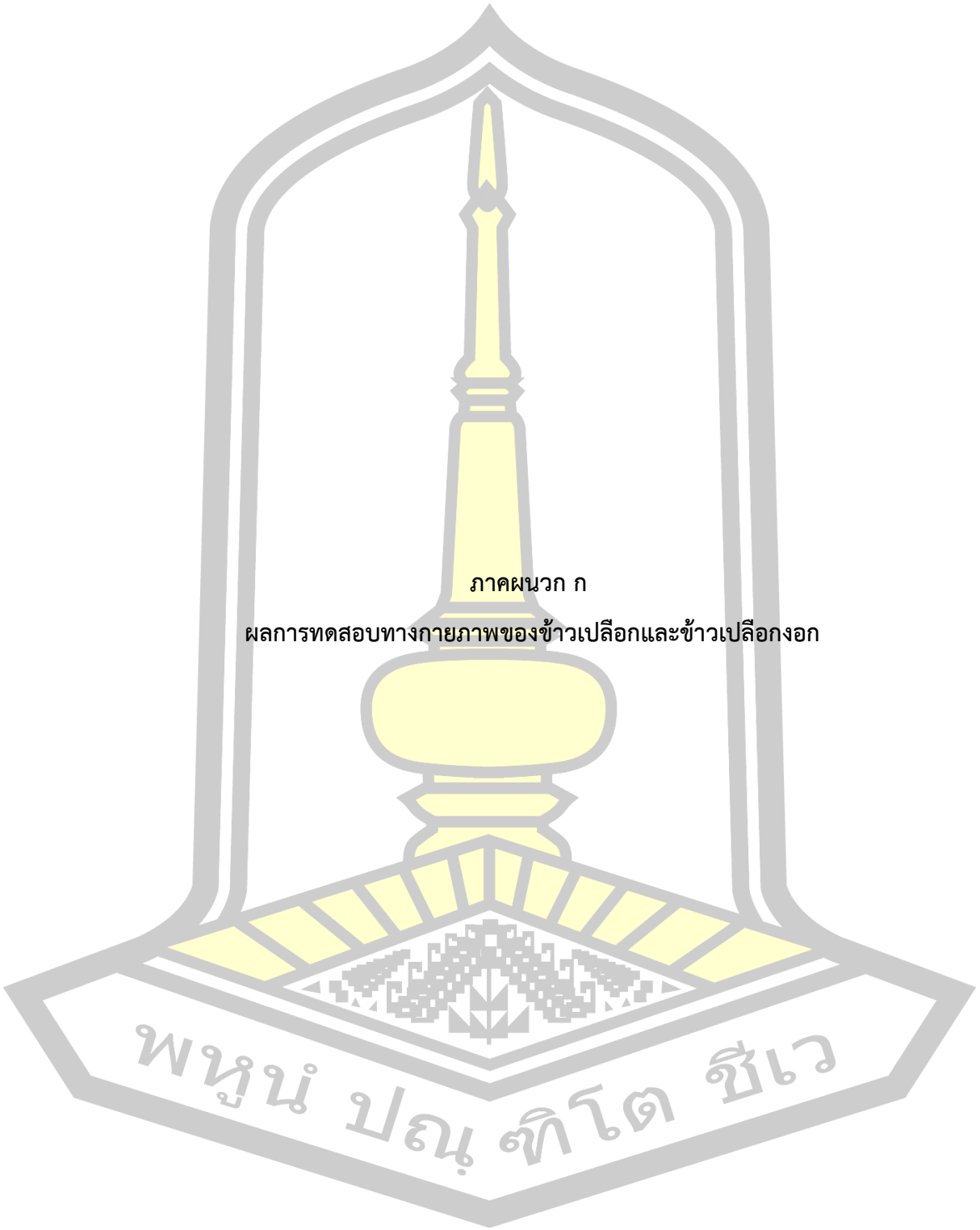
Varanyanond, W., Tungtrakul, P., Surojanametakul, V., Watanasiritham, L. and Luxiang, W. (2005). Effects of Water Soaking on Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) in Germ of Different Thai Rice Varieties. *Kasetsart J.*, (39), 411–415.

Zhang, L., Hu, P., Tang, S., Zhao, H. and Wu, D. (2005). Comparative studies on major nutritional componants of rice with a giant embryo and a normal embryo. *Journal of Food Biochemmistry*, 29, 653–661.

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.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบทางกายภาพของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก

ตาราง ก.1 น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก

ชนิดข้าว	ซ้ำ	น้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
ข้าวเปลือก	1	24.72	24.816	0.13
	2	24.98		
	3	24.66		
	4	24.84		
	5	24.88		
ข้าวเปลือกงอก	1	32.40	33.12	0.67
	2	33.40		
	3	33.60		
	4	33.80		
	5	32.40		

ตาราง ก.2 ความชื้นของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก

ชนิดข้าว	ซ้ำ	ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
ข้าวเปลือก	1	12.65	12.42	0.24
	2	12.54		
	3	12.57		
	4	12.21		
	5	12.12		
ข้าวเปลือกงอก	1	36.57	36.54	0.12
	2	36.68		
	3	36.43		
	4	36.62		
	5	36.41		

พหุน ปณ ศักโต ชีเว

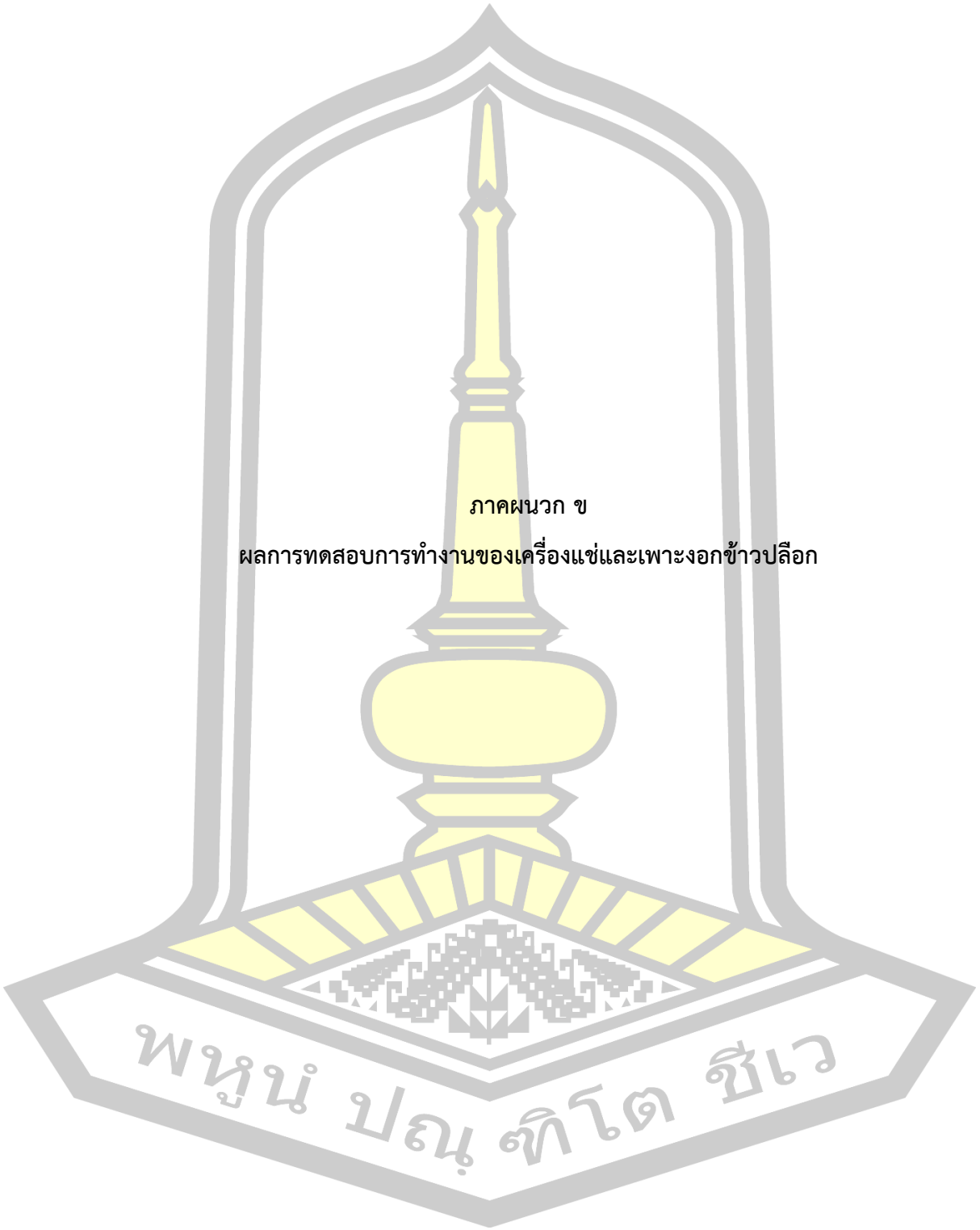
ตาราง ก.3 ความหนาแน่นข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก

ชนิดข้าว	ซ้ำ	ค่าความหนาแน่น	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
ข้าวเปลือก	1	540.47	537.66	7.87
	2	539.45		
	3	528.72		
	4	548.41		
	5	531.25		
ข้าวเปลือกงอก	1	577.31	560.22	11.96
	2	554.70		
	3	567.41		
	4	547.55		
	5	554.14		

ตาราง ก.4 มุมเสียดทานของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกงอก

ชนิดข้าว	ซ้ำ	มุมเสียดทาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
ข้าวเปลือก	1	19.00	19.80	0.84
	2	20.00		
	3	21.00		
	4	20.00		
	5	19.00		
ข้าวเปลือกงอก	1	25.60	25.32	0.84
	2	26.00		
	3	24.00		
	4	25.00		
	5	26.00		

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวปลอก

ตาราง ข.1 การเปลี่ยนแปลงร้อยละการงอกของข้าวเปลือกในช่วงระยะเวลาการแช่และเพาะงอกชั่วโมงที่ 18-24 ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ และการพักสเปรย์น้ำที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ (นาที)	ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ (นาที)	ร้อยละการงอก						
		ชั่วโมงการทดสอบ						
		18	19	20	21	22	23	24
ข้าวกล้องงอกของสถานประกอบการ		0^{d}	0^{h}	0^{f}	0^{f}	0^{e}	0^{e}	0^{f}
20	60	15.60^{bc}	20.20^{f}	37.06^{de}	45.86^{e}	61.21^{c}	61.57^{d}	72.67^{cd}
	90	37.84^{a}	42.50^{c}	60.56^{b}	63.58^{bc}	71.30^{b}	78.76^{ab}	81.54^{b}
	120	22.00^{b}	31.70^{d}	44.81^{cd}	52.88^{de}	58.91^{c}	63.55^{cd}	71.67^{cd}
40	60	22.92^{b}	29.10^{e}	40.69^{cd}	46.68^{de}	70.57^{b}	73.13^{bc}	78.35^{bc}
	90	37.64^{a}	46.90^{b}	62.20^{b}	66.53^{bc}	72.76^{b}	78.59^{ab}	83.02^{ab}
	120*	23.26^{b}	29.40^{e}	47.18^{c}	55.59^{cd}	56.67^{c}	57.81^{d}	63.79^{e}
60	60	36.56^{a}	41.30^{c}	77.71^{a}	78.97^{a}	83.20^{a}	82.18^{ab}	90.01^{a}
	90	38.23^{a}	49.10^{a}	65.88^{b}	78.08^{a}	81.33^{a}	83.42^{a}	85.94^{ab}
	120*	8.67^{c}	12.80^{g}	30.00^{e}	46.19^{de}	48.32^{d}	58.76^{d}	66.90^{de}

^{abc} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) , *การทดสอบที่ทำให้ข้าวเริ่มเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์

ตาราง ข.2 ร้อยละต้นข้าวของข้าวกล้องงอกจากวิธีการของสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ (นาที)	ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ (นาที)	ร้อยละต้นข้าว
ข้าวกล้องงอกของสถานประกอบการ		65.53^{de}±0.63
20	60	69.18^{b}±0.20
	90	70.59^{a}±0.07
	120	65.79^{d}±0.65
40	60	68.75^{b}±0.15
	90	69.28^{b}±0.62
	120	64.95^{e}±0.26
60	60	70.61^{a}±0.29
	90	67.27^{c}±0.24
	120	70.08^{a}±0.08

^{abc}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ,ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ข.3 **ค่าสี**ข้าวกล้องงอกจากสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ระยะเวลาสเปรย์น้ำ (นาที)	ระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ (นาที)	ค่า L*	ค่า a*	b*
ข้าวกล้องงอกของสถานประกอบการ		59.00^{a}±0.26	-1.26^{b}±0.91	21.37^{a}±0.32
20	60	57.11^{e}±0.70	-1.07^{ab}±0.36	20.21^{bc}±0.79
	90	57.64^{bcde}±0.85	-0.90^{ab}±0.74	21.17^{a}±0.81
	120	58.67^{ab}±1.55	-0.84^{a}±1.25	20.90^{ab}±0.78
40	60	58.20^{abcd}±0.31	-0.81^{a}±0.84	21.13^{a}±0.61
	90	58.04^{abcde}±0.54	-0.97^{ab}±1.54	20.66^{abc}±0.43
	120	58.41^{abc}±0.99	-0.88^{ab}±1.05	21.36^{a}±0.45
60	60	57.34^{de}±0.92	-0.94^{ab}±0.99	20.05^{c}±0.25
	90	58.05^{abcde}±0.78	-1.03^{ab}±1.04	21.08^{a}±0.48
	120	57.55^{cde}±0.62	-0.69^{a}±0.96	20.74^{abc}±0.53

^{abc}ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ,ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ข.4 ปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกจากสถานประกอบการและข้าวกล้องงอกที่ผ่านระยะเวลาการสเปรย์น้ำและการพักสเปรย์น้ำที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ (นาที)	ระยะเวลาการพักสเปรย์น้ำ (นาที)	ปริมาณสาร GABA (มิลลิกรัมต่อกรัม)
ข้าวกล้องงอกของสถานประกอบการ		0.18^{c}±0.189
20	60	13.44^{b}±2.12
	90	29.77^{a}±12.73
	120	11.39^{b}±0.00
40	60	2.81^{c}±2.12
	90	6.49^{bc}±4.25
	120	13.84^{b}±4.25
60	60	0.00^{c}
	90	0.00^{c}
	120	0.37^{c}±0.00

[abc]ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ,ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตาราง ข.5 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ร้อยละการงอก	ค่าเฉลี่ยร้อยละการงอก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
18	1	13.00	15.60	3.67
	2	19.80		
	3	14.00		
19	1	22.1	20.20	1.81
	2	20.00		
	3	18.50		
20	1	39.60	37.06	6.20
	2	30.00		
	3	41.58		
21	1	42.57	45.86	7.09
	2	41.00		
	3	54.00		
22	1	58.18	61.21	5.04
	2	58.42		
	3	67.03		
23	1	59.18	61.57	2.37
	2	63.92		
	3	61.62		
24	1	73.00	72.67	7.51
	2	65.00		
	3	80.00		

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง ข.6 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ร้อยละการงอก	ค่าเฉลี่ยร้อยละการงอก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
18	1	32.32	37.84	4.80
	2	40.21		
	3	41.00		
19	1	38.50	42.50	5.68
	2	40.00		
	3	49		
20	1	67.00	60.55	6.99
	2	53.13		
	3	61.54		
21	1	60.00	63.58	3.12
	2	65.09		
	3	65.66		
22	1	69.70	71.30	8.22
	2	64.00		
	3	80.20		
23	1	72.84	78.76	5.25
	2	82.83		
	3	80.61		
24	1	77.78	81.54	3.31
	2	84.00		
	3	82.83		

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง ข.7 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ร้อยละการงอก	ค่าเฉลี่ยร้อยละการงอก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
18	1	26.00	22.00	2.12
	2	25.00		
	3	15.00		
19	1	28.00	31.70	3.56
	2	32.00		
	3	35.10		
20	1	40.00	44.81	5.01
	2	50.00		
	3	44.44		
21	1	43.75	52.88	7.96
	2	58.33		
	3	56.57		
22	1	59.18	58.91	3.23
	2	55.56		
	3	62.00		
23	1	72.00	63.55	8.50
	2	63.64		
	3	55.00		
24	1	69.00	71.67	2.43
	2	73.74		
	3	72.28		

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง ข.8 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ร้อยละการงอก	ค่าเฉลี่ยร้อยละการงอก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
18	1	31.37	22.92	7.38
	2	17.78		
	3	19.61		
19	1	32.00	29.10	2.59
	2	27.00		
	3	28.30		
20	1	39.00	40.69	1.55
	2	41.00		
	3	42.06		
21	1	48.48	46.69	3.57
	2	42.57		
	3	49.00		
22	1	69.70	70.57	1.25
	2	72.00		
	3	70.00		
23	1	74.23	73.13	2.37
	2	74.75		
	3	70.41		
24	1	80.81	78.35	2.31
	2	76.24		
	3	78.00		

ตาราง ข.9 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ร้อยละการงอก	ค่าเฉลี่ยร้อยละการงอก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
18	1	36.84	37.64	7.45
	2	45.45		
	3	30.61		
19	1	42.7	46.90	3.77
	2	50.00		
	3	48.00		
20	1	61.70	62.19	0.93
	2	63.27		
	3	61.62		
21	1	71.00	66.53	3.88
	2	64.58		
	3	64.00		
22	1	73.27	72.76	9.13
	2	63.39		
	3	81.63		
23	1	76.77	78.59	2.18
	2	81.01		
	3	78.00		
24	1	83.00	83.02	2.83
	2	85.86		
	3	80.20		

ตาราง ข.10 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ร้อยละการงอก	ค่าเฉลี่ยร้อยละการงอก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
18	1	23.71	23.26	10.30
	2	12.75		
	3	33.33		
19	1	30.00	29.40	1.87
	2	27.30		
	3	30.90		
20	1	47.00	47.18	6.27
	2	53.54		
	3	41.00		
21	1	51.52	55.59	9.32
	2	66.25		
	3	49.00		
22	1	56.00	56.67	2.08
	2	55.00		
	3	59.00		
23	1	57.43	57.81	3.02
	2	61.00		
	3	55.00		
24	1	70.79	63.78	7.11
	2	64.00		
	3	56.57		

ตาราง ข.11 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ร้อยละการงอก	ค่าเฉลี่ยร้อยละการงอก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
18	1	43.00	36.56	5.59
	2	33.67		
	3	33.00		
19	1	47.00	41.30	5.51
	2	36.00		
	3	40.80		
20	1	81.00	77.71	4.25
	2	72.92		
	3	79.21		
21	1	80.22	78.97	2.58
	2	76.00		
	3	80.68		
22	1	84.69	83.20	1.41
	2	81.90		
	3	83.00		
23	1	85.57	82.18	4.43
	2	83.81		
	3	77.17		
24	1	89.11	90.01	0.86
	2	90.10		
	3	90.82		

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง ข.12 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ร้อยละการงอก	ค่าเฉลี่ยร้อยละการงอก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
18	1	40.80	38.23	2.46
	2	35.89		
	3	38.00		
19	1	53.00	49.10	3.48
	2	48.00		
	3	46.3		
20	1	63.00	65.88	3.66
	2	70.00		
	3	64.65		
21	1	80.00	78.08	2.51
	2	75.25		
	3	79.00		
22	1	81.00	81.33	2.52
	2	84.00		
	3	79.00		
23	1	85.00	83.42	6.52
	2	76.25		
	3	89.00		
24	1	88.00	85.94	4.47
	2	80.81		
	3	89.00		

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตาราง ข.13 ร้อยละการงอกที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในชั่วโมงที่ 18-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	ซ้ำ	ร้อยละการงอก	ค่าเฉลี่ยร้อยละการงอก	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
18	1	10.00	8.67	2.31
	2	10.00		
	3	6.00		
19	1	15.00	12.80	1.93
	2	12.00		
	3	11.40		
20	1	25.00	30.00	6.24
	2	28.00		
	3	37.00		
21	1	43.56	46.19	3.38
	2	50.00		
	3	45.00		
22	1	50.51	48.32	3.36
	2	44.44		
	3	50.00		
23	1	53.54	58.75	11.76
	2	72.22		
	3	50.51		
24	1	64.71	66.90	2.15
	2	69.00		
	3	67.00		

ตาราง ข.14 ร้อยละต้นข้าวของข้าวกล้องงอกจากวิธีการผลิตขิงสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ระยะเวลาสเปรย์น้ำ	ระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ	ซ้ำ	ข้าวกล้องงอก	ต้นข้าว	ข้าวแตกหัก	ข้าวกล้องงอกเฉลี่ย	ต้นข้าวเฉลี่ย	ข้าวแตกหักเฉลี่ย
ข้าวกล้องงอกจากสถานประกอบการ		1	69.46	64.85	4.61			
		2	70.31	66.10	4.22	69.82	65.53	4.29
		3	69.68	65.64	4.04			
20	60	1	73.71	69.00	4.71			
		2	73.76	69.15	4.60	73.60	69.18	4.42
		3	73.35	69.39	3.96			
	90	1	73.14	70.52	2.62			
		2	73.02	70.65	2.38	73.13	70.59	2.54
		3	73.22	70.62	2.61			
	120	1	71.56	65.97	5.60			
		2	72.00	66.34	5.66	71.44	65.79	5.65
		3	70.77	65.08	5.69			
40	60	1	72.83	68.59	4.24			
		2	73.01	68.89	4.12	72.92	68.75	4.17
		3	72.92	68.78	4.14			
	90	1	73.60	69.67	3.94			
		2	73.74	69.61	4.13	73.31	69.28	4.03
		3	72.60	68.57	4.02			
	120	1	71.06	65.25	5.81			
		2	71.03	64.78	6.25	71.08	64.95	6.13
		3	71.14	64.83	6.31			

ตาราง ข.14 ร้อยละต้นข้าวของข้าวกล้องงอกจากวิธีการผลิตขิงสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก (ต่อ)

ระยะเวลาสเปรย์น้ำ	ระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ	ซ้ำ	ข้าวกล้องงอก	ต้นข้าว	ข้าวแตกหัก	ข้าวกล้องงอกเฉลี่ย	ต้นข้าวเฉลี่ย	ข้าวแตกหักเฉลี่ย
60	60	1	73.64	70.66	2.98	73.63	70.61	3.03
		2	73.52	70.29	3.23			
		3	73.74	70.86	2.88			
	90	1	71.86	67.40	4.46	71.95	67.27	4.68
		2	71.93	67.00	4.93			
		3	72.06	67.42	4.64			
	120	1	73.66	70.03	3.63	73.73	70.08	3.65
		2	73.72	70.17	3.55			
		3	73.81	70.04	3.77			

ตาราง ข.15 ค่าสีของข้าวกล้องงอกจากวิธีการผลิตขิงสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ระยะเวลาสเปรย์น้ำ	ระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ	ซ้ำ	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*	ค่า L* เฉลี่ย	ค่า a* เฉลี่ย	ค่า b* เฉลี่ย
ข้าวกล้องงอกจากสถานประกอบการ		1	58.95	-0.91	20.91	59.00	-1.26	21.37
		2	59.16	-1.46	21.57			
		3	59.35	-1.70	21.59			
		4	58.83	-1.06	21.16			
		5	58.70	-1.18	21.64			
20	60	1	56.32	-0.36	19.01	57.11	-1.07	20.21
		2	57.92	-0.92	20.82			
		3	56.46	-1.48	19.90			
		4	57.26	-0.99	20.33			
		5	57.58	-1.58	20.97			
	90	1	58.72	-0.74	22.09	57.64	-0.90	20.21
		2	57.52	-0.82	20.18			
		3	56.40	-0.93	20.74			
		4	58.02	-1.00	21.91			
		5	57.54	-0.99	20.95			
	120	1	60.09	-1.25	21.31	58.67	-0.84	20.90
		2	56.17	-0.22	19.58			
		3	58.90	-0.80	21.53			
		4	59.76	-1.12	21.27			
		5	58.44	-0.83	20.81			
40	60	1	58.24	-1.54	20.96	58.20	-0.97	20.66
		2	57.98	-0.54	20.46			
		3	58.56	-0.89	20.08			
		4	58.42	-1.00	20.60			
		5	57.79	-0.86	21.19			

ตาราง ข.15 ค่าสีของข้าวกล้องงอกจากวิธีการผลิตขิงสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก (ต่อ)

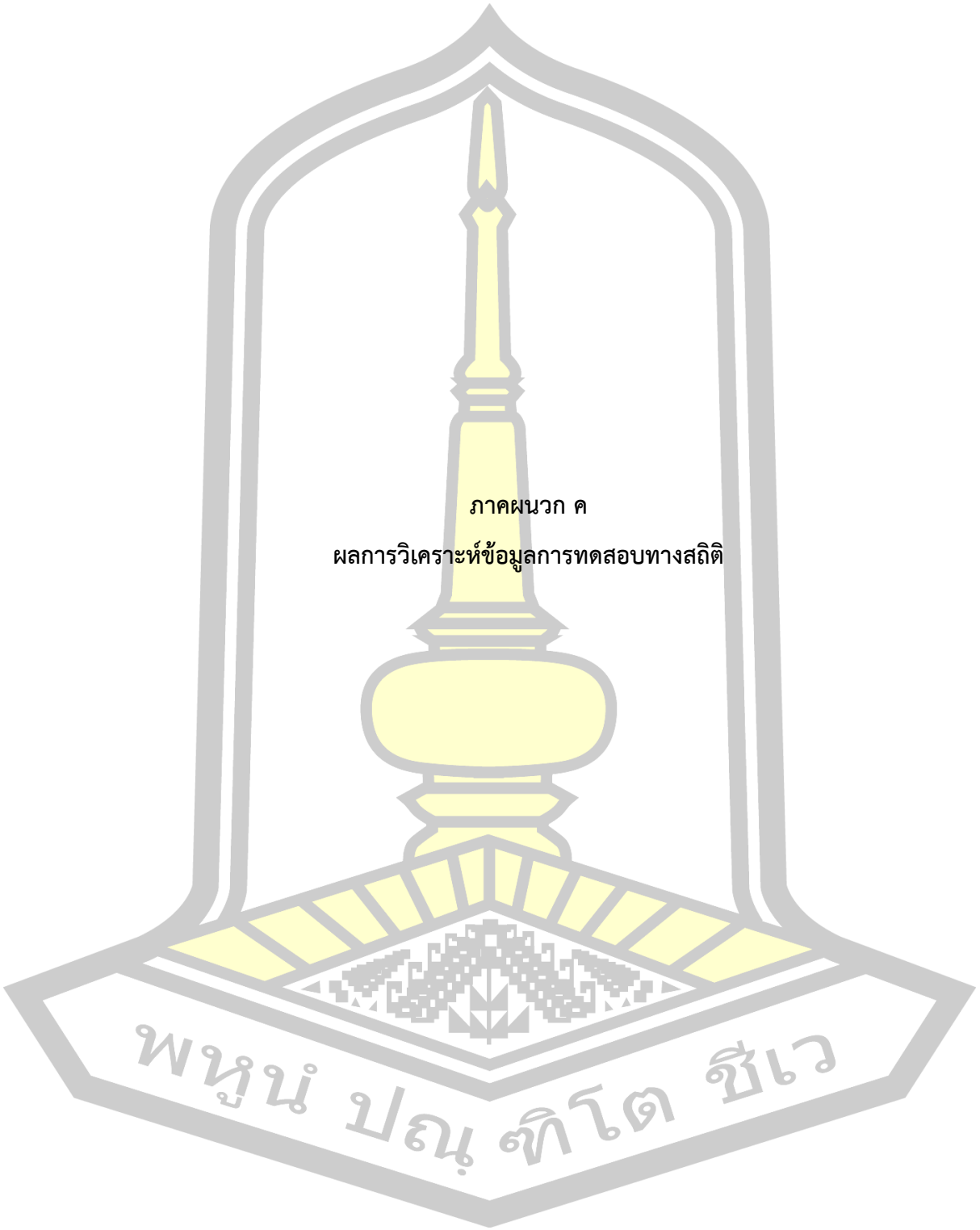
ระยะเวลาสเปรย์น้ำ	ระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ	ซ้ำ	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*	ค่า L* เฉลี่ย	ค่า a* เฉลี่ย	ค่า b* เฉลี่ย
40	90	1	57.94	-1.54	20.96	58.04	-0.97	20.66
		2	57.57	-0.54	20.46			
		3	57.53	-0.89	20.08			
		4	58.37	-1.00	20.60			
		5	58.80	-0.86	21.19			
	120	1	60.06	-1.05	21.98	58.41	-0.88	21.36
		2	58.10	-0.72	21.46			
		3	58.50	-0.74	20.97			
		4	57.89	-0.71	21.51			
		5	57.52	-1.17	20.88			
60	90	1	56.27	-0.99	20.05	57.34	-0.94	20.05
		2	58.05	-1.10	19.79			
		3	57.28	-0.46	20.45			
		4	58.45	-1.12	20.06			
		5	56.64	-1.04	19.89			
	120	1	56.82	-1.04	20.51	58.05	-1.03	21.08
		2	58.66	-0.74	21.38			
		3	58.68	-1.20	21.57			
		4	58.31	-1.20	20.63			
		5	57.78	-0.98	21.32			
		1	57.23	-0.96	20.92	57.55	-0.69	20.74
		2	57.38	-0.86	20.22			
		3	58.65	-1.04	20.59			
		4	57.26	-0.37	20.42			
		5	57.24	-0.21	21.57			

ตาราง ข.16 ค่าปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกจากวิธีการผลิตขิงสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ระยะเวลาสเปรย์น้ำ	ระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ	ซ้ำ	ปริมาณสาร GABA	ปริมาณสาร GABA เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
ข้าวกล้องงอกจากสถานประกอบการ		1	0.0503	0.1836	5.6159
		2	0.1000		
		3	0.4005		
20	60	1	15.0735	13.8480	2.1226
		2	11.3971		
		3	15.0735		
	90	1	37.1324	29.7794	12.7357
		2	15.0735		
		3	37.1324		
	120	1	11.3971	11.3971	0.0000
		2	11.3971		
		3	11.3971		
40	60	1	4.0441	2.8186	2.1226
		2	0.3676		
		3	4.0441		
	90	1	4.0441	6.4951	4.2452
		2	4.0441		
		3	11.3971		
	120	1	18.7500	13.8480	4.2452
		2	11.3971		
		3	11.3971		

ตาราง ข.1 ค่าปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกจากวิธีการผลิตขิงสถานประกอบการและจากเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก (ต่อ)

ระยะเวลาสเปรย์น้ำ	ระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ	ซ้ำ	ปริมาณสาร GABA	ปริมาณสาร GABA เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
60	60	1	-10.6618	-9.4363	2.1226
		2	-10.6618		
		3	-6.9853		
	90	1	-6.9853	-6.9853	0.0000
		2	-6.9853		
		3	-6.9853		
	120	1	0.3676	0.3676	0.0000
		2	0.3676		
		3	0.3676		



ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบทางสถิติ

ตาราง ค.1 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 18-24

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Spraying on	2	200.56	200.56	100.28	5.56	0.013
Spraying off	2	1300.32	1300.32	650.16	36.04	<0.001
Spraying on*Spraying off	4	393.22	392.22	98.31	5.45	0.005
Error	18	324.74	324.74	18.04		
Total	26	2218.84				

ตาราง ค.2 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของร้อยละต้นข้าวที่ได้จากการทดสอบ

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Spraying on	2	12.341	12.341	6.170	51.38	<0.001
Spraying off	2	33.764	33.764	16.882	140.57	<0.001
Spraying on*Spraying off	4	55.440	55.440	13.860	115.41	0.000
Error	18	2.162	2.162	0.120		
Total	26	103.706				

ตาราง ค.3 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความสว่างของข้าวกล้องงอกที่ได้จากการทดสอบ

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Spraying on	2	2.6061	2.6061	1.3030	1.73	0.192
Spraying off	2	3.3226	3.3226	1.6613	2.20	0.125
Spraying on*Spraying off	4	4.6845	4.6845	1.1711	1.55	0.208
Error	36	27.1604	27.1604	0.7545		
Total	44	37.7736				

ตาราง ค.4 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความเหลืองของข้าวกล้องงอกที่ได้จากการทดสอบ

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Spraying on	2	0.5360	0.5360	0.2680	0.79	0.460
Spraying off	2	4.6625	4.6625	2.3313	6.91	0.003
Spraying on*Spraying off	4	2.2494	2.2494	0.5623	1.67	0.179
Error	36	12.1459	12.1459	0.3374		
Total	44	19.5938				

ตาราง ค.5 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณสาร GABA ของกล้องงอกที่ได้จากการทดสอบ

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Spraying on	2	1507.21	1507.21	753.61	32.72	<0.001
Spraying off	2	192.69	192.69	96.34	4.18	0.032
Spraying on*Spraying off	4	594.41	594.41	148.60	6.45	0.002
Error	18	414.52	414.52	23.03		
Total	26	2708.83				

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบทางสถิติ โดยนำผลของค่าเฉลี่ยในการทดสอบเปรียบเทียบกันด้วยวิธี Fisher's Least – Significant Different (LSD)

เมื่อ

Spraying on 1 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที

Spraying on 2 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที

Spraying on 3 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที

Spraying off 1 คือ ระยะเวลาการพักสเปรย์ 60 นาที

Spraying off 2 คือ ระยะเวลาการพักสเปรย์ 90 นาที

Spraying off 3คือ ระยะเวลาการพักสเปรย์ 120 นาที

ตาราง ค.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 18

LSD All-Pairwise Comparisons Test of 18h for spraying on*spraying off

Spraying on	Spraying off	Mean	Homogeneous Groups
1	2	37.843	A
2	2	37.633	A
3	1	36.557	A
3	2	36.280	A
2	3	23.263	B
2	1	22.920	B
1	3	22.000	B
1	1	15.600	BC
3	3	8.667	C

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 5.0859
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 10.782
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means
are not significantly different from one another.

ตาราง ค.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 19

LSD All-Pairwise Comparisons Test of 19h for spraying on*spraying off

Spraying on	Spraying off	Mean	Homogeneous Groups
3	2	49.100	A
2	2	44.969	B
1	2	42.250	C
3	1	41.302	C
1	3	31.700	D
2	1	29.107	E
2	3	29.403	E
1	1	20.200	F
3	3	12.803	G

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.6666
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 1.4132
There are 7 groups (A, B, etc.) in which the means
are not significantly different from one another.

ตาราง ค.8 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 20

LSD All-Pairwise Comparisons Test of 20h for spraying on*spraying off

Spraying on	Spraying off	Mean	Homogeneous Groups
3	1	77.710	A
3	2	65.883	B
2	2	62.197	B
1	2	60.557	B
2	3	47.180	C
1	3	44.813	CD
2	1	40.687	CD
1	1	37.060	DE
3	3	30.000	E

Alpha	0.05	Standard Error for Comparison	4.2929
Critical T Value	2.120	Critical Value for Comparison	9.1005

There are 5 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

ตาราง ค.9 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 21

LSD All-Pairwise Comparisons Test of 21 h for spraying on*spraying off

Spraying on	Spraying off	Mean	Homogeneous Groups
3	1	78.967	A
3	2	78.083	A
2	2	66.527	B
1	2	63.583	BC
2	3	55.590	CD
1	3	52.883	DE
2	1	46.683	DE
3	3	46.187	DE
1	1	45.857	E

Alpha	0.05	Standard Error for Comparison	4.5401
Critical T Value	2.120	Critical Value for Comparison	9.6246

There are 5 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

ตาราง ค.10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 22

LSD All-Pairwise Comparisons Test of 22 h for spraying on*spraying off

Spraying on	Spraying off	Mean	Homogeneous Groups
3	1	83.197	A
3	2	81.333	A
2	2	72.763	B
1	2	71.300	B
2	1	70.567	B
1	1	61.210	C
1	3	58.913	C
2	3	56.667	C
3	3	48.317	D

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 3.3350
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 7.0698
There are 4 groups (A, B, etc.) in which the means
are not significantly different from one another.

ตาราง ค.11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 23

LSD All-Pairwise Comparisons Test of 23 h for spraying on*spraying off

Spraying on	Spraying off	Mean	Homogeneous Groups
3	2	83.417	A
3	1	82.183	AB
1	2	78.760	AB
2	2	78.593	AB
2	1	73.130	BC
1	3	63.547	CD
1	1	61.573	D
3	3	58.757	D
2	3	57.810	D

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 4.7948
Critical T Value 2.120 Critical Value for Comparison 10.165
There are 4 groups (A, B, etc.) in which the means
are not significantly different from one another.

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง ค.12 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละการงอกในชั่วโมงการทดสอบที่ 24

LSD All-Pairwise Comparisons Test of 24 h for spraying on*spraying off

Spraying on	Spraying off	Mean	Homogeneous Groups
3	1	90.010	A
3	2	85.937	AB
2	2	83.020	AB
1	2	81.537	B
2	1	78.350	BC
1	1	72.667	CD
1	3	71.673	CD
3	3	66.903	DE
2	3	63.787	E

Alpha	0.05	Standard Error for Comparison	3.6534
Critical T Value	2.120	Critical Value for Comparison	7.7448

There are 5 groups (A, B, etc.) in which the means
are not significantly different from one another.

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบทางสถิติ โดยนำผลของค่าเฉลี่ยในการทดสอบเปรียบเทียบกันด้วยวิธี Fisher's Least – Significant Different (LSD)

เมื่อ

1 คือ วิธีการของสถานประกอบการ

2 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับการพักสเปรย์ 60 นาที

3 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับการพักสเปรย์ 90 นาที

4 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับการพักสเปรย์ 120 นาที

5 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับการพักสเปรย์ 60 นาที

6 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับการพักสเปรย์ 90 นาที

7 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับการพักสเปรย์ 120 นาที

8 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับการพักสเปรย์ 60 นาที

9 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับการพักสเปรย์ 90 นาที

10 คือ ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับการพักสเปรย์ 120 นาที

โดยมีผลการทดสอบดังนี้

ตาราง ค.13 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของร้อยละต้นข้าวของข้าวกล้องงอกในการทดสอบ

LSD All-Pairwise Comparisons Test of ต้นข้าว **by test**

test	Mean	Homogeneous Groups
8	70.603	A
3	70.597	A
10	70.080	A
6	69.283	B
2	69.180	B
5	68.753	B
9	67.273	C
4	65.797	D
1	65.530	DE
7	64.953	E

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.3142
Critical T Value 2.086 Critical Value for Comparison 0.6553
There are 5 groups (A, B, etc.) in which the means
are not significantly different from one another.

ตาราง ค.14 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความใสของข้าวกล้องงอกในการทดสอบ

LSD All-Pairwise Comparisons Test of ความใส **by test**

test	Mean	Homogeneous Groups
1	58.998	A
4	58.672	AB
7	58.414	ABC
5	58.198	ABCD
9	58.050	ABCDE
6	58.042	ABCDE
3	57.640	BCDE
10	57.552	CDE
8	57.338	DE
2	57.108	E

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.5237
Critical T Value 2.021 Critical Value for Comparison 1.0585
There are 5 groups (A, B, etc.) in which the means
are not significantly different from one another.

ตาราง ค.15 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความเป็นสีแดงของข้าวกล้องงอกในการทดสอบ

LSD All-Pairwise Comparisons Test of สีแดง **by test**

test	Mean	Homogeneous Groups
10	-0.6880	A
5	-0.8080	A
4	-0.8440	A
7	-0.8780	AB
3	-0.8960	AB
8	-0.9420	AB
6	-0.9660	AB
9	-1.0320	AB
2	-1.0660	AB
1	-1.2620	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.2033
Critical T Value 2.021 Critical Value for Comparison 0.4110
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

ตาราง ค.16 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความเหลืองของข้าวกล้องงอกในการทดสอบ

LSD All-Pairwise Comparisons Test of ความเหลือง **by test**

test	Mean	Homogeneous Groups
1	21.374	A
7	21.360	A
3	21.174	A
5	21.126	A
9	21.082	A
4	20.900	AB
10	20.744	ABC
6	20.658	ABC
2	20.206	BC
8	20.048	C

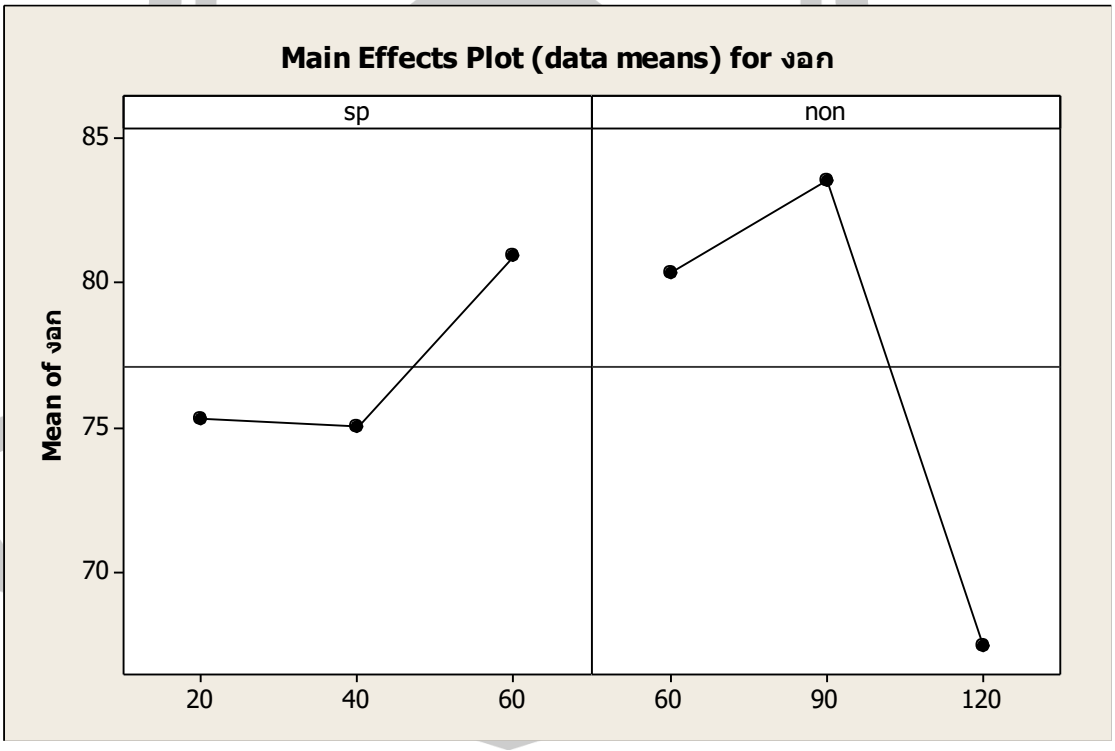
Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.3646
Critical T Value 2.021 Critical Value for Comparison 0.7368
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means
are not significantly different from one another.

ตาราง ค.17 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกในการทดสอบ

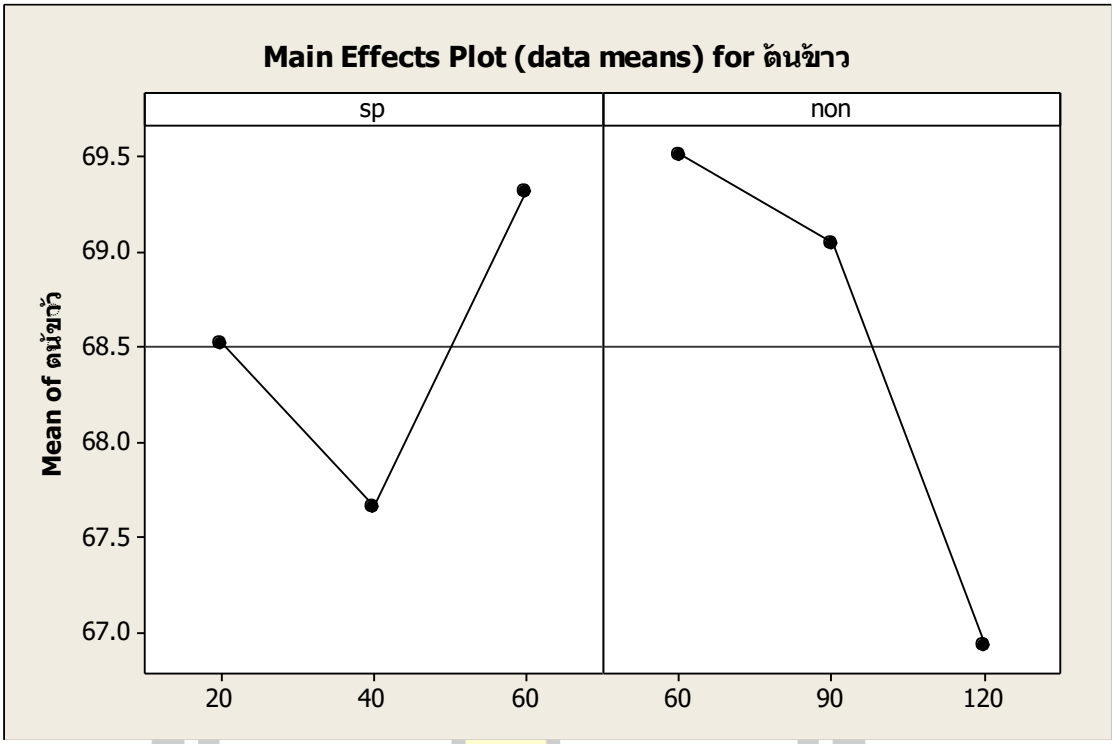
LSD All-Pairwise Comparisons Test of GABA by test

test	Mean	Homogeneous Groups
3	29.777	A
7	13.850	B
2	13.847	B
4	11.400	B
6	6.4933	BC
5	2.8167	C
10	0.3700	C
1	0.1833	C
8	0.0000	C
9	0.0000	C

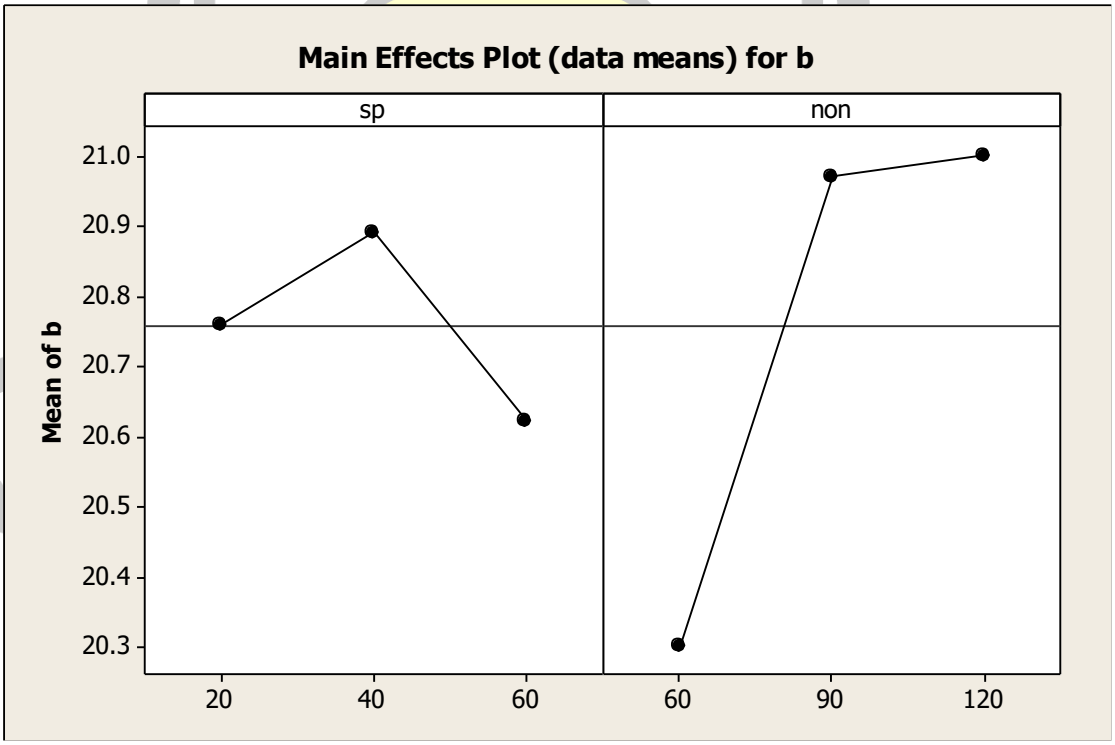
Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 3.7175
Critical T Value 2.086 Critical Value for Comparison 7.7545
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means
are not significantly different from one another.



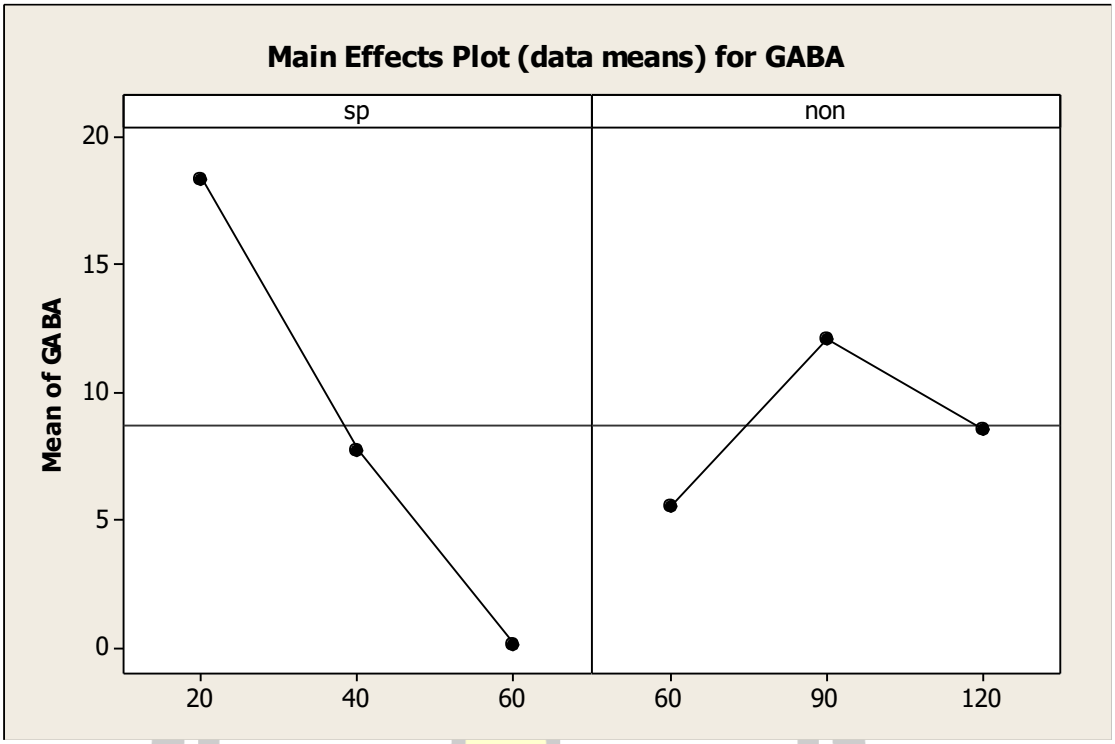
ภาพประกอบ ค.1 อิทธิพลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อร้อยละการงอก



ภาพประกอบ ค.2 อิทธิพลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อร้อยละต้นข้าว

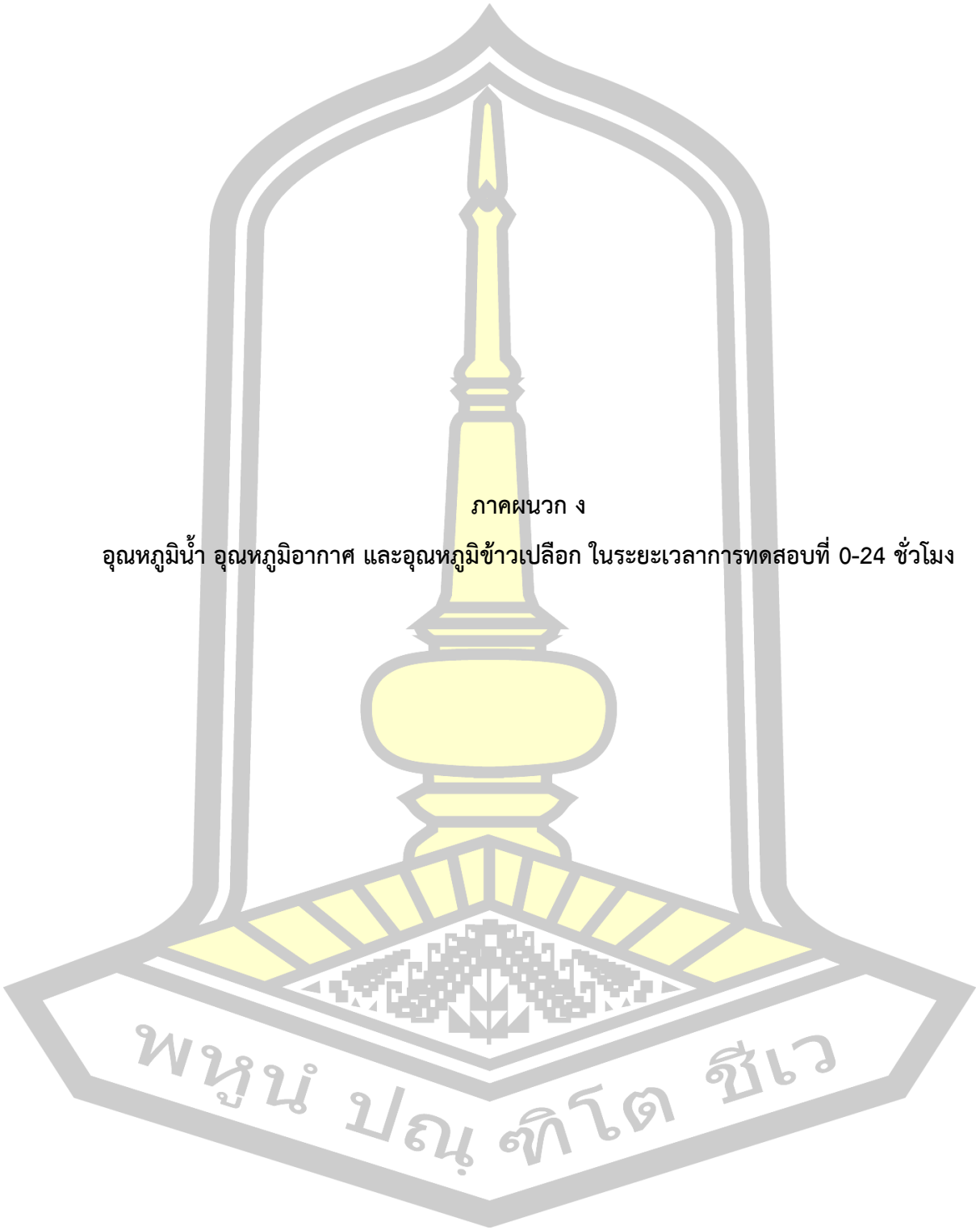


ภาพประกอบ ค.3 อิทธิพลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความเหลืองของข้าวกล้องงอก



ภาพประกอบ ค.4 อิทธิพลของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาคผนวก ง

อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิข้าวเปลือก ในระยะเวลาการทดสอบที่ 0-24 ชั่วโมง

ตาราง ง.1 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิน้ำ ถังพักน้ำ (˚C)	อุณหภูมิน้ำ อ่างรับน้ำ (˚C)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก (˚C)	อุณหภูมิข้าวเปลือก ในถัง (˚C)
0	30.00	31.77	31.00	30.60
1	32.05	32.43	31.50	32.90
2	32.20	32.70	33.50	33.30
3	33.35	33.27	32.50	33.70
4	33.40	33.40	32.60	34.10
5	33.85	33.13	31.20	34.40
6	33.55	33.00	29.80	34.20
7	33.30	33.33	28.80	33.80
8	31.10	32.93	28.10	34.40
9	32.65	32.60	28.00	34.10
10	33.60	32.60	28.40	33.80
11	32.70	32.80	28.40	33.40
12	37.15	31.33	28.20	33.90
13	33.15	32.07	27.70	33.70
14	32.60	32.03	26.30	33.40
15	32.15	32.17	24.70	32.90
16	29.50	30.70	24.30	33.40
17	32.55	31.37	24.60	32.90
18	31.50	31.43	25.00	32.50
19	31.65	31.47	25.40	32.10
20	33.00	31.73	27.10	32.80
21	31.20	31.23	29.50	32.60
22	32.60	31.43	31.00	32.80
23	32.00	32.27	30.30	32.80
24	32.25	31.90	30.30	33.40

ตาราง ง.2 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิน้ำ ถังพักน้ำ (˚C)	อุณหภูมิน้ำ อ่างรับน้ำ (˚C)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก (˚C)	อุณหภูมิข้าวเปลือก ในถัง(˚C)
0	32.35	33.00	32.3	32.30
1	32.95	31.70	32.6	33.30
2	32.55	31.35	30.8	34.10
3	30.95	30.60	32.2	34.00
4	32.05	32.45	32.1	34.00
5	34.15	31.55	31.9	34.40
6	33.75	33.15	31	34.10
7	32.80	32.60	31.1	34.50
8	33.05	32.70	30.4	34.10
9	32.90	32.45	29.8	33.70
10	32.40	32.40	29.7	33.90
11	32.45	32.85	29.5	33.50
12	32.05	31.90	28.2	33.90
13	32.05	32.20	27.3	33.10
14	32.65	31.40	26.6	33.50
15	30.35	31.80	26.4	32.60
16	29.30	31.10	26.1	33.10
17	29.10	31.20	25.9	32.20
18	28.80	30.50	25.7	32.80
19	30.70	30.75	26.7	32.30
20	31.05	30.25	28.3	32.10
21	31.20	31.00	30.1	32.70
22	31.35	31.70	31.3	32.30
23	31.50	31.65	31.8	33.20
24	31.65	32.60	32.1	33.00

ตาราง ง.3 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 20 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิน้ำถังพักน้ำ (˚C)	อุณหภูมิน้ำอ่างรับน้ำ (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอก (˚C)	อุณหภูมิข้าวเปลือกในถัง (˚C)
0	31.3	28.0	28.3	30
1	29.9	31.2	29.7	31.9
2	30.2	34.1	31.8	32.8
3	30.7	32.0	33.4	33.4
4	35.9	32.6	32.5	33.7
5	35.4	33.8	32.6	34.2
6	33.3	33.6	31.4	34.6
7	30.6	34.4	32.5	34.1
8	35.9	31.8	30.6	34.4
9	36.8	33.0	28.8	33.5
10	34.0	33.4	28.5	33.9
11	33.0	32.6	27.8	33.5
12	34.4	32.9	27.2	33.4
13	30.5	30.7	26.7	33.7
14	34.7	32.6	26.5	32.8
15	33.4	32.2	25.9	33.2
16	30.2	31.6	25.9	32.2
17	35.2	32.2	25.6	32.8
18	27.0	31.3	25	31.8
19	30.6	30.4	25.4	32.3
20	32.5	31.4	25.6	32.8
21	26.9	31.5	26	31.8
22	26.5	29.8	27.1	32.3
23	36.1	31	28.1	31.7
24	35.0	32.2	29.2	32.3

ตาราง ง.4 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิน้ำถังพักน้ำ (˚C)	อุณหภูมิน้ำอ่างรับน้ำ (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอก (˚C)	อุณหภูมิข้าวเปลือกในถัง (˚C)
0	31.30	29.95	31.70	31.00
1	33.40	32.15	32.20	32.60
2	32.75	33.20	32.10	33.00
3	33.10	32.50	26.80	32.90
4	32.00	32.50	28.10	32.80
5	32.75	32.75	30.80	33.20
6	33.10	33.10	29.40	35.00
7	33.45	33.50	28.60	34.20
8	33.45	32.95	28.50	34.60
9	32.85	32.40	28.00	35.00
10	33.40	33.30	27.70	34.10
11	33.30	32.45	27.50	34.50
12	32.55	32.75	27.50	35.00
13	30.65	32.30	27.50	34.20
14	30.10	31.80	26.80	34.70
15	31.10	31.25	26.80	35.10
16	28.65	30.65	25.30	35.70
17	28.45	30.05	25.20	36.30
18	28.95	29.70	25.40	36.90
19	28.70	29.35	26.50	37.70
20	29.80	29.20	27.50	38.60
21	30.05	28.55	28.30	32.80
22	31.85	30.40	30.50	32.50
23	31.60	30.95	30.90	33.30
24	32.20	31.60	33.10	33.75

ตาราง ง.5 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิน้ำถังพักน้ำ (˚C)	อุณหภูมิน้ำอ่างรับน้ำ (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอก (˚C)	อุณหภูมิข้าวเปลือกในถัง (˚C)
0	33.00	34.20	33.40	33.20
1	34.20	34.90	34.30	34.70
2	34.60	39.90	34.20	35.10
3	35.30	34.60	34.20	35.60
4	35.30	41.30	35.10	35.90
5	36.70	29.70	34.30	36.30
6	34.20	39.30	35.20	36.50
7	35.70	35.70	34.20	36.20
8	35.10	31.80	33.90	36.50
9	34.60	43.50	35.90	35.90
10	34.50	30.70	33.60	36.30
11	35.30	38.60	34.50	35.70
12	33.60	35.40	33.60	36.20
13	34.10	42.10	34.70	35.50
14	34.40	31.30	33.30	35.80
15	33.70	37.90	34.50	35.00
16	33.90	47.20	33.10	35.40
17	34.10	40.90	33.20	34.70
18	33.00	44.30	33.90	35.00
19	33.60	27.70	32.40	35.50
20	33.40	46.00	34.10	34.60
21	32.50	43.60	33.30	35.40
22	35.60	37.80	34.60	35.00
23	32.70	31.80	34.10	35.90
24	35.50	38.60	35.00	35.70

ตาราง ง.6 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 40 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิน้ำถังพักน้ำ (˚C)	อุณหภูมิน้ำอ่างรับน้ำ (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอก (˚C)	อุณหภูมิข้าวเปลือกในถัง (˚C)
0	31.35	31.35	32.00	30.10
1	33.10	32.45	31.40	32.90
2	32.90	32.80	30.50	33.40
3	33.10	33.15	31.80	33.80
4	33.25	33.30	32.20	34.10
5	33.75	33.45	30.80	34.70
6	33.15	32.95	29.40	35.00
7	33.45	33.50	28.60	34.20
8	33.45	32.95	28.50	34.60
9	32.85	32.40	28.00	35.00
10	33.40	33.30	27.70	34.10
11	33.30	32.45	27.50	34.50
12	32.55	32.75	27.50	35.00
13	30.65	32.30	27.50	34.20
14	30.10	31.80	26.80	34.70
15	31.10	31.25	26.80	35.10
16	28.65	30.65	25.30	35.70
17	28.45	30.05	25.20	36.30
18	28.95	29.70	25.40	36.90
19	28.70	29.35	26.50	37.70
20	29.80	29.20	27.50	38.60
21	30.05	28.55	28.30	32.80
22	31.85	30.40	30.50	32.50
23	31.60	30.95	30.90	33.30
24	32.00	31.60	32.50	34.10

ตาราง ง.7 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 60 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิน้ำถังพักน้ำ (˚C)	อุณหภูมิน้ำอ่างรับน้ำ (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอก (˚C)	อุณหภูมิข้าวเปลือกในถัง (˚C)
0	31.50	34.03	32.20	32.2
1	31.30	32.43	33.20	32.9
2	32.40	32.80	32.40	33.3
3	32.90	33.43	27.90	33.7
4	34.00	32.90	26.80	33.2
5	34.00	33.03	27.70	33.6
6	30.80	32.50	28.30	33.4
7	30.90	33.10	28.40	33.7
8	30.00	32.33	27.50	33.3
9	31.10	33.20	27.10	33.7
10	40.10	31.97	27.60	33.5
11	38.20	33.07	27.40	33.6
12	30.60	32.97	27.30	33.4
13	37.90	33.03	26.80	33.6
14	37.90	33.03	26.80	33.4
15	31.90	32.33	26.40	33.4
16	36.60	32.87	26.20	33.2
17	31.10	32.27	26.30	33.2
18	35.50	32.60	26.20	32.9
19	31.40	31.93	26.20	33.1
20	32.50	32.60	26.80	33
21	32.00	32.13	28.00	33.2
22	32.40	32.70	28.50	34
23	30.10	32.27	30.20	33.8
24	33.40	33.20	30.90	34.9

ตาราง ง.8 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 90 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิน้ำถังพักน้ำ (˚C)	อุณหภูมิน้ำอ่างรับน้ำ (˚C)	อุณหภูมิอากาศภายนอก (˚C)	อุณหภูมิข้าวเปลือกในถัง (˚C)
0	31.40	32.40	33.20	32.60
1	31.30	33.65	32.90	33.60
2	31.70	33.05	34.20	34.00
3	31.75	32.65	33.50	34.50
4	31.35	32.25	33.50	35.00
5	32.10	33.05	33.20	33.40
6	32.45	32.95	32.30	33.70
7	32.85	33.55	31.30	34.10
8	32.50	32.10	30.50	34.50
9	32.55	33.55	29.20	33.90
10	32.30	33.10	28.00	34.20
11	32.55	32.00	27.80	33.70
12	32.70	32.95	27.00	33.40
13	31.95	31.95	26.70	33.90
14	32.50	32.45	26.30	33.20
15	31.50	31.90	26.40	33.40
16	32.20	31.50	26.40	33.10
17	32.30	32.40	26.10	33.10
18	32.25	31.80	26.20	33.60
19	31.30	32.50	27.40	32.80
20	31.75	32.05	28.90	33.50
21	31.40	31.50	30.40	33.40
22	32.80	32.95	31.80	33.70
23	33.50	32.85	33.70	34.90
24	33.40	34.35	35.60	34.70

ตาราง ง.9 อุณหภูมิตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการสเปรย์น้ำ 60 นาที ร่วมกับระยะเวลาพักสเปรย์น้ำ 120 นาที ในช่วงโมงที่ 0-24

เวลาการทดสอบ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิน้ำ ถังพักน้ำ (˚C)	อุณหภูมิน้ำ อ่างรับน้ำ (˚C)	อุณหภูมิอากาศ ภายนอก (˚C)	อุณหภูมิข้าวเปลือก ในถัง (˚C)
0	32.10	32.17	33	32.10
1	32.40	33.07	33.1	33.20
2	35.80	34.12	31.6	33.70
3	32.60	33.95	28	33.40
4	33.30	33.60	23.9	32.40
5	32.10	32.97	24.1	31.90
6	31.10	31.08	24.3	32.50
7	30.90	30.35	24.4	31.10
8	31.70	31.40	23.8	31.30
9	29.90	30.87	24	31.70
10	30.60	30.12	24.4	30.60
11	31.60	31.17	24.5	31.10
12	29.40	30.78	24.5	31.40
13	31.60	30.52	24.4	30.60
14	31.20	31.15	24.5	31.10
15	31.50	31.12	24.6	31.60
16	31.20	30.15	24.9	30.70
17	29.40	31.05	24.6	31.40
18	31.30	30.95	24.5	31.90
19	31.00	30.50	25	31.00
20	29.60	31.40	25.8	31.80
21	30.40	31.00	26.3	32.60
22	30.10	30.30	27	31.70
23	31.30	32.90	27.8	32.60
24	32.70	31.92	29.5	33.70

ภาคผนวก จ

ภาพประกอบการทดสอบ และภาพร่างเครื่องแช่และเพาะงอกเปลือก

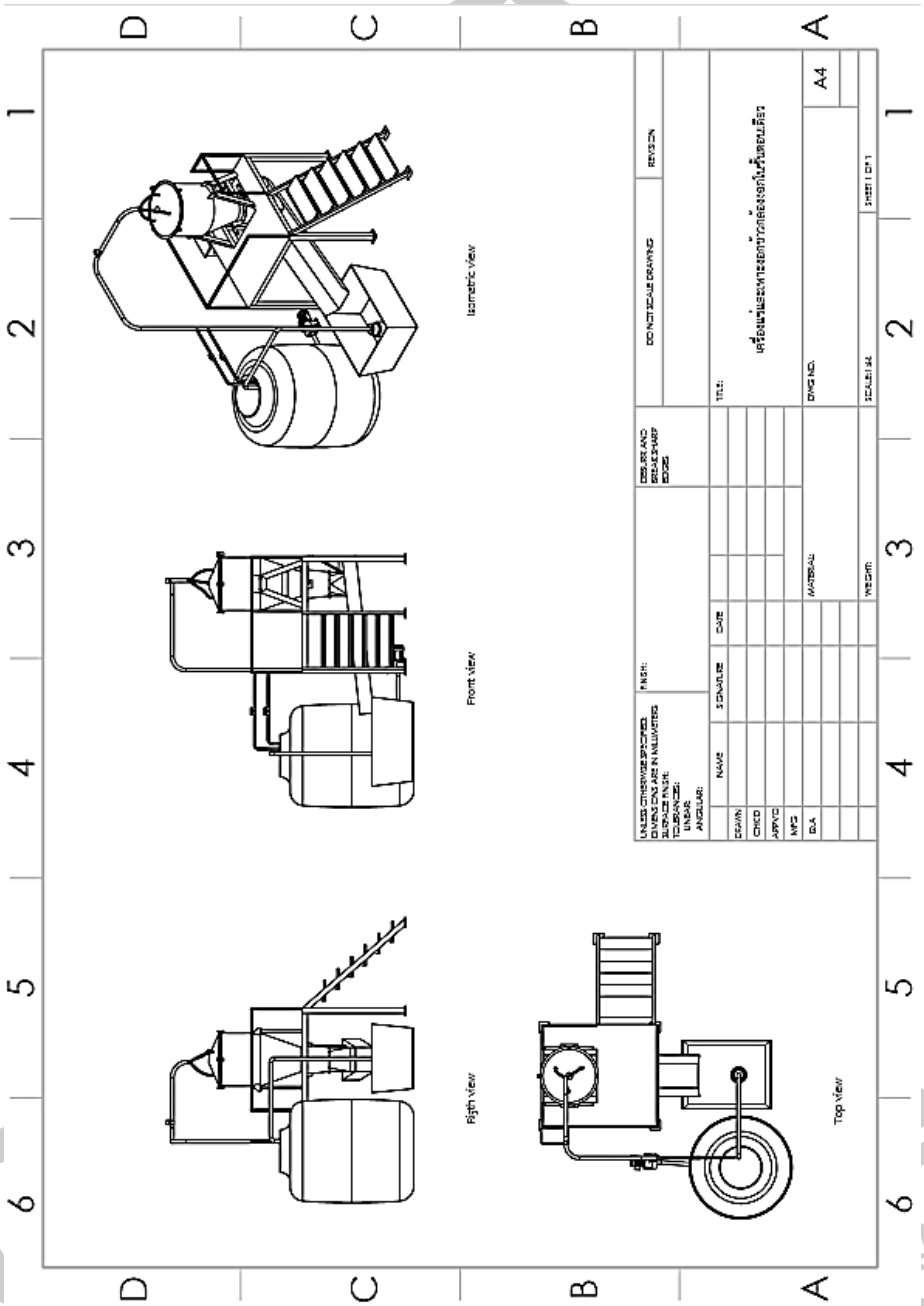
ภาพประกอบ จ.1 เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ภาพประกอบ จ.2 ตำแหน่งการสุ่มวัดร้อยละการงอก

ภาพประกอบ จ.3 การนึ่งและผึ่งก่อนการลดความชื้น

ภาพประกอบ จ.4 อบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้ง

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบ จ.5 ภาพร่างเครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือก

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	น.ส.เจนจิรา จรรยา
วันเกิด	วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2537
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดยโสธร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 533 หมู่ 1 ตำบลลุมพุก อำเภอคำเขื่อนแก้ว จังหวัดยโสธร รหัสไปรษณีย์ 44150
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	นิสิต
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2555 จบการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนคำเขื่อนแก้วชนูปถัมภ์ พ.ศ.2560 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ.2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.)

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว