รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องผลิตข้าวไร่งอก

Germinated Upland Rice Production Machine

ประเภททุน ทุนวิจัยเพื่องานนิทรรศการ รหัสโครงการ KREF105607

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ	นายนฤบดี ศรีสังข์
ผู้ร่วมวิจัย	นายณัฐพงศ์ รัตนเดช
ผู้ร่วมวิจัย	นางศิริวรรณ ศรีสังข์

ได้รับการสนับสนุนเงินวิจัยจาก กองทุนวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2557
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องผลิตข้าวไร่งอก
Germinated Upland Rice Production Machine

ประเภททุน ทุนวิจัยเพื่องานนิทรรศการ รหัสโครงการ KREF105607

คณะผู้วิจัย
หัวหน้าโครงการ นายนฤบดี ศรีสังข์
ผู้ร่วมวิจัย นายณัฐพงศ์ รัตนเดช
ผู้ร่วมวิจัย นางศิริวรรณ ศรีสังข์

สขหมู่.....
เลขทะเบียน 145337
วัน.เดือน.ปี 14 ก.พ. 2560

ได้รับการสนับสนุนเงินวิจัยจาก กองทุนวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2557
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) เครื่องผลิตข้าวไร่งอก
ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) Germinated Upland Rice Production Machine
แหล่งเงิน กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 **จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน** 200,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี **ตั้งแต่** 16 ธันวาคม 2556 **ถึง** 14 ธันวาคม 2557
หัวหน้าโครงการ นายนฤบดี ศรีสังข์ หน่วยงานต้นสังกัด สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จ.ชุมพร
ผู้ร่วมโครงการวิจัย นายณัฐพงศ์ รัตนเดช หน่วยงานต้นสังกัด สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จ.ชุมพร
นางศิริวรรณ ศรีสังข์ หน่วยงานต้นสังกัด สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จ.ชุมพร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงวิธีการผลิตข้าวไร่งอกโดยใช้เครื่องจักรช่วยในการผลิต เพื่อแก้ปัญหากลิ่นเหม็นและลดปริมาณจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการเพาะงอก ตัวเครื่องผลิตข้าวไร่งอกประกอบด้วย ถังสแตนเลส ซึ่งภายในมีถังตะแกรงทรงกระบอกใช้สำหรับบรรจุข้าว หัวสเปรย์สำหรับสเปรย์น้ำในระหว่างการบ่ม หลอดฮาโลเจนและฮีตเตอร์ถูกติดตั้งสำหรับควบคุมอุณหภูมิการอบแห้ง ข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมและพันธุ์หอมเจ็ดบ้านถูกใช้เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของเวลาการแช่ข้าว (เวลา 3 6 9 15 18 21 24 27 และ 30 h) ร่วมกับเวลาการบ่ม (เวลา 24 30 และ 36 h) ที่ส่งผลต่อการงอกของข้าวไร่ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังศึกษาถึงผลกระทบของการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวไร่งอกในด้านปริมาณจุลินทรีย์ สีเมล็ดข้าว ร้อยละการแตกหัก ปริมาณสาร GABA วิตามินอี ธาตุเหล็ก และกลิ่นของข้าวเปลือกงอกจากการทดสอบด้วยแบบสอบถาม ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มเวลาการแช่และเวลาการบ่มของข้าวไร่ ส่งผลให้ร้อยละการงอกและปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของพันธุ์ข้าวไร่ส่งผลต่อร้อยละการงอกและการดูดกลืนความชื้นของข้าวไร่ กระบวนการบ่มส่งผลต่อปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวมากกว่ากระบวนการแช่ การอบแห้งข้าวไร่งอกด้วยอากาศร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน ให้อัตราการอบแห้งที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (น้อยกว่า 10,000 cfu/g) ข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมและพันธุ์หอมเจ็ดบ้านควรผลิตที่เวลาการแช่ 30 h ร่วมกับการบ่ม 24 หรือ 30 h และอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน ซึ่งจะให้ปริมาณการงอกสูงกว่าร้อยละ 50 และมีสีของเมล็ดข้าวไม่แตกต่างจากข้าวไร่ก่อนเพาะงอก (ยกเว้นข้าวพันธุ์หอมเจ็ดบ้านที่ผลิตที่เวลาการแช่ 30 h ร่วมกับเวลาการบ่ม 24 h) ข้าวไร่งอกมีการแตกหักไม่เกินร้อยละ 20 ผู้บริโภคมีความพึงพอใจด้านกลิ่น สี และเนื้อสัมผัสของข้าวไร่งอกในระดับดีมาก มีปริมาณสาร GABA ในระดับมาตรฐาน (ไม่น้อยกว่า 5 mg/100 g) มีปริมาณ Vitamin E เพิ่มขึ้นประมาณ 1.1 เท่า และมีปริมาณ Fe ลดลงประมาณ 20%

คำสำคัญ : ข้าวไร่งอก, สารกาบ้า, ร้อยละการงอก, การบ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Germinated Upland Rice Production Machine
Researcher: Naruebodee Srisang, Nuttapong Ruttanadech and Siriwan Srisang
Faculty: The King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus
Department: Energy Engineering and Mechanical Engineering

ABSTRACT

This research studies the production method of the germinated upland rice with the machine for the prevention of bad smell and the reduction of the microorganisms quantities during the germination process. These machines consist of stainless tank which the inside tank had the cylindrical tray for holding the upland rice and the nozzle for spraying water during incubation. The halogen lamp and heater were installed for controlled the drying temperature. The upland rice variety of Dark Payorm and Hom Jedban were used to study the effect of rice soaking time (3, 6, 9, 15, 18, 21, 24, 27, and 30 h) combined with the incubation time (24, 30, and 36 hr) on the germination of upland rice. Furthermore, this research studied that the effect of hot air drying combined with halogen lamp on the germinated upland rice qualities in terms of the microorganisms quantities, grain color, the percentage of cracking, the GABA content, the vitamin E content, the iron content and the odor of germinated upland rice using the questionnaire. Study results showed that the increase of soaking time and incubation time of upland rice caused the augmentation of the percentage of germination and moisture content. The different upland rice variety affected the percentage of germination and the moisture absorption of upland rice. The incubation process affected the moisture content inside the rice kernel more than the soakage process. Germinated upland rice drying using hot air combined with halogen lamp gave the higher drying rate than the hot air drying and could decrease the microorganisms content in safety level (less than 10,000 cfu/g). The rice variety of Dork Payorm and Hom Jedban should produce at soaking time about 30 h combined with the incubation time about 24 or 30 h and drying using hot air combined with halogen lamp. These conditions obtained the percentage of germination higher than 50% and the rice grain color did not difference with upland rice before the germination, except for Hom Jedban rice variety at soaking time about 30 h combined with the incubation time about 24 h. The germinated upland rice had the percentage of cracking lower than 20%; the consumer satisfied the odor, color and texture in very good level; the GABA content was in standard level (not less than 5 mg/100 g); Vitamin E content increased about 1.1 times and the iron content decreased around 20%.

Keywords: Germinated upland rice, GABA, Percentage of germination, Incubation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษา คณาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิศวกรรมพลังงาน ตลอดจนคณะกรรมการวิจัย เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัย ฝ่ายพัสดุและฝ่ายการเงิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ประสานงานและดำเนินการให้งานวิจัยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุน กองทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

นฤบดี ศรีสังข์
ณัฐพงศ์ รัตนเดช
ศิริวรรณ ศรีสังข์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.3 การถ่ายเทความร้อน	10
2.4 การคำนวณแรงบิดและกำลังของมอเตอร์	11
2.5 การหาปริมาณความชื้นในวัสดุ	12
2.6 อัตราการอบแห้ง	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	15
3.1 การออกแบบ	15
3.2 กระบวนการทำงานของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก	19
3.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก	20
3.4 แผนผังการทดลอง	21
3.5 ขั้นตอนการทดลอง	21
3.6 แบบสำรวจ	31
บทที่ 4 ผลการวิจัย	33
4.1 ผลกระทบของเวลาการแช่และเวลาการบ่มที่ส่งผลต่ออัตราการงอกของข้าวไร่	33
4.2 ผลกระทบของเวลาการแช่และเวลาการบ่มที่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นข้าวไร่	35
4.3 จลนศาสตร์การอบแห้งข้าวไร่งอก	38
4.4 ปริมาณจุลินทรีย์ของข้าวไร่งอก	40
4.5 สีของข้าวไร่งอก	41
4.6 การแตกหักของเมล็ดข้าวไร่งอก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค	43
4.8 การวิเคราะห์สารอาหารในข้าวไร่งอก	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการวิจัย	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	50
ก. แบบสอบถามความพึงพอใจคุณภาพของข้าวไร่งอก	51
ข. ภาพข้าวไร่และข้าวไร่งอก	53
ค. เครื่องผลิตข้าวไร่งอก	54
ง. สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย	58
ประวัตินักวิจัย	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ปริมาณจุลินทรีย์ในข้าวไร่งอกหลังผ่านกระบวนการเพาะงอกและหลังผ่านกระบวนการลดปริมาณจุลินทรีย์ด้วยวิธี Pasteurize และวิธีการอบแห้ง	40
4.2 ค่าสีของข้าวไร่ก่อนการเพาะงอกและข้าวไร่งอกหลังการอบแห้งด้วยเครื่องผลิตข้าวไร่งอก	42
4.3 ร้อยละการแตกหักของข้าวไร่และข้าวไร่งอก	43
4.4 ค่าคะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อคุณภาพด้านสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของข้าวไร่งอกที่ผลิตจากเครื่องผลิตข้าวไร่งอก	43
4.5 ปริมาณสารอาหารในข้าวไร่และข้าวไร่งอก	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ตุ่มขนาดเล็กงอกจากบริเวณจมูกข้าว	4
2.2 ปริมาณสาร GABA ที่ได้รับจากข้าวกล้องงอก (5 สายพันธุ์) ด้วยวิธีการแช่น้ำ และวิธี SGT	4
2.3 อุปกรณ์กวน	6
2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่ข้าว	7
2.5 ขั้นตอนการทำให้ข้าวงอกด้วยการผึ่งลม	7
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของแข็งและเวลาในการอบแห้ง	14
3.1 เครื่องผลิตข้าวงอก	15
3.2 ฮีตเตอร์สำหรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำ	16
3.3 สายพานส่งกำลัง	16
3.4 เกียร์ทดรอบ	16
3.5 ชุดสเปรย์น้ำ	17
3.6 ฉนวนหนา 5 mm	17
3.7 เทอร์โมสตัท	18
3.8 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)	18
3.9 โบว์เวอร์	18
3.10 หลอดฮาโลเจน (Halogen lamp)	19
3.11 กระบวนการทำงานของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก	19
3.12 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก	20
3.13 แผนผังการทดลอง	21
3.14ก ข้าวไร่ก่อนการงอก	22
3.14ข ข้าวไร่ก่อนการงอก	22
3.15 การชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก	22
3.16 การนำ moisture can เข้าตู้อบ	23
3.17 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ	23
3.18 การผสมอาหารในบิ๊กเกอร์	23
3.19 การนำอาหารเลี้ยงเชื้อไปอบในไมโครเวฟ	24
3.20 Flask ที่ปิดสำสีที่ฝาและหุ้มด้วยฟรอยด์	24
3.21 การนึ่งอาหารในหม้อนึ่งความดัน	24
3.22 อาหาร Nutrient agar หลังจากผ่านการนึ่ง	25
3.23 ข้าวงอกบด	25
3.24 การเจือจางความเข้มข้น	25
3.25 การลน Plate ภายในตู้ปลอดเชื้อ	26
3.26 การเทข้าวงอกที่บดลงใน Plate	26
3.27 การบ่มเชื้อจุลินทรีย์ภายในตู้บ่ม	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.28 Plate หลังจากผ่านกระบวนการบ่ม	27
3.29 เครื่องคัดแยกเมล็ดข้าว	28
3.30 เครื่องวัดสี Konica Minolta Chroma Meter CR-400	30
3.31 แผนภูมิสี	30
4.1 ผลกระทบของเวลาการแช่ข้าวที่ส่งผลต่อร้อยละการงอกของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอม	33
4.2 ผลกระทบของเวลาการแช่และบ่มข้าวที่ส่งผลต่อร้อยละการงอกของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอม	34
4.3 ผลกระทบของเวลาการแช่และบ่มข้าวที่ส่งผลต่อร้อยละการงอกของข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้าน	35
4.4 ผลกระทบของเวลาการแช่ข้าวที่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอม	35
4.5 ปริมาณความชื้นของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมหลังการแช่และการบ่ม	36
4.6 ความชื้นของข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้านหลังการแช่และการบ่ม	37
4.7 ปริมาณความชื้นของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมหลังการแช่เปรียบเทียบกับหลังการบ่ม	37
4.8 ปริมาณความชื้นของข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้านหลังการแช่เปรียบเทียบกับหลังการบ่ม	38
4.9 จลนศาสตร์การอบแห้งข้าวไร่งอก	39
ข1 ข้าวไร่ก่อนผ่านกระบวนการเพาะงอก	53
ข2 ข้าวไร่หลังผ่านกระบวนการแช่และการบ่ม	53
ข3 ข้าวไร่งอกที่ได้รับจากเครื่องผลิตข้าวไร่งอก	53
ค1 แบบ Drawing ของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก	54
ค2 แบบ Drawing ตัวถังของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก	55
ค3 แบบ Drawing ตะแกรงสแตนเลสของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก	56
ค4 ส่วนประกอบของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวไร่เป็นข้าวที่ปลูกโดยอาศัยสภาพน้ำฝนตามธรรมชาติ โดยจะเพาะปลูกในพื้นที่ไร่หรือที่ราบสูง ซึ่งไม่มีการเก็บกักน้ำในแปลงนา ทำให้พันธุ์ข้าวไร่ส่วนมากจะทนต่อความแห้งแล้งได้ดี ส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำในการเพาะปลูกข้าวลดลง ข้าวไร่นับเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีอยู่คู่กับท้องถิ่นมาอย่างยาวนาน แต่กลับมีการเพาะปลูกที่น้อยโดยคิดเป็นร้อยละ 10 ของพื้นที่ปลูกทั่วประเทศ ซึ่งจะเพาะปลูกมากในแถบภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ปริมาณการเพาะปลูกที่น้อยของข้าวไร่อาจเป็นผลมาจากหลายสาเหตุ ได้แก่ ความต้องการของตลาดหรือผู้บริโภคที่น้อยเนื่องจากข้าวไร่ไม่เป็นที่รู้จักสำหรับบุคคลทั่วไป จึงมีการบริโภคเฉพาะภายในท้องถิ่นเท่านั้น เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่หาได้ยากเนื่องจากการเพาะปลูกข้าวไร่โดยส่วนใหญ่ใช้วิธีการเพาะปลูกแบบชาวบ้าน ทำให้ข้าวไร่ที่ผลิตได้มีปริมาณและคุณภาพที่ต่ำ นอกจากนี้งานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับข้าวไร่มีค่อนข้างน้อย ทำให้ขาดองค์ความรู้และการเผยแพร่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้าวไร่ทั้งในเรื่องของวิธีการเพาะปลูก คุณค่าทางโภชนาการ และรสชาติ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมให้ข้าวไร่เป็นที่รู้จักของบุคคลทั่วไปมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการตัดสินใจหันมาเลือกบริโภคข้าวไร่ งานวิจัยนี้จึงศึกษาวิธีการแปรรูปข้าวไร่เป็นข้าวไร่งอกด้วยเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

โดยทั่วไปวิธีการทำข้าวงอกตามภูมิปัญญาชาวบ้านทำได้โดยการนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำเป็นเวลา 48-72 h จากนั้นนำไปผึ่งลมให้แห้งเป็นระยะเวลา 1 วัน เพื่อลดความชื้น ซึ่งวิธีดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้าว ทำให้ข้าวงอกที่ได้มีกลิ่นเหม็นเนื่องจากการหมักข้าวและปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการสร้างเครื่องผลิตข้าวงอกจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตข้าวงอก เนื่องจากการเพาะงอกข้าวในสภาวะปิด (เพาะงอกภายในตัวเครื่อง) ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาในเรื่องการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากภายนอก สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการงอกรวมทั้งมีการกวนข้าวแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยลดกลิ่นของการหมักที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการงอก นอกจากนี้ภายในตัวเครื่องได้มีการออกแบบส่วนอบแห้ง ซึ่งจะช่วยในเรื่องของการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และลดความชื้นของข้าวงอก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตข้าวงอก เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของเวลาในกระบวนการแช่และการบ่มที่มีผลต่อร้อยละการงอกของข้าวไร่ และศึกษาถึงผลกระทบของวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวไร่งอกโดยพิจารณาคุณภาพในด้านคุณค่าทางสารอาหาร ปริมาณจุลินทรีย์ ร้อยละการแตกหัก สี กลิ่นของข้าวงอก และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของเวลาในกระบวนการแช่ข้าวและการบ่มข้าวที่ส่งผลต่อร้อยละการงอกของข้าวไร่ และศึกษาถึงผลกระทบของวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวไร่งอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ในการศึกษาใช้ข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอม และข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้าน เนื่องจากเป็นพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองที่หาง่ายในภาคใต้

1.3.2 ตัวเครื่องสามารถบรรจุข้าวได้ 4 kg

1.3.3 ในการศึกษาผลกระทบของเวลาในกระบวนการแช่ข้าวต่อร้อยละการงอก ใช้อุณหภูมิน้ำคงที่ 40°C และใช้เวลาการแช่น้ำ 3 6 9 15 18 21 24 27 และ 30 h

1.3.4 ในการศึกษาผลกระทบของเวลาในกระบวนการบ่มต่อร้อยละการงอก ใช้อุณหภูมิการบ่มคงที่ 60°C และใช้เวลาการบ่ม 24 30 และ 36 h

1.3.5 ในการศึกษาผลกระทบของวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่มีต่อคุณภาพของข้าวไร่งอก โดยใช้อุณหภูมิอากาศร้อนคงที่ 80°C

1.3.6 ในการพิจารณาคุณค่าทางสารอาหารในข้าวไร่งอกจะพิจารณาจากปริมาณสาร GABA วิตามินอี และเหล็ก

1.3.7 ในการพิจารณาคุณภาพของข้าวไร่งอกจะพิจารณาจากปริมาณจุลินทรีย์, การแตกหัก, สี และกลิ่น

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเพาะงอกข้าวไร่ และการผลิตข้าวไร่งอก

1.4.2 จัดหาพันธุ์ข้าวไร่ที่ต้องใช้ในการวิจัย

1.4.3 ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

1.4.4 ดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของเวลาในกระบวนการแช่ข้าวต่อร้อยละการงอกของข้าวไร่ ศึกษาผลกระทบของเวลาในกระบวนการบ่มต่อร้อยละการงอกของข้าวไร่ ศึกษาผลกระทบของวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่มีต่อคุณภาพของข้าวไร่งอกในด้านคุณค่าทางสารอาหาร ปริมาณจุลินทรีย์ การแตกหัก สี และกลิ่น

1.4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ข้าวไร่งอกที่อุดมไปด้วยสารอาหาร และคุณค่าทางโภชนการ ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าทางการค้า

1.5.2 ได้เครื่องผลิตข้าวไร่งอกที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ได้ข้าวไร่งอกที่มีปริมาณและคุณภาพที่สูง สามารถผลิตจำหน่ายเป็นสินค้าประจำท้องถิ่น

1.5.3 ทำให้ทราบถึงผลกระทบของเวลาในการแช่และการบ่มที่ส่งผลต่อการงอกของข้าวไร่ ซึ่งอาจจะนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกข้าวไร่

1.5.4 ทำให้ทราบถึงผลกระทบของความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ส่งผลให้สามารถเลือกความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ข้าวไร่ (Upland Rice)

ข้าวไร่ คือ การปลูกข้าวบนที่สูงซึ่งไม่มีน้ำขังในพื้นที่ปลูก เนื่องจากพื้นที่สูง เช่น เชิงภูเขา มักจะมีระดับที่ไม่สม่ำเสมอจึงไม่สามารถไถเตรียมดินและปรับระดับได้เหมือนกับพื้นที่ราบ ดังนั้นชาวนามักจะปลูกข้าวแบบหยอด โดยขั้นตอนแรกทำการตัดหญ้าและต้นไม้เล็ก ๆ ออกจากพื้นที่ ทำความสะอาดพื้นที่ที่จะปลูก ใช้ไม้ซึ่งส่วนปลายมีลักษณะแหลมกดลงดินให้เป็นหลุมเล็ก ๆ ลึกประมาณ 3 cm ปากหลุมมีขนาดกว้างประมาณ 1 inch หยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวลงในหลุมโดยหยอด 5-8 เมล็ดต่อหลุม กลบดินที่บริเวณปากหลุม เมื่อฝนตกลงมาหรือเมื่อเมล็ดได้รับความชื้นจากดินจะทำให้เมล็ดเริ่มงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อนต่อไป เนื่องจากในพื้นที่สูงไม่มีน้ำขังและไม่มีชลประทาน การปลูกข้าวไร่จึงต้องใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียว ดังนั้นพื้นดินที่ปลุกข้าวไร่จะแห้งและขาดน้ำทันทีเมื่อสิ้นฤดู ด้วยเหตุนี้การปลูกข้าวไร่จะต้องใช้พันธุ์ที่มีอายุเบา ปลูกในต้นฤดู และสามารถเก็บเกี่ยวได้ในปลายเดือนฤดูฝน ประเทศไทยมีการปลูกข้าวไร่มากในภาคเหนือและภาคใต้ [1]

2.1.1.1 ลักษณะพันธุ์ข้าวไร่

ดอกพะยอม (Dawk Pa-yawm) เป็นพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง ซึ่งได้มาจากการรวบรวมพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองในพื้นที่ภาคใต้ ในระหว่างปี พ.ศ. 2502-2521 รับรองพันธุ์โดยคณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 7 ธันวาคม 2522 ข้าวไร่ดอกพะยอม เป็นพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง เมล็ดข้าวมีลักษณะเรียวยาว ข้าวเปลือกมีสีฉางก้นจุด เมล็ดข้าวเปลือก ยาว 10.3 mm กว้าง 2.4 mm หนา 2.0 mm เมล็ดข้าวกล้อง ยาว 7.3 mm กว้าง 2.2 mm หนา 1.8 mm ลำต้นโตเต็มที่สูงประมาณ 150 cm ลำต้นมีสีเขียว ใบยาว ค่อนข้างแคบ การเก็บเกี่ยว ถ้าปลูกต้นเดือนมิถุนายนสามารถเก็บเกี่ยวได้ในปลายเดือนตุลาคม และถ้าปลูกปลายเดือนสิงหาคมสามารถเก็บเกี่ยวได้ปลายเดือนมกราคม (อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 145-150 วัน) ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 2 สัปดาห์ มีปริมาณ Amylose 24% คุณภาพของข้าวเมื่อนำมาหุงสุกมีลักษณะ ร่วน นุ่ม มีกลิ่นหอม [2]

หอมเจ็ดบ้าน (Homjed ban) เป็นพันธุ์ข้าวไร่ที่ทางราชการแนะนำให้ปลูกในภาคใต้ ตั้งแต่ พ.ศ. 2523 จนมีปลูกมาถึงปัจจุบัน พันธุ์ข้าวไร่หอมเจ็ดบ้าน เปลือกเมล็ดสีฟาง ข้าวกล้องสีแดง มีปริมาณ Amylose 19.02% [3]

2.1.2 ข้าวเปลือกงอก (Germinated paddy)

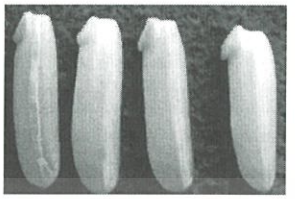
ข้าวเปลือกงอก หรือ ข้าวฮาง เป็นข้าวแปรรูปที่ผลิตขึ้นตามภูมิปัญญาของชาวไทยอีสาน โดยการนำเอาข้าวเปลือกมาแช่น้ำไว้เพื่อกระตุ้นให้เกิดการงอก จากนั้นจึงนำข้าวเปลือกมานึ่งและตากให้แห้ง และนำไปกะเทาะเปลือก [4] ทั้งนี้การนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำเพื่อกระตุ้นให้เกิดการงอกของข้าว ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ดข้าวเกิดสารอาหารที่มีประโยชน์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด หรือเรียกสั้นๆว่า สาร GABA ซึ่งจะเพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวโดยทั่วไป 2-7 เท่า [5]

2.1.2.1 วิธีการผลิตข้าวงอก

วิธีการผลิตข้าวงอกโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนแรกการเพาะงอก เป็นขั้นตอนการกระตุ้นเมล็ดข้าวให้เกิดการงอก โดยนำข้าวมาแช่น้ำเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง จนกระทั่งเมล็ดข้าวเกิดการงอกที่บริเวณจมูกข้าว ซึ่งจะปรากฏเป็นตุ่มเล็กๆ ประมาณ 0.5-1 mm [6] ดังแสดงในภาพที่ 2.1

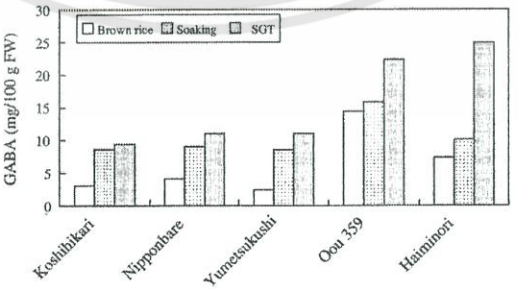


ภาพที่ 2.1 ตุ่มขนาดเล็กงอกจากบริเวณจมูกข้าว

- ขั้นตอนที่สองการฆ่าเชื้อ เป็นขั้นตอนที่ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการเพาะงอก โดยนำข้าวงอกมาผ่านการลวกหรือนึ่งเพื่อฆ่าเชื้อ

- ขั้นตอนสุดท้ายการอบแห้ง เป็นขั้นตอนในการลดความชื้นของเมล็ดข้าวให้อยู่ที่ระดับ 13-15% (d.b.) [7] ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา

วิธีการผลิตข้าวงอกดังกล่าวข้างต้น มีข้อแก้ไขที่ต้องปรับปรุงในเรื่องของปริมาณจุลินทรีย์บนเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในระหว่างการแช่น้ำ และกลิ่นการหมักที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่น้ำ ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์สำหรับผู้บริโภค นอกจากนี้วิธีการผลิตข้าวงอกดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดเวลาการเพาะงอกข้าว เพื่อลดกลิ่นการหมักและปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่ข้าว นอกจากนี้จากผลการศึกษาของ Komatsuzaki et al. (2007) [8] ซึ่งศึกษาถึงผลกระทบของวิธีการงอกที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA โดยการศึกษาใช้วิธีการเพาะงอกข้าวที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ วิธี SGT (Soaking and gaseous treatment) เป็นการเพาะงอกข้าวโดยนำข้าวกล้องมาแช่น้ำ (Soaking treatment) เป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นนำข้าวกล้องไปบ่มในที่อับอากาศ (Gaseous treatment) และวิธีการแช่น้ำ (Soaking) เป็นการเพาะงอกข้าวโดยนำข้าวกล้องมาแช่น้ำจนกระทั่งเกิดการงอก ผลการศึกษา พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผลิตด้วยวิธี SGT จะมีปริมาณสาร GABA มากกว่าข้าวกล้องงอกที่ผลิตด้วยวิธีการแช่น้ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 เนื่องจากข้าวกล้องงอกที่ผลิตด้วยวิธี SGT จะมีปริมาณของ Glutamic acid เพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีการแช่น้ำ ซึ่ง Glutamic acid เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในกระบวนการผลิตสาร GABA



ภาพที่ 2.2 ปริมาณสาร GABA ที่ได้รับจากข้าวกล้องงอก (5 สายพันธุ์) ด้วยวิธีการแช่น้ำ และวิธี SGT [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 สารอาหารในข้าวเปลือกงอก [9]

สาร GABA เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่ผลิตจากกระบวนการ Decarboxylation ของกรดกลูตามิก GABA มีบทบาทสำคัญในการเป็น Neurotransmitter ในระบบประสาทส่วนกลาง สาร GABA สามารถใช้ในการรักษาโรคหรือบำบัดอาการเจ็บป่วยได้ เช่น โรควิตกกังวล โรคลมชัก ช่วยในการทำงานของไตดีขึ้นและยังมีคุณสมบัติในการลดความดันโลหิต ช่วยป้องกันการทำลายสมองเนื่องจากสารเบต้าอไมลอยด์เปปไทด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคอัลไซเมอร์ ช่วยบำบัดอาการนอนไม่หลับ [10] ช่วยในการไหลเวียนโลหิตในสมองดีขึ้น ช่วยยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง [11] และช่วยลดไขมันในเส้นเลือด นอกจากนี้ในข้าวเปลือกงอกยังมีสารอาหารอื่นๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น

- สารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มฟินอลลิค(Phenolic compounds) ช่วยยับยั้งการเกิดฝ้า และชะลอความแก่
- สารแกมมาออริซานอล (Gamma orizanol) ช่วยควบคุมระดับคอเลสเตอรอล และลดอาการผิดปกติของวัยทอง
- เยื่อใยอาหาร (Dietary fiber) ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันมะเร็งลำไส้ และลดอาการท้องผูก
- วิตามิน E สูง ช่วยกระจายออกซิเจนไปตามกระแสเลือด ชะลอความแก่ของเซลล์ ช่วยให้ผิวพรรณดี สดใส และป้องกันแคลเซียมเกาะผนังหลอดเลือด
- ธาตุเหล็ก ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง

2.1.3 การอบแห้งเมล็ดพืช

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น โดยความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อทำให้ความชื้นภายในวัสดุเกิดการระเหย วิธีการอบแห้งโดยทั่วไปที่ง่ายที่สุดจะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้ง หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า การอบแห้งด้วยอากาศร้อน ซึ่งความร้อนถูกถ่ายเทสู่วัสดุด้วยการพาความร้อนโดยมีอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุ และอากาศจะนำพาความชื้นที่ระเหยออกมาจากวัสดุออกไปทิ้งยังภายนอก ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจากวัสดุอยู่ในรูปของความร้อนแฝงของการระเหย นอกจากนี้ยังมีการอบแห้งในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งแตกต่างกันไปตามกลไกการถ่ายเทความร้อน เช่น การอบแห้งด้วยรังสีอินฟาเรดหรือไมโครเวฟ ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุอบแห้งด้วยการแผ่รังสี และการอบแห้งด้วยลูกกลิ้งร้อนที่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุอบแห้งด้วยการนำความร้อน โดยในการอบแห้งจะฉีดของเหลวที่ต้องการทำให้แห้งไปยังลูกกลิ้งร้อน ทำให้ของเหลวแห้งติดอยู่บนลูกกลิ้ง จากนั้นจึงใช้ใบมีดขูดของเหลวที่แห้งออกจากลูกกลิ้ง

โดยทั่วไปในการอบแห้งเมล็ดพืชจะใช้วิธีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อน โดยในการอบแห้งจะใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง อากาศร้อนที่เป่าผ่านเมล็ดพืชทำให้น้ำระเหยไปกับอากาศร้อนทางช่องระบายอากาศภายในห้องอบแห้ง สำหรับการเลือกใช้อุณหภูมิของอากาศจะขึ้นอยู่กับ ลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน และวิธีที่ใช้ในการอบแห้งโดยมากจะเลือกเอาอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมให้ได้ โดยไม่ทำให้คุณภาพของเมล็ดพืชเสียหาย เพราะจะทำให้อบแห้งได้เร็ว ส่งผลให้เครื่องอบแห้งมีขนาดเล็ก ทำให้การลงทุนต่ำ เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชอาจจะสามารถแบ่งได้เป็นสองชนิดตามการเคลื่อนที่ของเมล็ดพืช คือ เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ และเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลจะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงกว่าแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่และมีการกระจายความชื้นของเมล็ดพืชที่สม่ำเสมอกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

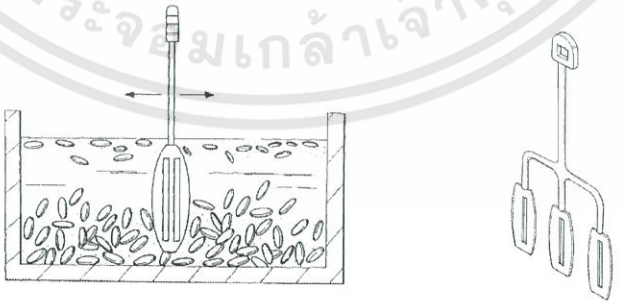
2.1.3.1 การอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจน

การอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจนเป็นเทคนิคการอบแห้งที่ถูกนำมาใช้ในเครื่องอบแห้งอาหารในครัวเรือนเนื่องจากสะดวกในการใช้งาน และไม่มีอันตรายจากการแผ่รังสีเหมือนกับเครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจนเป็นการใช้ความร้อนจากหลอดฮาโลเจนในการอบแห้ง โดยใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอดที่ทำด้วยทังสเตน ซึ่งความร้อนจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของรังสีอินฟาเรดเช่นเดียวกับหลอด Incandescent ต่างกันตรงที่มีการบรรจุสารตระกูลฮาโลเจน ได้แก่ ไอโอดีน คลอรีน โบรมีน และฟลูออรีน ลงในหลอดแก้วที่ทำด้วยควอทซ์ เพื่อป้องกันการระเหิดตัวของไส้หลอด ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังส่งผลให้หลอดมีอายุยาวนานขึ้น เนื่องจากไอระเหยของทังสเตนเมื่อรวมกับธาตุฮาโลเจนจะกลายเปนทังสเตนฮาไลด์ (Tungsten halide) แทนที่ทังสเตนจะไปเกาะที่ผิวกระเปาะหลอดไฟดานใน เมื่อถูกความรอนทังสเตนจะกลับไปเกาะที่ไส้หลอดได้อีก

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Banchuen และคณะ [12] ศึกษาหาสภาวะการงอกที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณสาร GABA สูงที่สุดสำหรับข้าวพันธุ์สังข์หยดพัทลุง และเฉี้ยงพัทลุง ผลการศึกษา พบว่า การทำข้าวกล้องงอกด้วยการนำมาแช่ใน Citrate buffer ที่ pH 3 อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 5 h จากนั้นนำมาห่อในผ้าบางๆเพื่อรักษาความชื้น และนำมาเพาะงอกในภาชนะปิดสนิท (อากาศไม่สามารถผ่านเข้าไปในกล่องได้) เป็นเวลา 36 h ทำให้ปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอกสังข์หยดพัทลุง และเฉี้ยงพัทลุงเพิ่มขึ้นสูงสุด โดยเพิ่มขึ้นจาก 2.66 เป็น 44.53 mg/100 g ข้าวกล้อง และ 3.09 เป็น 29.25 mg/100 g ข้าวกล้อง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะงอกในภาชนะเปิด (ฝากล่องเจาะรูให้อากาศผ่านเข้าไปในกล่องได้) ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสาร GABA จาก 2.66 เป็น 26.88 mg/100 g ข้าวกล้อง สำหรับในข้าวกล้องงอกสังข์หยดพัทลุง และเพิ่มขึ้นจาก 3.09 เป็น 22.98 mg/100 g ข้าวกล้อง สำหรับในข้าวกล้องงอกเฉี้ยงพัทลุง ซึ่งข้าวกล้องงอกที่เพาะงอกในภาชนะปิดมีปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวกล้องงอกที่เพาะงอกในภาชนะเปิด (กล่องพลาสติกเปิดฝา) เนื่องจาก Glutamic acid สามารถถูกสังเคราะห์ได้ดีในสภาวะอับอากาศ ทำให้สามารถผลิตสาร GABA ได้มากขึ้น

Se-Soon Jang [13] ได้นำเสนอวิธีการผลิตข้าวกล้องงอกจากข้าวเปลือก โดยเริ่มต้นจากนำข้าวเปลือกมาแช่ในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูงและทำการกวนด้วยอุปกรณ์กวน ดังแสดงในภาพที่ 2.3

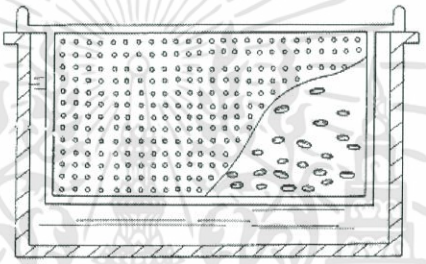


ภาพที่ 2.3 อุปกรณ์กวน [13]

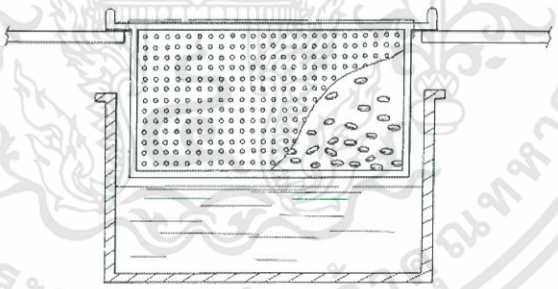
การกวนเป็นวิธีการคัดเลือกเมล็ดข้าวที่แข็งแรงและพร้อมที่จะงอก โดยเมล็ดที่แข็งแรงจะจมลงสู่ด้านล่าง ส่วนเมล็ดที่ไม่แข็งแรงพอที่จะทำการงอกจะลอยขึ้นสู่ด้านบน นอกจากนี้เครื่องมือดังกล่าวจะช่วยปอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกบนเมล็ดข้าวเปลือก ทำให้ได้เมล็ดข้าวกล้องที่แข็งแรงพร้อมจะนำไปทำการงอก เมล็ดข้าวกล้องจะถูกนำไปใส่ในตะแกรงเหล็ก และนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 12–18°C เป็นเวลา 6-10 h หลังจากนั้นจะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเป็น 20–32°C ขั้นตอนทั้งหมดเป็นขั้นตอนเพื่อเตรียมการงอก (Pre-germinating) ของเมล็ดข้าว ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ข้าวกล้องที่ผ่านขั้นตอนเตรียมการงอกแล้ว จะถูกนำขึ้นมาจากน้ำและผึ่งลมเป็นเวลา 2-5 h เพื่อให้เกิดการงอก (Germinating) โดยการยกตะแกรงเหล็กขึ้นมาสูงจากน้ำประมาณ 1 cm ดังแสดงในภาพที่ 2.5 หลังจากนั้นนำข้าวกล้องมาแช่ในน้ำเกลือที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 8-24 h นำข้าวกล้องมาผึ่งลมสลับกับการแช่น้ำเกลือ จนกระทั่งสังเกตว่าไม่มีการเกิดฟองอากาศขึ้นในระหว่างการแช่ข้าวกล้อง นำข้าวกล้องมาผึ่งลม 26-32°C และแช่ในน้ำเกลือที่อุณหภูมิเดียวกันจนกระทั่งสังเกตเห็นการงอกจากเมล็ดข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกที่ได้จะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น และสามารถนำมาหุงต้มได้ด้วยวิธีการเดียวกันกับที่ใช้ในการหุงต้มข้าวขาว ซึ่งจะได้ข้าวที่เหนียว นุ่ม มีรสหวาน มีคุณค่าทางโภชนาการสูง



ภาพที่ 2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่ข้าว [13]



ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการทำให้ข้าวงอกด้วยการผึ่งลม [13]

วัฒนา และคณะ [14] ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาของการแช่ข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก โดยศึกษาจากพันธุ์ข้าวดอกมะลิและข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 จากการทดลองพบว่า pH ของน้ำ อุณหภูมิ และ เวลาในการแช่น้ำมีผลต่อปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องงอก ทั้ง 2 พันธุ์ โดยมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นภายหลังการงอก สภาวะที่ดีที่สุดที่ทำให้ข้าว GBR ทั้ง 2 พันธุ์ มีปริมาณ GABA สูงสุด คือ การแช่น้ำที่อุณหภูมิน้ำ 35°C และเวลาการแช่น้ำ 24 h

จักรพงษ์ และคณะ [15] ศึกษาผลกระทบของวิธีการงอกและระยะเวลาการงอกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยจัดทดลองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2×8 แฟคตอเรียลในการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ในการทดลองใช้วิธีการงอก 2 วิธี คือ การงอกโดยการแช่น้ำ และการงอกบนผ้าขาวบางเปียก และใช้ระยะเวลาการงอก 12 24 36 48 72 84 และ 96 h ทำการงอกที่อุณหภูมิ 35±2°C ผลการศึกษาพบว่า วิธีการงอกบนผ้าขาวบางเปียกได้แป้งข้าวกล้องที่มีน้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้นมากกว่าวิธีการแช่น้ำ เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มมากขึ้นน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวของแป้งข้าวกล้องงอกของทั้ง 2 วิธีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และวิธีการงอกบนผ้าขาวบางเปียกได้แป้งข้าวกล้องงอกที่มีกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (GABA) สูงกว่าการงอกโดยวิธีการแช่น้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ช่วงระยะเวลาการงอก 24-60 h แต่ที่ระยะเวลาการงอก 96 h การงอกโดยการแช่น้ำได้ GABA สูงกว่าวิธีการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Capanzana และคณะ [16] ได้ศึกษาวิธีการเพาะงอกข้าวสายพันธุ์อะไมโลสสูงด้วยวิธีการตอบสนองต่อพื้นผิว เพื่อศึกษาเวลาในการเพาะงอกและอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่ออะไมโลสและปริมาณวิตามิน B ของแป้ง ผลการศึกษาสภาวะการเพาะงอกพบว่า ปริมาณอะไมโลสและปริมาณวิตามิน B ของแป้งไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตามสภาวะการงอกที่เปลี่ยนแปลงไป สภาวะการงอกที่ดีที่สุดสำหรับข้าวอะไมโลสสูง คือ แช่น้ำเป็นเวลา 24 h ที่ 25°C หรือ 16 h ที่ 35°C และเวลาการเพาะงอก 3 วัน ที่อุณหภูมิ 30°C

วรินทร์ และสุนัน [17] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก ในการศึกษาใช้ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ ซึ่งเป็นข้าวในกลุ่มอะไมโลสต่ำ กระบวนการงอกถูกออกแบบการทดลองโดยศึกษา 3 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการแช่ข้าวกล้องในน้ำ กระบวนการบ่ม และกระบวนการลดความชื้น ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่ดีที่สุดของกระบวนการแช่และการบ่ม ควรแช่ข้าวกล้องในน้ำที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 4 h ร่วมกับการบ่มที่อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90% เป็นเวลา 20 h จากนั้นจึงนำมาลดความชื้นจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 12-13% (w.b.) ซึ่งพบว่าปริมาณกรดแกมมาแอมิโนบิวทิริก (GABA) ของข้าวกล้องงอกลดลง เมื่ออุณหภูมิในการลดความชื้นสูงขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณของกรดแกมมาแอมิโนบิวทิริก (GABA) ที่เหลืออยู่นั้นยังคงมากกว่า ข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการงอก

Gulum และคณะ [18] ได้ศึกษาการอบแห้งชิ้นแครอทโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจนและอากาศร้อน ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับพลังงานไมโครเวฟลดเวลาการอบแห้งได้สูงที่สุด และ การอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจนร่วมกับไมโครเวฟลดเวลาการอบแห้งลง 98% เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งทั่วไป นอกจากนี้ในกรณีของการอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจนร่วมกับหลอดไมโครเวฟระดับความชื้นลดลงในระดับที่ต่ำ และแครอทมีการเปลี่ยนสีน้อยกว่า

วัชรินทร์ [19] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดในอุตสาหกรรมอาหารเพื่ออธิบายหลักการพื้นฐานของรังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม สำหรับการประยุกต์ใชในอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่จะใช้ในการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการต่างๆเช่น การคั่ว และ การอบแห้ง เป็นต้น จากการศึกษาพบว่ารังสีอินฟราเรดมีลักษณะเด่น คือ สามารถถ่ายความร้อนสู่อาหารได้อย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพจึงช่วยลดเวลาของกระบวนการและค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นอกจากนี้ผลิตผลหลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อนแล้วมีคุณภาพดี

อภินันท์ และคณะ [20] ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่มีต่อสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของเห็ดนางฟ้าภูฐานระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน ในการศึกษาใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ระดับ คือ 70 80 และ 90°C ผลการศึกษาพบว่า ความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งลดลงตามระยะเวลาในการอบแห้ง ความชื้นที่ลดต่ำลงมีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) ลดลง

อุไรวรรณ และสุดารัตน [21] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลาการแช่ และเวลาการเพาะที่มีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องงอก โดยนำข้าวกล้องแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 และ 40°C เป็นเวลา 3 6 9 และ 12 h จากนั้นนำมาเพาะเป็นเวลา 0 6 12 18 24 30 และ 36 h ก่อนนำไปอบแห้ง และทำการวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอก ผลการศึกษาพบว่าการแช่ข้าวที่ 30 และ 40°C มีร้อยละการงอกของเมล็ดอยู่ในช่วง 55-85 และ 56-83 ตามลำดับ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 92.65-94.78% และ 93.81-95.38% ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ไม่มี Interaction ระหว่างปัจจัย แต่พบผลของปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิและเวลาการเพาะ โดยพบว่า ข้าวที่แช่น้ำอุณหภูมิ 40°C มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวที่แช่น้ำอุณหภูมิ 30°C ด้านผลของการเพาะ พบว่า ข้าวกล้องงอกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพาะเป็นเวลา 18 h ขึ้นไป ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการงอกของข้าวกล้องที่มีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ คือ อุณหภูมิน้ำ 40°C ระยะเวลาการแช่ 3 h และระยะเวลาการเพาะที่ 18 h

จารุรัตน์ [22] ได้ศึกษาผลของกระบวนการแช่และกระบวนการงอกของข้าวกล้อง (หอมมะลิ 105) ต่อปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอก พบว่า การงอกข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 40°C นาน 36 h มีปริมาณ GABA สูงสุด ในขณะที่ปริมาณกลูตาเมตน้อยที่สุด (96.83 และ 453.27 mg/100g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ที่ไม่ผ่านการแช่ (ปริมาณ GABA 10.55 mg/100g น้ำหนักแห้ง) ดังนั้นการเพาะข้าวกล้องให้งอกที่อุณหภูมิ 40°C นาน 36 h มีผลให้มีปริมาณ GABA สูงขึ้นประมาณ 9.2 เท่า

แสงทิวา และคณะ [23] ได้ศึกษาผลของกระบวนการแช่และการงอกต่อปริมาณของสาร Gamma-amino butyric acid (GABA) ในข้าวเหนียวดำหรือข้าวก่ำพันธุ์ดอยสะเก็ด ข้าวเจ้าก่ำพันธุ์หอมนิล เปรียบเทียบกับข้าวเจ้าขาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสาร GABA ของข้าวแต่ละพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยข้าวที่ไม่ผ่านการแช่มีสาร GABA ในเมล็ดอยู่แล้วและสารดังกล่าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาแช่ข้าว 4 8 และ 12 h ซึ่งมีสารกาบาสูงสุดในข้าวเจ้าพันธุ์หอมนิล รองลงมาคือพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด และขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการเพาะเมล็ดให้งอกนาน 12 24 และ 36 h มีผลต่อการสะสมสาร GABA ซึ่งการเพาะนาน 24 h มีผลให้ค่าเฉลี่ยจากข้าวทุกพันธุ์มีสาร GABA สูงสุด อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวและช่วงเวลาการเพาะมีผลต่อการสังเคราะห์กาบาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิมีการสะสมเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่าหลังจากบ่มเพาะนาน 24 h ซึ่งสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ และเพิ่มขึ้นเป็น 26.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิกรัม/100 กรัมเมื่อเพาะนาน 36 h ในขณะที่พันธุ์หอมนิลมีการสะสมสาร GABA ลดลงเมื่อเพาะนาน 36 h แต่ไม่แตกต่างกันในพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด

Kayahara และ Tsukahara [24] ได้รายงานว่าข้าวกล้องงอกมี GABA มากกว่าข้าวขัดสีถึง 10 เท่า มีใยอาหาร วิตามินอี (สารต้านอนุมูลอิสระ) ไนอะซิน และไลซีนมากกว่า 4 เท่า และมีวิตามินบี 1 บี 6 และแมกนีเซียมมากกว่า 3 เท่า ซึ่งไลซีนช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่า การผลิตข้าวงอกด้วยการแช่น้ำควรแช่ที่อุณหภูมิ 40°C เนื่องจากจะให้สาร GABA ในปริมาณที่สูง และในการอบแห้งข้าวงอกควรใช้หลอดฮาโลเจนเพื่อช่วยเร่งกระบวนการอบแห้งและสามารถรักษาคุณภาพของข้าวงอกหลังการอบแห้ง

2.3 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) [25]

ภายในเครื่องผลิตข้าวงอกมีทั้งกระบวนการแช่ และกระบวนอบแห้ง ซึ่งต้องใช้ความร้อนในแต่ละกระบวนการ ดังนั้นจึงมีการถ่ายเทความร้อนในหลายรูปแบบภายในเครื่องผลิตข้าวงอกดังต่อไปนี้

2.3.1 การนำความร้อน (Conduction heat transfer)

การนำความร้อน คือ การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง โดยส่งผ่านพลังงานจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยอัตราการถ่ายความร้อนสามารถหาได้จากสมการฟูเรียร์ดังแสดงในสมการ (1)

$$Q_x = -kA\,(dT/dX) \qquad (1)$$

เมื่อ

Q_x คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน (m^2)

k คือ ค่าการนำความร้อน (W/m.K)

dT/dX คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลางตามทิศทางแกน X (K/m)

2.3.2 การพาความร้อน (Convection heat transfer)

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส เมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัวทำให้ความหนาแน่นต่ำลง และสสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความหนาแน่นสูงกว่า) จะเคลื่อนมาแทนที่ ทำให้เกิดการพาความร้อนออกไป ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_f) \qquad (2)$$

เมื่อ

Q_{conv} คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนด้วยการพา (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection heat transfer coefficient) ที่สัมผัสของไหลกับวัตถุ ($W/m^2.K$)

A คือ พื้นที่ของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิของผิววัตถุ (K)

T_f คือ อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากผิวหรืออุณหภูมิส่วนต้นของของไหล (K)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเป็นคุณสมบัติที่ได้จากการทดลอง ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีหลายอย่าง เช่น รูปร่างของวัตถุ ลักษณะการไหลของของไหล และคุณสมบัติของของไหล เป็นต้น

2.3.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation heat transfer)

การแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งไม่ต้องใช้ตัวกลางในการส่งผ่านความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีสามารถคำนวณได้จากสมการ (3)

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A T_A^3 \quad (3)$$

เมื่อ

Q_{rad} คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนด้วยการแผ่รังสี (W)

ε คือ ค่าการแผ่รังสี (Emissivity)

A คือ พื้นที่ของวัตถุที่แผ่รังสี (m^2)

σ คือ ค่าคงที่ Stefan Boltzmann (5.67×10^{-8} W/m^2K^4)

T_A คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุแผ่รังสีความร้อน (K)

ค่าการแผ่รังสีเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุที่แผ่รังสี ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น รูปร่างของวัตถุ และลักษณะพื้นผิว เป็นต้น

2.4 การคำนวณแรงบิด และกำลังของมอเตอร์ [26]

2.4.1 แรงบิด

แรงบิด (Torque, T) คือ แรงบิดของแกนหมุนใด ๆ มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร (N•m) การคำนวณแรงบิด หาได้จาก สมการ (4)

$$T = F \times r \quad (4)$$

เมื่อ

T คือ แรงบิด (N•m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F คือ แรงที่มากระทำ (N)

r คือ ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนถึงแนวแรง (m)

2.4.2 กำลังของมอเตอร์

เมื่อมีแรง F นิวตัน กระทำกับเพลาทำให้เพลาหมุนด้วยความเร็วรอบ n รอบต่อนาที ขณะที่เพลาหมุนไป 1 รอบสามารถคำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ดังสมการ (5)

$$S = 2 \times (22/7) \times r \quad (5)$$

เมื่อ

S คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ (m)

r คือ รัศมีของเพลา (m)

งานในการหมุนเพลา 1 รอบ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (6)

$$W_F = F \times 2 \times (22/7) \times r \quad (6)$$

ถ้าเพลาหมุน n รอบต่อนาที สามารถคำนวณงานในการหมุนเพลาได้ดังสมการ (7)

$$W_F = F \times 2 \times (22/7) \times r \times n \quad (7)$$

เพราะฉะนั้นการคำนวณหากำลังมอเตอร์สามารถคำนวณได้ดังสมการ (8)

$$P = 2 \times (22/7) \times T \times n/60 \quad (8)$$

เมื่อ

P คือ กำลังในการหมุนเพลา (W)

T คือ แรงบิด (N•m)

n คือ ความเร็วรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)

2.5 การหาปริมาณความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบ่งบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงออกเป็น 2 แบบ คือ

ความชื้นมาตรฐานเปียก M_w เป็นความชื้นที่นิยมใช้ในการค้า สามารถคำนวณได้ดังสมการ (9)

$$M_w = (w - d)/w \quad (9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นมาตรฐานแห้ง M_d เป็นความชื้นที่นิยมใช้ในงานวิจัย เนื่องจากมวลวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่ตลอดเวลาในการอบ ความชื้นมาตรฐานแห้งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (10)

$$M_d = (w - d)/d \quad (10)$$

เมื่อ

w คือ มวลของวัสดุก่อนอบแห้งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

2.6 อัตราการอบแห้ง

ในกรณีที่อากาศไหลผ่านวัสดุชื้น ตัวอากาศร้อนจะทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและพาความชื้นออกไปด้วย ถ้าอากาศร้อนนั้นมีอุณหภูมิและความชื้นคงที่จะพบว่ามีกระบวนการอบแห้งเกิดขึ้นสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกอัตราการอบแห้งจะคงที่ โดยในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ผิวของวัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่จำนวนมาก การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งถ้าสภาวะสิ่งแวดล้อมมีค่าคงที่จะทำให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วย และเมื่ออบต่อไปจนกระทั่งถึงความชื้นค่าหนึ่ง จะพบว่าอัตราการอบแห้งจะเริ่มลดลง เรียกช่วงนี้ว่า อัตราการอบแห้งลดลง และเรียกความชื้นที่จุดนี้ว่าความชื้นวิกฤต ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงอิทธิพลของอากาศภายนอกจะลดลงด้วย และอัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยอัตราการเคลื่อนที่ของของน้ำภายในเนื้อวัสดุ

2.6.1 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-rate drying period)

จากภาพที่ 2.6 ในช่วง A ถึง B ผิวของวัสดุมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากการระเหยของน้ำที่ผิวเร็วกว่าการแพร่ของความชื้นภายในวัสดุมายังผิวของวัสดุ จึงส่งผลให้อุณหภูมิของผิวมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ T_{wb} และความเข้มข้นของน้ำที่ผิววัสดุคงที่ ดังนั้นอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมอัตราการอบแห้ง ถ้า P_{wb} คือ ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก, P คือ ความดันย่อยของไอในอากาศ และ K_p คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ($kg/s.m^2$) ดังนั้นค่าอัตราการระเหยของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิววัสดุ (N) ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่แสดงได้ดังสมการ (11)

$$N = K_p(P_{wb} - P) \quad (11)$$

เมื่ออุณหภูมิที่ผิวของวัสดุไม่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้ แสดงว่าความร้อนทั้งหมดถูกถ่ายโอนไปยังวัสดุเพื่อใช้ระเหยในการกลายเป็นไอ จากสมการ (11) สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการ (12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = (hp/\lambda) \times (T-T_{wb}) \quad (12)$$

โดยที่

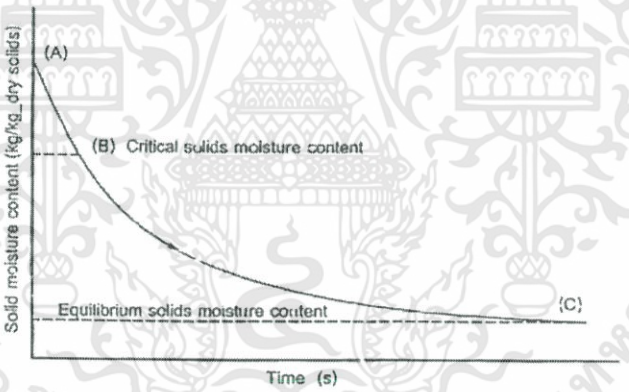
h_p คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปสู่วัสดุ ($kW/m^2 . ^\circ C$)

λ คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)

T คือ อุณหภูมิของอากาศ (°C)

2.6.2 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling-rate drying period)

จากภาพที่ 2.6 ช่วง B ถึง C หลังจากที่ความชื้นบริเวณผิวหน้าของวัสดุถูกระเหยออกไปมากแล้วอัตราการอบแห้งจะเริ่มเปลี่ยนแปลงจากช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่ตำแหน่ง B นี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content) ในอัตราการอบแห้งลดลงนั้น ความชื้นภายในวัสดุจะแพร่กระจายมาที่ผิวของวัสดุ และอุณหภูมิจะค่อยๆสูงขึ้นเนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทให้กันวัสดุถูกใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับวัสดุส่วนหนึ่ง จึงมีความร้อนเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ใช้ในการระเหยน้ำ



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของแข็งและเวลาในการอบแห้ง [27]

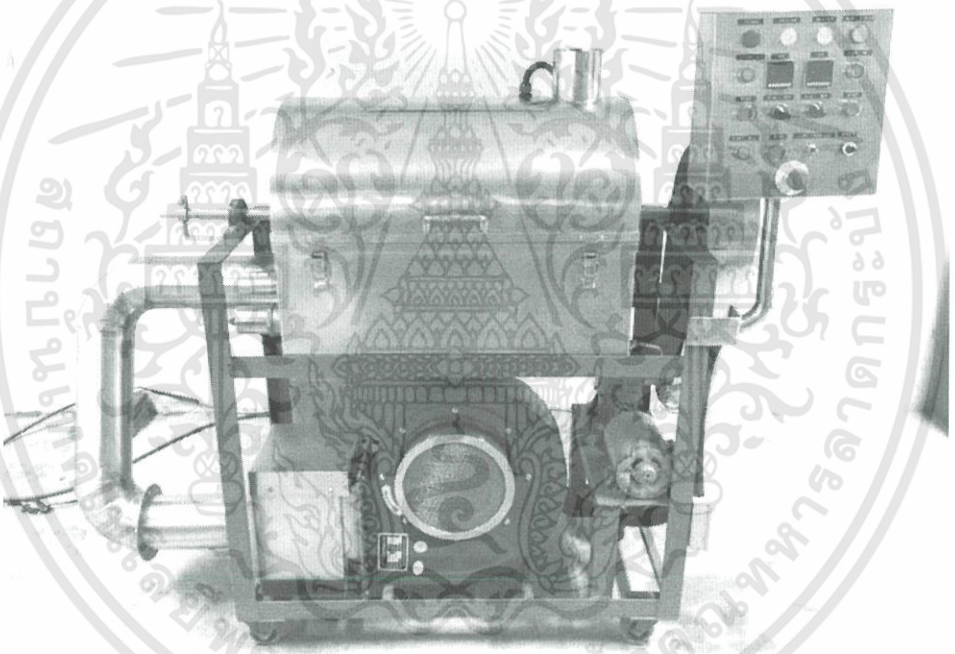
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบ

3.1.1 ออกแบบเครื่องผลิตข้าวงอก

ในการออกแบบเครื่องผลิตข้าวงอกเลือกใช้สแตนเลส 304 หนา 1 mm ซึ่งเป็นวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนไม่เกิดสนิม เหมาะสมที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร การออกแบบตัวถังด้านนอกเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 45×75×20 cm^3 ฝาปิดด้านบนเป็นครึ่งของทรงกระบอกดังแสดงในภาพที่ 3.1 ด้านข้างของถังมีการเจาะรูเพื่อติดตั้งฮีตเตอร์แบบจุ่ม โดยมีโบว์เวอร์ใช้ในการเป่าลมร้อนผ่านฮีตเตอร์ต่อเข้ากับตัวถัง เพื่อใช้ในการอบแห้ง

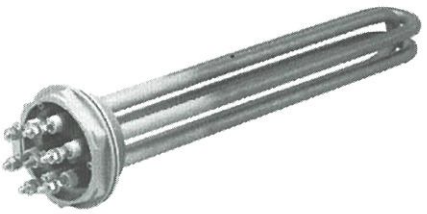


ภาพที่ 3.1 เครื่องผลิตข้าวงอก

3.1.2 ฮีตเตอร์

ใช้ฮีตเตอร์ ขนาด 4500 W จำนวน 1 ตัว สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิน้ำ (ดังแสดงในภาพที่ 3.2) โดยติดตั้งฮีตเตอร์ที่บริเวณด้านล่างของเครื่อง และมี Temperater control เป็นตัวควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์ สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิอากาศใช้ฮีตเตอร์ ขนาด 3000 W โดยจะใช้โบวเวอร์ในการเป่าลมผ่านฮีตเตอร์ เพื่อใช้ในการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

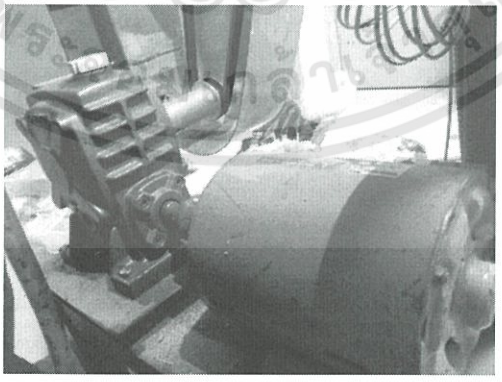


ภาพที่ 3.2 ฮีตเตอร์สำหรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำ

3.1.3 ชุดขับเคลื่อนถังตะแกรงทรงกระบอก

ใช้มอเตอร์ กำลังขับ 1440 รอบ/นาที เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน โดยส่งกำลังผ่านสายพาน มูเล่ย์และเพลาขนาด 1 inch (ดังแสดงในภาพที่ 3.3) เพื่อขับถังทรงกระบอก และใช้เกียร์ทดในการทดรอบ (ดังแสดงในภาพที่ 3.4) ซึ่งจะทำให้เพลาขับถังทรงกระบอกที่ความเร็ว 6 รอบ/นาที

ภาพที่ 3.3 สายพานส่งกำลัง



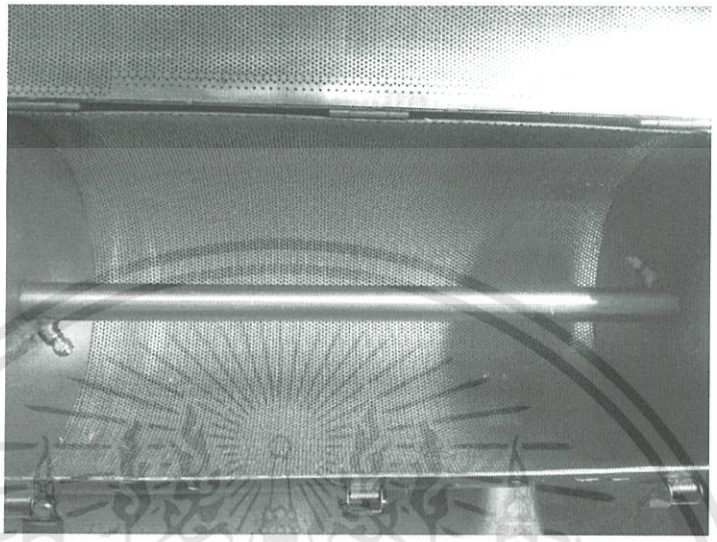
ภาพที่ 3.4 เกียร์ทดรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.1.4 ชุดสเปรย์น้ำ

ใช้หัวสเปรย์จำนวน 2 หัว (ดังแสดงในภาพที่ 3.5) โดยติดตั้งบริเวณเพลากลวงเพื่อช่วยให้สเปรย์น้ำให้ทั่วถึงข้าวมากขึ้น และใช้ปั๊มน้ำที่ความเร็วรอบ 2850 รอบ/นาที ในการดูดน้ำขึ้นมาสเปรย์ข้าว



ภาพที่ 3.5 ชุดสเปรย์น้ำ

3.1.5 ฉนวน

ใช้ฉนวนหนา 5 mm เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากเครื่องออกสู่ภายนอกถัง (ดังแสดงในภาพที่ 3.6)

ภาพที่ 3.6 ฉนวนหนา 5 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

145337

3.1.6 เทอร์โมสตัท (Thermostats)

ติดตั้งเทอร์โมสตัท (Thermostats) สำหรับควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์ในการเพิ่มอุณหภูมิ (ดังแสดงในภาพที่ 3.7)

ภาพที่ 3.7 เทอร์โมสตัท

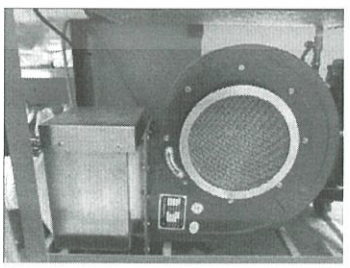
3.1.7 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) Type K สำหรับวัดอุณหภูมิ (ดังแสดงในภาพที่ 3.8)

ภาพที่ 3.8 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

3.1.8 โบว์เวอร์ (Blower)

ใช้โบว์เวอร์ในการเป่าลมผ่านฮีตเตอร์ (ดังแสดงในภาพที่ 3.9) ไปตามท่อซึ่งต่อเข้ากับตัวถังทำให้ได้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิตามต้องการ ซึ่งลมร้อนจะถูกนำไปใช้ในการอบแห้ง

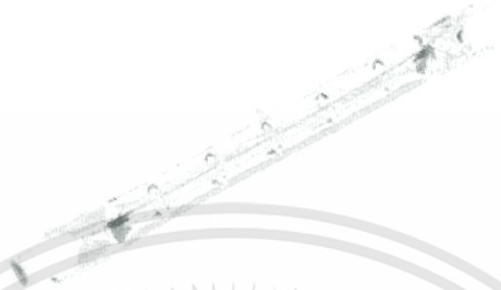


ภาพที่ 3.9 โบว์เวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

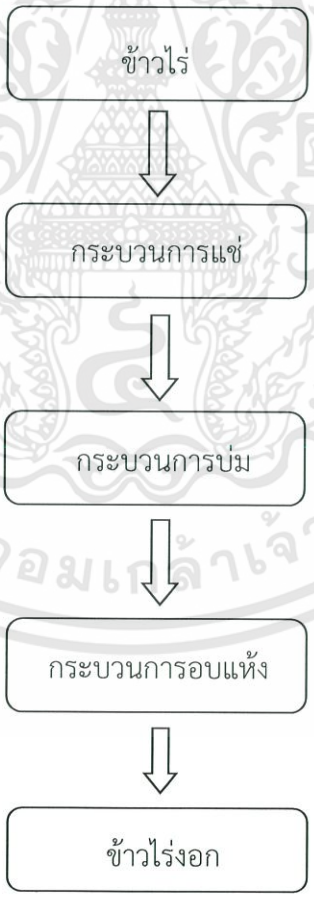
3.1.9 หลอดฮาโลเจน (Halogen lamp)

หลอดฮาโลเจน เป็นหลอดไฟชนิดมีไส้ (ดังแสดงในภาพที่ 3.10) ประกอบด้วยไส้ทังสเตนที่ถูกปิดผนึกอยู่ภายในหลอดแก้ว ซึ่งเป็นหลอดที่เต็มไปด้วยก๊าซเฉื่อยและสารฮาโลเจน ไส้หลอดเรืองและส่องแสงพร้อมทั้งความร้อนออกมาได้เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 3.10 หลอดฮาโลเจน (Halogen lamp)

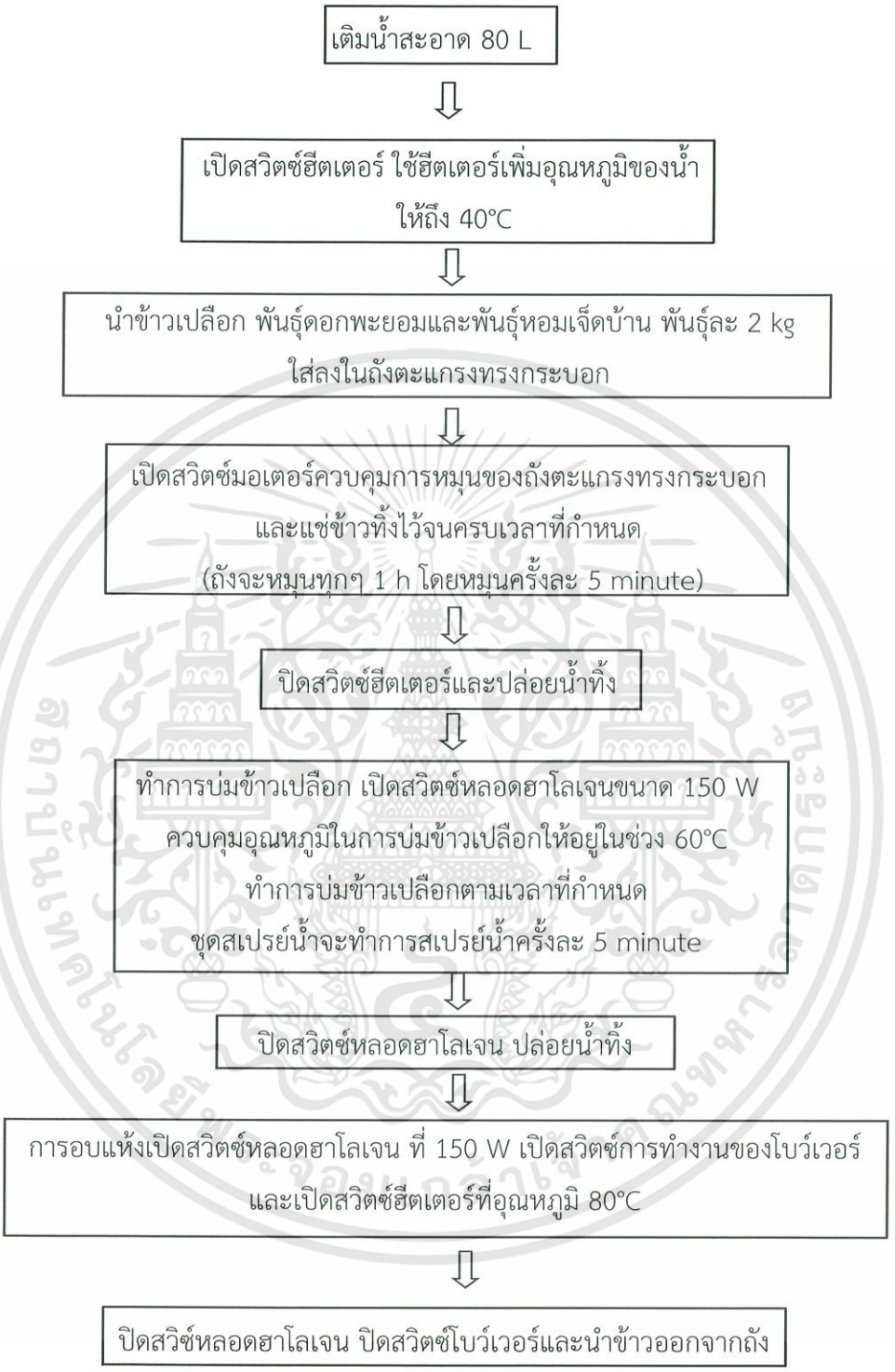
3.2 กระบวนการทำงานของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก



ภาพที่ 3.11 กระบวนการทำงานของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

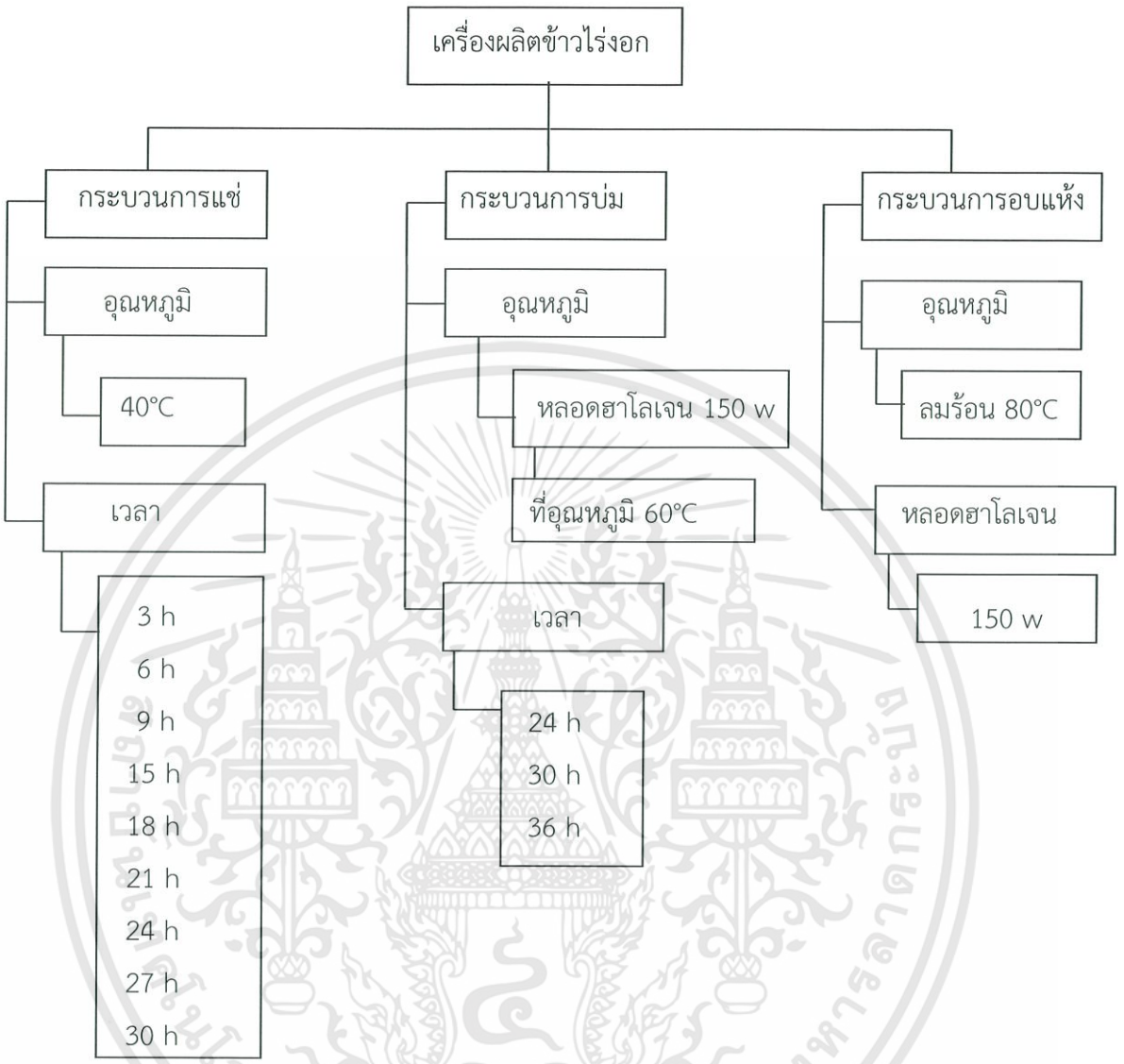
3.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก



ภาพที่ 3.12 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แผนผังการทดลอง



ภาพที่ 3.13 แผนผังการทดลอง

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

3.5.1 การหาร้อยละการงอกของข้าว

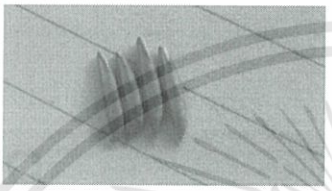
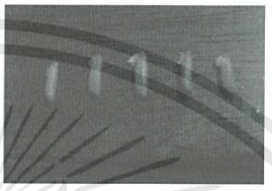
ในการทดสอบหาร้อยละการงอกของข้าวไร่ที่ได้รับจากเครื่องผลิตข้าวไร่งอก มีขั้นตอนดังนี้

1) นำข้าวเปลือกพันธุ์ดอกพะยอมและพันธุ์หอมเจ็ดบ้าน (ดังแสดงในภาพที่ 3.14ก) แช่น้ำที่อุณหภูมิ 40°C และใช้เวลาในการแช่ข้าวเปลือก 3 6 9 15 18 21 24 27 และ 30 h
2) เมื่อครบตามช่วงเวลาดังกล่าวแล้วปล่อยน้ำทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการบ่มข้าวเปลือก ใช้หลอดฮาโลเจนขนาด 150 W ในการบ่มที่อุณหภูมิ 50-60°C และใช้เวลาในการบ่มข้าวเปลือก 3 ช่วงเวลา คือ 24 30 และ 36 h ชุดสเปรย์น้ำจะทำการสเปรย์น้ำทุกๆ 3 4 และ 6 h ครั้งละ 5 minute ซึ่งตะแกรงจะหมุน ทุกๆ 1 h ครั้งละ 5 minute

4) ทำการนับจำนวนเมล็ดข้าวที่งอกเพื่อคำนวณหาร้อยละการงอก โดยการสุ่มเมล็ดข้าวมาจำนวน 300 เมล็ด และแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 100 เมล็ด นับจำนวนเมล็ดข้าวที่งอกในแต่ละกลุ่ม โดยเมล็ดข้าวที่งอกจะปรากฏตุ่มขนาดเล็กประมาณ 2-5 mm ออกมาจากบริเวณจมูกข้าว (ดังแสดงในภาพที่ 3.14ข) นำร้อยละการงอกของข้าวในแต่ละกลุ่มมาหาเป็นค่าเฉลี่ย

ก)  ข) 

ภาพที่ 3.14 ข้าวไร่ ก) ก่อนการงอก และ ข) หลังการงอก

3.5.2 การหาความชื้นเริ่มต้นของข้าวหลังจากผ่านกระบวนการต่าง ๆ

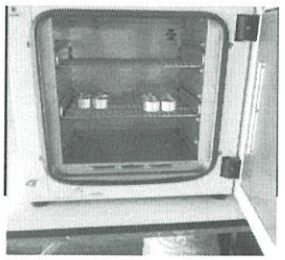
การหาความชื้นของข้าวสามารถทำได้ดังนี้

1) นำข้าวเปลือกมาใส่ Moisture can ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนัก (ดังแสดงในภาพที่ 3.15)

ภาพที่ 3.15 การชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก

2) จากนั้นนำข้าวเปลือกไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 72 h นำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนัก (ดังแสดงในภาพที่ 3.16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.16 การนำ moisture can เข้าตู้อบ

3) นำน้ำหนักข้าวเปลือกก่อนและหลังการอบแห้งมาคำนวณหาความชื้น

3.5.3 การหาปริมาณจุลินทรีย์ในข้าวงอก

การหาปริมาณจุลินทรีย์ในข้าวไร่งอกก่อนและหลังกระบวนการผลิตข้าวไร่งอก สามารถทำได้ดังนี้

1) เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar 15 g และน้ำกลั่น 500 ml (ดังแสดงในภาพที่ 3.17)

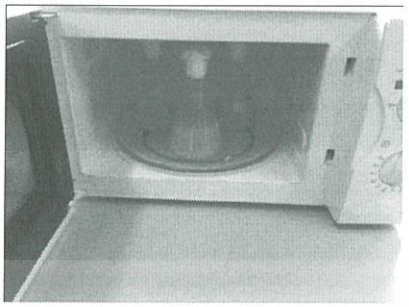
ภาพที่ 3.17 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

2) ผสมอาหารและน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ คนให้ละลาย (ดังแสดงในภาพที่ 3.18)

ภาพที่ 3.18 การผสมอาหารในบีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) นำไปอบในไมโครเวฟ 450 W เป็นเวลา 4 minute (ดังแสดงในภาพที่ 3.19)



ภาพที่ 3.19 การนำอาหารเลี้ยงเชื้อไปอบในไมโครเวฟ

4) นำออกจากไมโครเวฟ เพื่อคนให้วุ้นกระจายตัวไม่ตกตะกอน

5) นำไปอบในไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

6) นำออกจากไมโครเวฟและเทลง Flask ปิดสำลีให้สนิทและหุ้มด้วยฟรอยด์ปิดไว้ (ดังแสดงในภาพที่ 3.20)

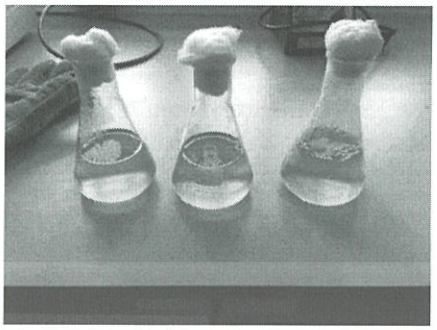
ภาพที่ 3.20 Flask ที่ปิดสำสีที่ฝาและหุ้มด้วยฟรอยด์

7) นำไปนึ่งในหม้อนึ่งความดัน 15 minute (ดังแสดงในภาพที่ 3.21)

ภาพที่ 3.21 การนึ่งอาหารในหม้อนึ่งความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) นำอาหารออกมาตั้งให้อุณหภูมิลดลง (ดังแสดงในภาพที่ 3.22)

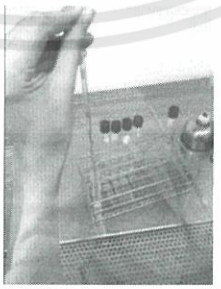


ภาพที่ 3.22 อาหาร Nutrient agar หลังจากผ่านการนึ่ง

9) นำข้าวงอกมาบดให้ละเอียดและผสมกับน้ำกลั่น ในอัตราส่วนข้าวงอกบด 1 g ต่อน้ำกลั่น 9 ml (ดังแสดงในภาพที่ 3.23)

ภาพที่ 3.23 ข้าวงอกบด

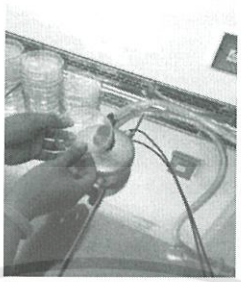
10) นำข้าวที่บด 1 ml ผสมน้ำกลั่น 9 ml เมื่อผสมกันแล้ว ดูดขึ้นมา 1 ml แล้วใส่ในหลอดทดลอง เพื่อเจือจางความเข้มข้นและแยกโคโลนีบริสุทธิ์ (ดังแสดงในภาพที่ 3.24)



ภาพที่ 3.24 การเจือจางความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) ลน Plate และเทอาหารใส่ Plate หนา 1 ml ภายในตู้ปลอดเชื้อ และรอให้อาหารแข็งจึงทำการปิดฝา Plate (ดังแสดงในภาพที่ 3.25)



ภาพที่ 3.25 การลน Plate ภายในตู้ปลอดเชื้อ

12) นำข้าวงอกที่บด 1 ml ผสมน้ำกลั่น 9 ml ที่เจือจางความเข้มข้นแล้วเทลงใน Plate ที่มีอาหารที่แข็งแล้ว (ดังแสดงในภาพที่ 3.26)

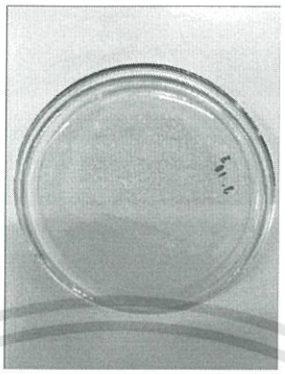
ภาพที่ 3.26 การเทข้าวงอกที่บดลงใน Plate

13) นำเข้าตู้บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 h (ดังแสดงในภาพที่ 3.27)

ภาพที่ 3.27 การบ่มเชื้อจุลินทรีย์ภายในตู้บ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14) นับจำนวนโคโลนีเดี่ยวโดยการวาง Plate บนเครื่องนับโคโลนีและบันทึกผล (ดังแสดงในภาพที่ 3.28)



ภาพที่ 3.28 Plate หลังจากผ่านกระบวนการบ่ม

3.5.4 วิธีการหาปริมาณสาร GABA

การหาปริมาณสาร GABA ในเมล็ดข้าวงอกก่อนและหลังผ่านกระบวนการงอก ใช้วิธี High Performance Liquid Chromagraphy (HPLC) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) นำตัวอย่างเมล็ดข้าวงอกมาบดด้วย Ultra centrifugal mill
2) นำตัวอย่างเมล็ดข้าวงอกที่ผ่านการบดมาร่อน ให้ได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 125 µm นำข้าวงอกที่ผ่านการร่อนมา 0.5 g ผสมกับน้ำ 1.8 ml และ Sulfosalicylic acid 200 µl ผสมเป็นสารละลายให้เข้ากันอย่างสมบูรณ์ด้วยเครื่องผสม
3) นำสารละลายที่ได้ไปเข้าเครื่องแยกสารด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 4200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 minute
4) นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่อง HPLC

3.5.5 วิธีการหาปริมาณวิตามินอี

การหาปริมาณวิตามินอีในเมล็ดข้าวงอกก่อนและหลังผ่านกระบวนการงอก ใช้วิธี liquid chromatography diode array (LC-DAD) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) บดตัวอยางขาวงอกจำนวน 10 g
2) สกัดดวย Ethanol ปริมาตร 100 ml เปนเวลา 30 minute ที่อุณหภูมิหอง
3) กรองดวยกระดาษกรองแลว Evacuate ภายใตอุณหภูมิไมเกิน 40°C
4) ปรับปริมาตรสุดทายดวย Hexane (2 ml)
5) กรองผานตัวกรองเมมเบรน (0.45 µm) แลวนำไปวิเคราะหดวย liquid chromatography diode array (LC-DAD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6 วิธีการหาปริมาณเหล็ก

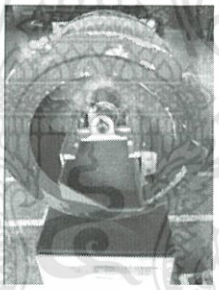
การหาปริมาณเหล็กในเมล็ดข้าวงอกก่อนและหลังผ่านกระบวนการงอก ใช้วิธี Flame atomic absorption spectrophotometer โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) บดข้าวงอกให้ละเอียดด้วยโกรงบดตัวอยาง
2) นำตัวอยาง 5 g ไปเผาดวย Muffle furnace ที่ 450°C นาน 24 h
3) หยดกรดไนตริกลงไปเล็กน้อย และนำไปเผาที่สภาวะเดิม นาน 24 h จนเผาไหมสมบูรณ์ ไดเถาสีขาวเทา
4) ทิ้งใหตัวอยางเย็นลงแลวเติมสารละลายกรดไฮโดรครอริกเขมขน 6 โมลาร ปริมาตร 6 ml และเติม Deionized ปริมาณ 3 ml
5) นำไปใหความรอน โดยสังเกตให้ Deionized ระเหยหมด
6) นำสารละลายที่ผานการระเหย ปรับปริมาตรใหเปน 100 ml ด้วย Deionized
7) นำสารละลายไดไปวิเคราะหดวย Flame atomic absorption spectrophotometer

3.5.7 วิธีการทดลองหาร้อยละการแตกหักของข้าวไร่งอก [28]

ขั้นตอนการหาร้อยละการแตกของข้าวไร่งอก สามารถทำได้ดังนี้

1) เสียบปลั๊กไฟเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าว (ดังแสดงในภาพที่ 3.29)



ภาพที่ 3.29 เครื่องคัดแยกเมล็ดข้าว

2) ใช้มือหมุนเกลียวเพื่อเปิดช่องใส่ข้าวแล้วทำการใส่ข้าวลงไปและใส่ข้าวเสร็จให้ทำการหมุนเกลียวเพื่อล็อคช่องใส่ข้าวให้สนิท
3) ใส่ถาดรองเมล็ดข้าวหักที่ช่องสำหรับใส่ถาด
4) ใช้มือจับถาดรองเมล็ดข้าวหักไว้ ก่อนกดปุ่มสวิตซ์ ON ให้เครื่องทำงาน
5) ทำการจับเวลาประมาณ 5 minute ก่อนกดปุ่มสวิตซ์ OFF ให้เครื่องหยุดทำงาน
6) เมื่อเครื่องหยุดทำงานให้ใช้แปรงขัดเศษข้าวหักที่ยังติดค้างลงมาใส่ถาดรองก่อนนำถาดออกจากเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ให้ทำการหมุนเกลียวออกเพื่อเปิดช่องใส่ข้าวและนำถาดมารองรับเมล็ดข้าวเต็มจากช่องใส่ข้าว

8) เมื่อทำการคัดแยกเมล็ดข้าวเสร็จแล้ว ให้ใช้แปรงปัดเศษข้าวหรือสิ่งสกปรกอื่นๆ ออกจากเครื่องให้หมดก่อนจำทำการคัดแยกเมล็ดข้าวตัวอย่างอื่นต่อไป

9) เมื่อทำการหมุนเกลียวออกเพื่อเปิดช่องใส่ข้าวภาชนะและนำถาดมารองรับเมล็ดข้าวเต็มจากช่องใส่ข้าว

10) นำเมล็ดข้าวที่ผ่านการใช้เครื่องคัดแยกแล้วทั้งเมล็ดข้าวหักและเมล็ดข้าวเต็มไปชั่งน้ำหนักแล้วทำการจดบันทึกข้อมูล

11) นำน้ำหนักของเมล็ดข้าวที่จดบันทึกไว้มาคำนวณหาร้อยละการแตกหัก โดยใช้สมการ (13)

ร้อยละการแตกหัก = (น้ำหนักเมล็ดข้าวที่แตกหัก/น้ำหนักทั้งหมด)×100 (13)

3.5.8 การตรวจวัดสีของเมล็ดข้าว

นำเมล็ดข้าวมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR-400 (ดังแสดงในภาพที่ 3.30) ซึ่งใช้ Illminant D65 และ 2° observer โดยแสดงค่าสีในระบบ CIE L* a* b* ซึ่ง ค่า L*แสดงถึงค่าความสว่าง ค่า +a*แสดงถึงค่าสีแดง และค่า +b* แสดงถึงค่าสีเหลือง ดังแสดงในแผนภูมิในภาพที่ 3.31 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) สามารถคำนวณได้จาก สมการ (14)

$$\Delta E = (\Delta L^{*}2 + \Delta a^{*} + \Delta b^{*}2)/2 \quad (14)$$

เมื่อ ความแตกตางของค่าสว่าง (ΔL*) คำนวณจาก สมการ (15)

$$\Delta L^{*} = L^{*}(\text{ตัวอย่าง}) - L^{*}(\text{ข้าวขัดขาว}) \quad (15)$$

ความแตกต่างของค่าสีแดง (Δa*) คำนวณจาก สมการ (16)

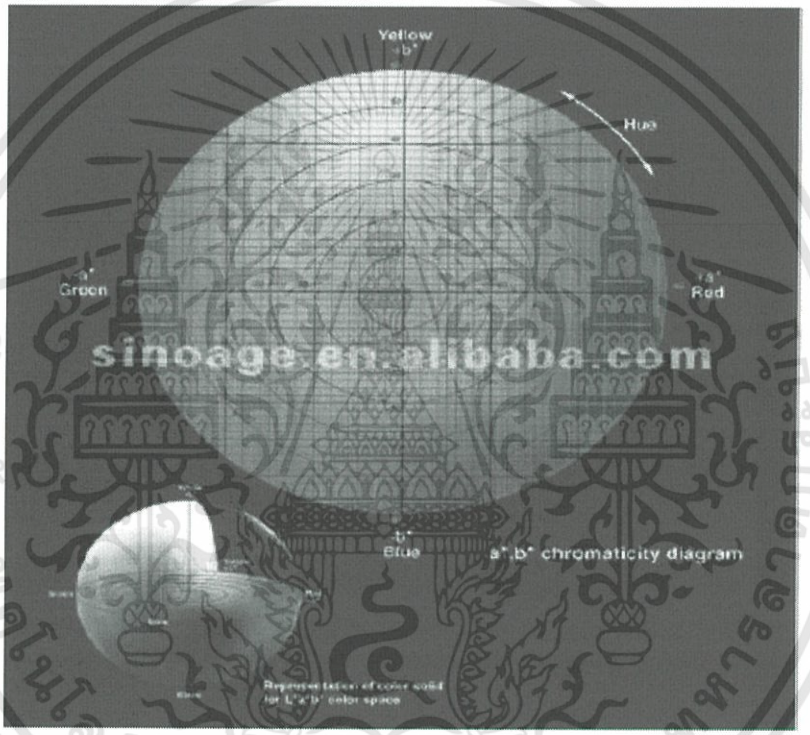
$$\Delta a^{*} = a^{*}(\text{ตัวอย่าง}) - a^{*}(\text{ข้าวขัดขาว}) \quad (16)$$

ความแตกตางของค่าสีเหลือง (Δb*) คำนวณจาก สมการ (17)

$$\Delta b^{*} = b^{*}(\text{ตัวอย่าง}) - b^{*}(\text{ข้าวขัดขาว}) \quad (17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.30 เครื่องวัดสี Konica Minolta Chroma Meter CR-400



ภาพที่ 3.31 แผนภูมิสี

ขั้นตอนและวิธีการตรวจวัดสีของข้าวเปลือก มีดังนี้

1) เปิดช่องใส่แบตเตอรี่ และใช้แบตเตอรรี่จำนวน 4 ก้อน
2) ทำการ Calibrate กับแผ่น Calibrate สีขาว ก่อนใช้งานทุกครั้ง
3) นำเมล็ดข้าวที่ได้จากเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าว มาวางบนแผ่นอะคริลิคใสแล้วนำเครื่องวัดสีมาวัดค่าสี หลังจากนั้นทำการจดบันทึกค่าที่แสดงบนหน้าจอเครื่อง ได้แก่ ค่า L* a* และ b*
4) นำเมล็ดข้าวกล้องงอกหอมะลิที่วางจำหน่ายในท้องตลาดมาวัดสีในลักษณะเดียวกันกับข้อที่ 3) เพื่อนำมาเปรียบเทียบสีของเมล็ดข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ทำการวัดสีตามข้อที่ 3) ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ จนครบทุกตัวอย่างแล้วทำการจดบันทึกข้อมูล

6) เมื่อได้ค่า L* a* และ b* แล้ว นำมาหาค่าเฉลี่ย

3.6 แบบสำรวจ [29]

แบบสำรวจ คือ แบบที่ใช้สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลโดยตรง เช่น การสัมภาษณ์จากผู้ให้ข้อมูล ณ สถานที่นัดหมายผู้ให้ข้อมูลกับผู้เก็บข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ เป็นข้อมูลที่แสดงคุณลักษณะซึ่งไม่สามารถวัดค่าออกมาเป็นตัวเลขได้โดยตรง แต่สามารถวัดออกมาในรูปจำนวนหรือความถี่ของข้อมูลลักษณะนั้นๆ

ข้อดีของการใช้แบบสำรวจ

1) การสร้างแบบสำรวจทำได้ง่าย

2) เสียเวลาในการเก็บข้อมูลน้อย

3) คุณภาพของข้อมูลค่อนข้างสูงในด้านความถูกต้องเชื่อถือได้

4) ได้รับข้อมูลที่ตอบรับครบถ้วน

ข้อเสียของการใช้แบบสำรวจ

1) เสียค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูลมาก

2) ผู้ให้ข้อมูลขาดความเป็นอิสระในการตอบแบบสำรวจ

3.6.1 วิธีการสำรวจ

3.6.1.1 คุณภาพที่ใช้สำรวจ

- กลิ่นของเมล็ดข้าวงอก
- สีของเมล็ดข้าวงอก
- เนื้อสัมผัสของข้าวงอก (ความแข็ง)

3.6.1.2 วิธีการสร้างแบบสำรวจ

1) กำหนดส่วนประกอบของแบบสำรวจที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2) กำหนดคำถามที่จำเป็นต้องถามในแต่ละส่วนประกอบ

3) ร่างแบบสอบถามตามคำถามที่จำเป็นต้องถามในแต่ละส่วนประกอบ

4) ทดสอบถามที่ร่างขึ้นกับตัวอย่างกลุ่มเป้าหมายจำนวนประมาณ 50 คน

5) ปรับปรุงแบบสอบถามที่จะนำไปใช้ทดสอบให้มีความครบถ้วนสมบูรณ์มากที่สุดก่อนที่จะนำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูล

3.6.2 เกณฑ์การให้คะแนน

แบบสำรวจ (ดังแสดงในภาคผนวก) ถูกนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อคุณภาพของข้าวไร่งอกในด้านกลิ่น สี และเนื้อสัมผัส หลังจากนั้นจะนำข้อมูลจากแบบสำรวจมาประเมินเป็นคะแนน โดยคะแนนที่ประเมินออกมาได้จะบ่งชี้ถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคดังนี้

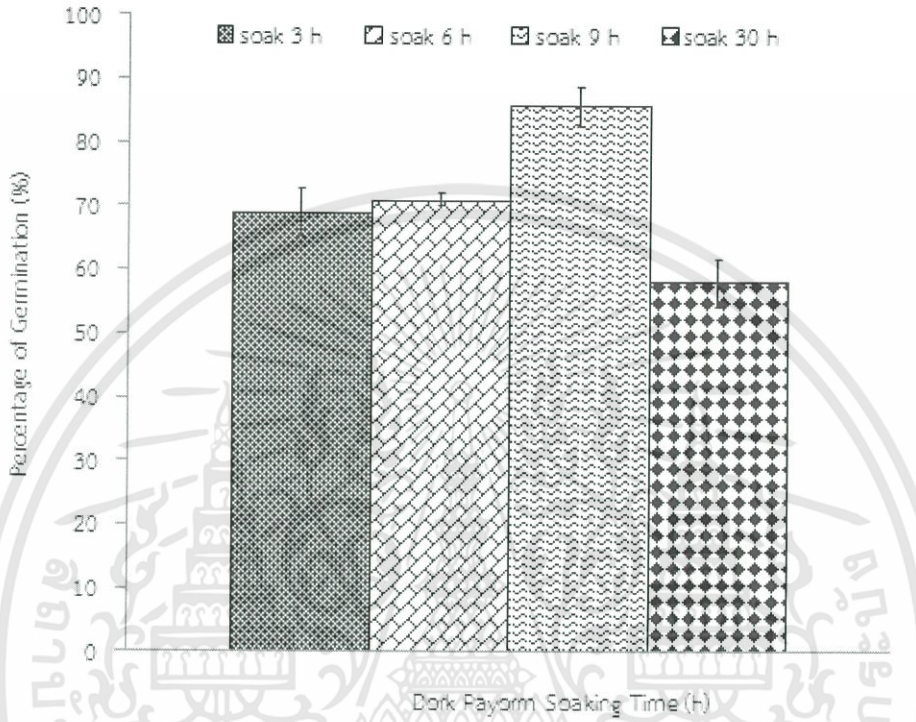
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ยของคะแนน 5.00-4.01 แสดงถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคในระดับ ดีมาก
ค่าเฉลี่ยของคะแนน 4.00-3.01 แสดงถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคในระดับ ดี
ค่าเฉลี่ยของคะแนน 3.00-2.01 แสดงถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคในระดับ พอใช้
ค่าเฉลี่ยของคะแนน 2.00-1.01 แสดงถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคในระดับ ควรปรับปรุง
ค่าเฉลี่ยของคะแนน 1.00-0.00 แสดงถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคในระดับ ควรปรับปรุงอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลกระทบของเวลาการแช่และเวลาการบ่มที่ส่งผลต่อร้อยละการงอกของข้าวไร่



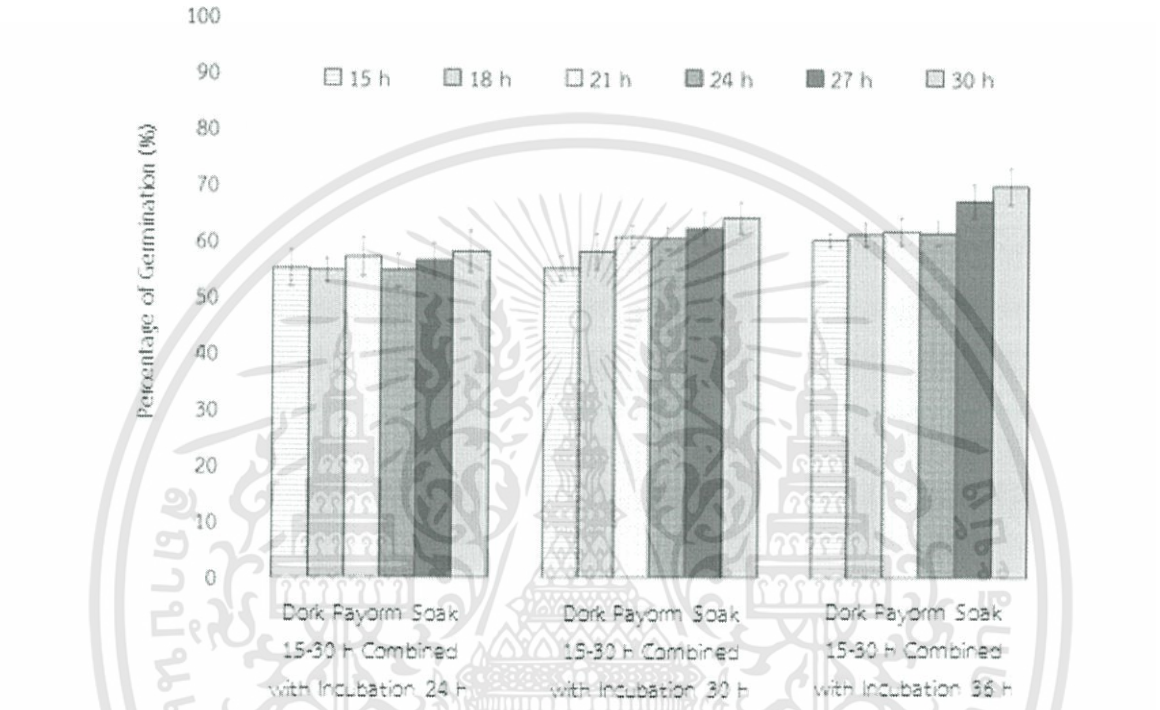
ภาพที่ 4.1 ผลกระทบของเวลาการแช่ข้าวที่ส่งผลต่อร้อยละการงอกของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอม

จากภาพที่ 4.1 แสดงร้อยละการงอกของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมจากการเพาะงอกด้วยเครื่องผลิตข้าวไร่งอก โดยเพาะงอกด้วยการแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิ 40°C ที่เวลา 3 6 9 และ 30 h ร่วมกับการบ่มที่อุณหภูมิ 50-60°C เป็นเวลา 24 h ผลการศึกษาพบว่า ร้อยละการงอกของข้าวไร่เพิ่มขึ้นตามเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาการแช่ 3-9 h ซึ่งมีร้อยละการงอกสูงสุดที่ 86 ที่เวลาการแช่ 9 h แต่เมื่อเพิ่มเวลาการแช่เป็น 30 h ร้อยละการงอกของข้าวไร่ลดลงเหลือ 58 ดังนั้นจึงทำการปรับเวลาการแช่ข้าวในช่วง 9 ถึง 30 h เป็น 15 18 21 24 27 เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงร้อยละการงอกในช่วงเวลาดังกล่าว รวมทั้งปรับเวลาการบ่มเป็น 24 30 และ 36 h เพื่อศึกษาผลกระทบของเวลาการบ่มต่อร้อยละการงอก โดยจะศึกษาร้อยละการงอกในข้าวสองสายพันธุ์ คือ พันธุ์ดอกพะยอม (Dork Payorm) และ หอมเจ็ดบ้าน (Hom Jedban)

จากภาพที่ 4.2 แสดงร้อยละการงอกของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในช่วงเวลาการแช่ 15-30 h ร่วมกับการบ่ม 24 h ซึ่งมีร้อยละการงอกอยู่ในช่วง 54-58 เมื่อปรับเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 30 และ 36 h ร้อยละการงอกของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 55-64 และร้อยละ 60-69 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่เวลาการแช่เท่ากัน การปรับเพิ่มเวลาการบ่มส่งผลให้ร้อยละการงอกของข้าวไร่เพิ่มขึ้น โดยที่เวลาการแช่ 30 h ร่วมกับเวลาการบ่ม 36 h ให้ร้อยละการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งอกของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมสูงสุดเท่ากับ 69 นอกจากนี้ปริมาณร้อยละการงอกในช่วงเวลาการแช่ 15-30 h มีค่าสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 69 ซึ่งต่ำกว่าที่ช่วงเวลาการแช่ 3-9 h ที่มีร้อยละการงอกสูงสุดเท่ากับ ผลร้อยละการงอกดังกล่าวอาจจะเนื่องมาจากความเก่าของข้าวหลังการเก็บเกี่ยว โดยงานวิจัยของ Srisang et al. [30] ได้รายงานถึงผลกระทบของเวลาการเก็บข้าวที่ส่งผลต่อร้อยละการงอกของข้าว โดยพบว่าข้าวหอมมะลิ105 มีร้อยละการงอกข้าวเหลือเพียงร้อยละ 50 เมื่อเก็บข้าวไว้นาน 10 เดือนก่อนนำมาหาร้อยละการงอก

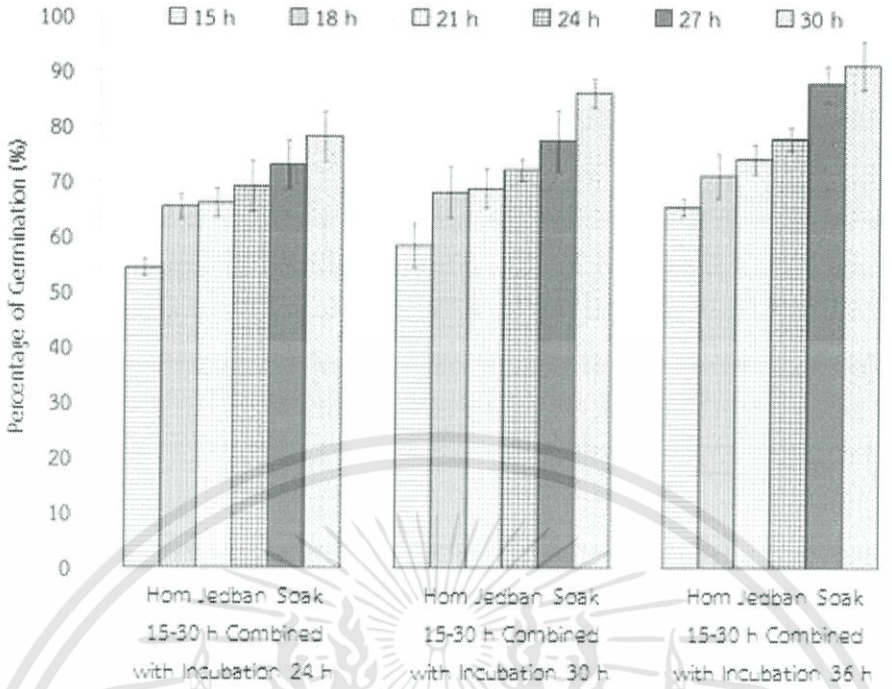


ภาพที่ 4.2 ผลกระทบของเวลาการแช่และบ่มข้าวที่ส่งผลต่อร้อยละการงอกของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอม

จากภาพที่ 4.3 เมื่อพิจารณาที่เวลาการแช่และเวลาการบ่มเท่ากัน ร้อยละการงอกของข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้านสูงกว่าข้าวพันธุ์ดอกพะยอม ยกเว้นที่เวลาการแช่ 15 h ร่วมกับเวลาการบ่ม 24 h โดยเฉพาะเมื่อแช่ข้าวเป็นเวลา 30 h ร่วมกับการบ่ม 36 h ข้าวพันธุ์หอมเจ็ดบ้านมีร้อยละการงอกเพิ่มสูงสุดถึง 91 ซึ่งสูงกว่าร้อยละการงอกสูงสุดของข้าวพันธุ์ดอกพะยอม 1.3 เท่า ในทุกเวลาการบ่มที่ทำการศึกษาเมื่อเพิ่มเวลาการแช่มากขึ้น ร้อยละการงอกของข้าวพันธุ์หอมเจ็ดบ้านเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ดอกพะยอม โดยในช่วงเวลาการแช่ 15-30 hและเวลาการบ่ม 24 30 และ 36 h มีร้อยละการงอกของข้าวพันธุ์หอมเจ็ดบ้านอยู่ในช่วงร้อยละ 54-78 58-86 และ 65-91 ตามลำดับ

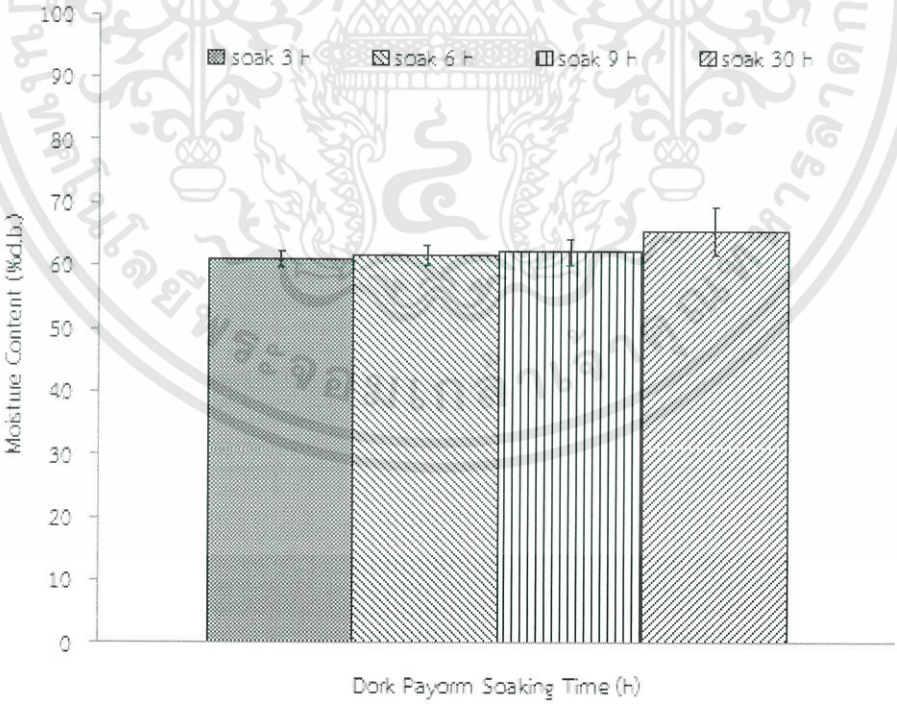
ร้อยละการงอกของข้าวไร่ทั้ง 2 พันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาในการแช่และการบ่ม ร้อยละการงอกของข้าวที่แตกต่างกันหลังผ่านกระบวนการแช่และการบ่มอาจจะเป็นผลมาจากพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ผลกระทบของเวลาการแช่และบ่มข้าวที่ส่งผลต่อร้อยละการงอกของข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้าน

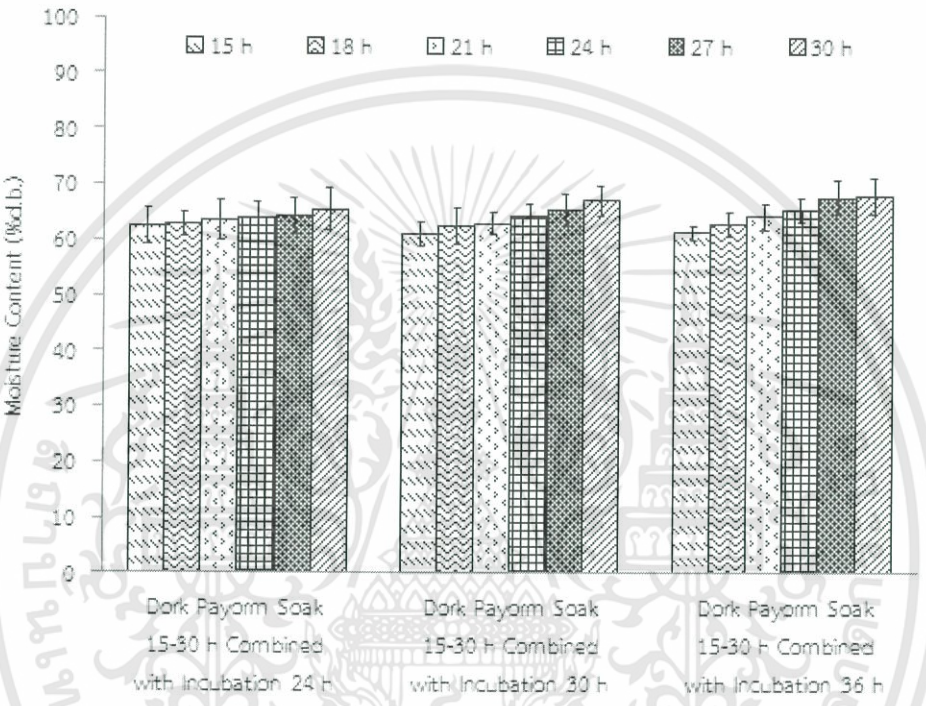
4.2 ผลกระทบของเวลาการแช่และเวลาการบ่มที่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นข้าวไร่



ภาพที่ 4.4 ผลกระทบของเวลาการแช่ข้าวที่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.4 ปริมาณความชื้นของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาการแช่ โดยมีปริมาณความชื้นมากที่สุดเท่ากับ 65% (d.b.) ที่เวลาการแช่ 30 h ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นนี้คิดเป็นเปอร์เซ็นการเพิ่มขึ้นได้ประมาณ 5% เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาการแช่ 3-9 h ที่มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเพียง 0.8-1% ดังนั้นจึงทำการปรับเวลาการแช่ในช่วง 9-30 h เป็น 15 18 21 24 27 เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของข้าวไร่ในช่วงเวลาดังกล่าว รวมทั้งศึกษาผลกระทบของเวลาการบ่มต่อปริมาณความชื้น โดยใช้เวลาการบ่ม 24 30 และ 36 h การศึกษาผลกระทบของเวลาการแช่และเวลาการบ่มต่อปริมาณความชื้นนี้ทดลองในข้าวไร่ 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ดอกพะยอมและพันธุ์หอมเจ็ดบ้าน



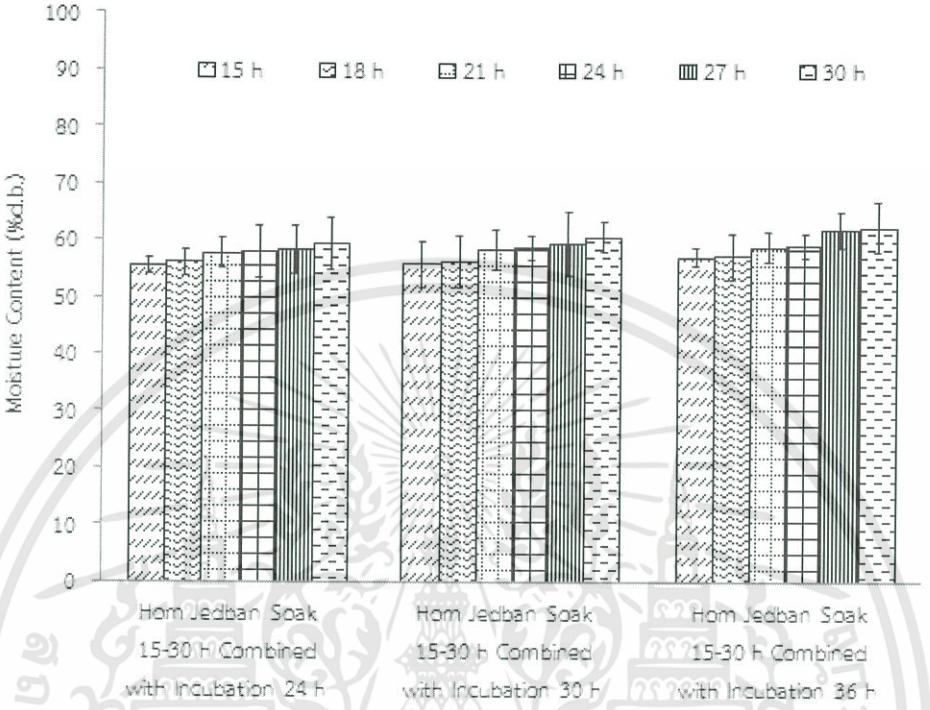
ภาพที่ 4.5 ปริมาณความชื้นของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมหลังการแช่และการบ่ม

จากภาพที่ 4.5 ปริมาณความชื้นของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาการแช่ในทุกเวลาการบ่มที่ทำการศึกษา แต่การเพิ่มขึ้นดังกล่าวไม่แสดงความแตกต่างอย่างเด่นชัดเมื่อพิจารณาจากค่า Standard deviation ของผลการทดลอง โดยปริมาณความชื้นของข้าวหลังการแช่ 15-30 h และการบ่ม 24 30 และ 36 h อยู่ในช่วง 62.43-65.42 61.02-66.99 และ 61.21-67.89% (d.b.) ตามลำดับ เมื่อเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นสูงสุดของข้าวเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณความชื้นสูงสุดเป็น 65.42 66.99 และ 67.89% (d.b.) ที่เวลาการแช่ 30 h และเวลาการบ่ม 24 30 และ 36 h ตามลำดับ

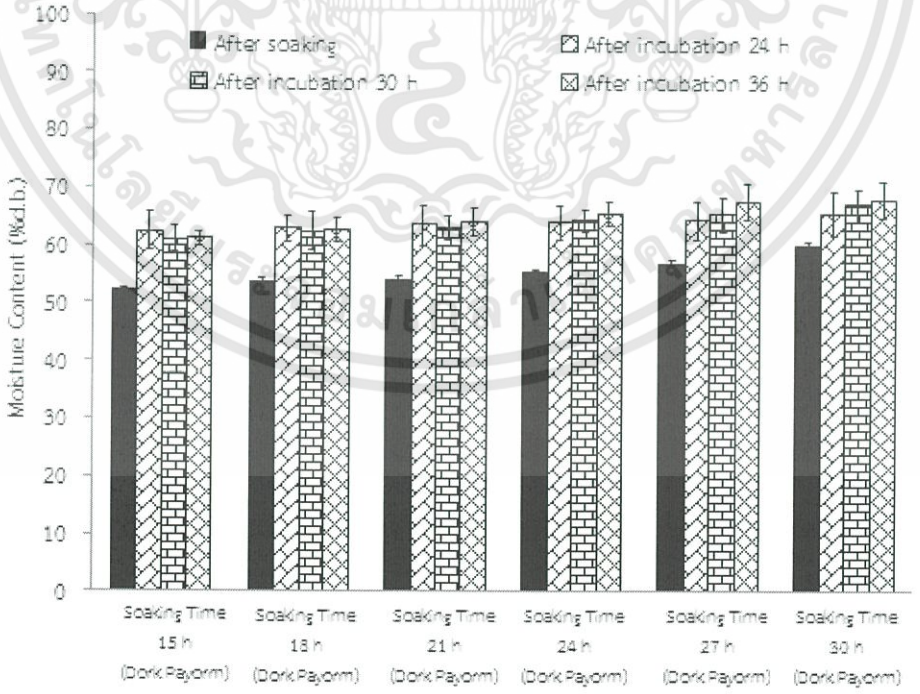
จากภาพที่ 4.6 เมื่อพิจารณาที่เวลาการแช่และเวลาการบ่มเท่ากัน ปริมาณความชื้นของข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้านต่ำกว่าข้าวพันธุ์ดอกพะยอม โดยปริมาณความชื้นของข้าวหลังการแช่ 15-30 h และการบ่ม 24 30 และ 36 h อยู่ในช่วง 55.45-59.32 55.80-60.48 และ 56.96-62.21% (d.b.) ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณความชื้นสูงสุดของข้าวพันธุ์หอมเจ็ดบ้านเพิ่มขึ้นตามเวลาการบ่มเช่นเดียวกับในข้าวพันธุ์ดอกพะยอมเพียงแต่มีปริมาณความชื้นสูงสุดในข้าวต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นหลังการแช่กับหลังการบ่มดังแสดงในภาพที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าปริมาณความชื้นหลังการบ่มในข้าวพันธุ์ดอกพะยอมและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธุ์หอมเจ็ดบ้านมีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นหลังการแช่ โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นนี้คิดเป็นเปอร์เซ็นการเพิ่มขึ้นของความชื้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นหลังการแช่ได้ประมาณ 9-19% สำหรับข้าวพันธุ์ดอกพะยอม และ 10-20% สำหรับข้าวพันธุ์หอมเจ็ดบ้าน

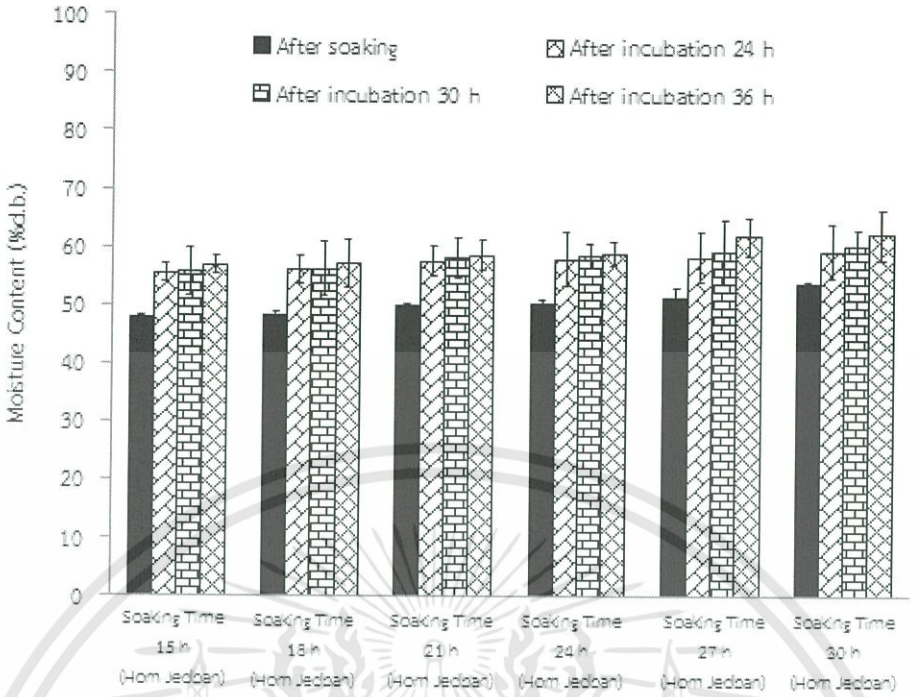


ภาพที่ 4.6 ความชื้นของข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้านหลังการแช่และการบ่ม



ภาพที่ 4.7 ปริมาณความชื้นของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมหลังการแช่เปรียบเทียบกับหลังการบ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



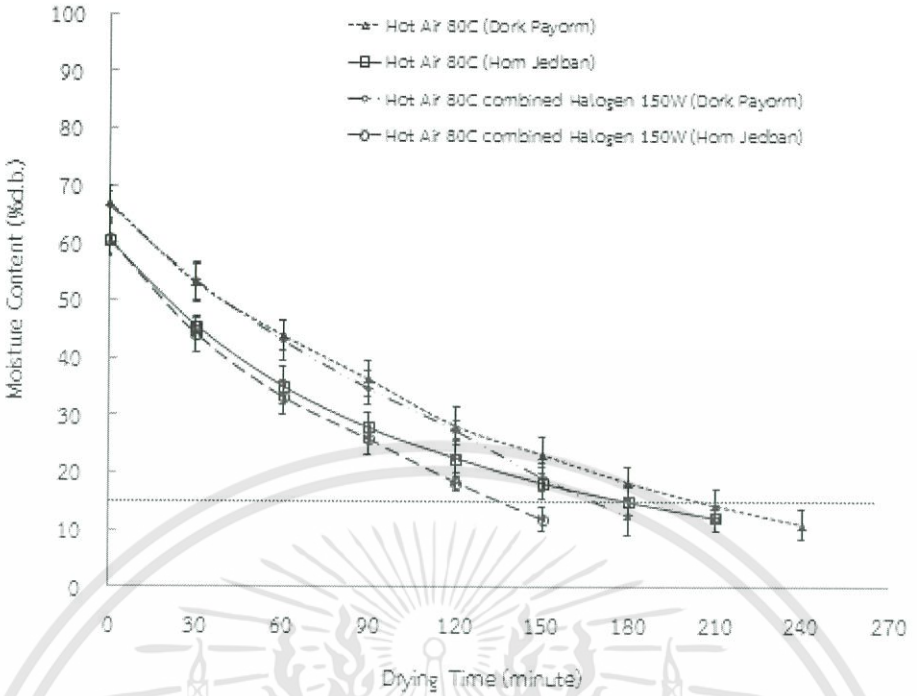
ภาพที่ 4.8 ปริมาณความชื้นของข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้านหลังการแช่เปรียบเทียบกับหลังการบ่ม

กระบวนการบ่มส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในข้าวไร่ทั้ง 2 พันธุ์อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแช่ ปริมาณความชื้นในข้าวไร่ทั้ง 2 พันธุ์แสดงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของเวลาการแช่และเวลาการบ่ม ปริมาณความชื้นที่ข้าวสามารถดูดกลืนไว้ได้แตกต่างกันตามพันธุ์ข้าว เวลาการบ่มส่งผลต่อปริมาณความชื้นสูงสุดในข้าวไร่ทั้ง 2 พันธุ์ และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณความชื้นร่วมกับผลของร้อยละการงอก พบว่า ข้าวพันธุ์หอมเจ็ดบ้านแม้จะมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าข้าวพันธุ์ดอกพะยอม แต่มีร้อยละการงอกที่สูงกว่า ซึ่งอาจบอกเป็นนัยว่าข้าวไร่แต่ละพันธุ์มีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดที่แตกต่างกัน

4.3 จลนศาสตร์การอบแห้งข้าวไร่งอก

ข้าวไร่ (Upland rice) หลังนำมาผ่านกระบวนการแช่และการบ่ม ทำให้เกิดการงอกของข้าวไร่กลายเป็นข้าวไร่งอก (Germinated upland rice) ซึ่งข้าวไร่งอกมีความชื้นสูงจึงจำเป็นต้องนำมาผ่านกระบวนการลดความชื้น โดยการศึกษานี้ใช้ชุดอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับหลอดฮาโลเจนขนาด 150 W ที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องผลิตข้าวไร่งอกในการอบแห้ง ข้าวไร่งอกที่เลือกนำมาอบแห้งใช้ข้าวไร่งอกที่มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด เพื่อทดสอบถึงประสิทธิภาพการอบแห้งสูงสุดของเครื่อง โดยเลือกข้าวไร่งอกที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 30 h ร่วมการบ่ม 36 h ทำให้ได้ข้าวไร่งอกที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนการอบแห้งประมาณ 66% (d.b.) สำหรับข้าวพันธุ์ดอกพะยอม และ 60% (d.b.) สำหรับข้าวพันธุ์หอมเจ็ดบ้าน ข้าวไร่งอกทั้ง 2 พันธุ์ จะถูกอบแห้งภายในเครื่องผลิตข้าวไร่งอกจนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือ 15% (d.b.) ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 จลนศาสตร์การอบแห้งข้าวไร่งอก

ภาพที่ 4.9 แสดงจลนศาสตร์การอบแห้งข้าวไร่งอก ในระหว่างการอบแห้งข้าวไร่งอกพันธุ์ดอกพะยอม ช่วง 60 นาทีแรกของการอบแห้ง การลดลงของความชื้นของข้าวใกล้เคียงกันไม่ว่าจะเป็นการอบแห้งด้วยอากาศร้อนหรืออบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน หลังจากนั้นข้าวไร่งอกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนจะมีการลดลงของปริมาณความชื้นเร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยในข้าวพันธุ์ดอกพะยอม ใช้เวลาประมาณ 165 นาที สำหรับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน และ 210 นาที สำหรับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน จึงจะทำให้ความชื้นของข้าวไร่งอกลดลงมาอยู่ในระดับที่เหมาะสม สำหรับในข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้าน แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในระหว่างการอบแห้งคล้ายกันกับข้าวพันธุ์ดอกพะยอม เพียงแต่ช่วงเวลาที่อัตราการลดลงของความชื้นของทั้ง 2 วิธี มีค่าใกล้เคียงกัน เป็นช่วงเวลาที่สั้นกว่า คือ เพียงแค่ช่วง 15 นาทีแรกของการอบแห้งเท่านั้น หลังจากนั้นการอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนจะมีการลดลงของปริมาณความชื้นเร็วกว่า และใช้เวลาในการลดความชื้นประมาณ 135 นาที สำหรับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน และ 180 นาที สำหรับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน

การลดลงของปริมาณความชื้นอย่างรวดเร็วในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนเป็นผลมาจากรังสีอินฟาเรดที่ปล่อยออกมาจากหลอดฮาโลเจนช่วยถ่ายเทความร้อนให้กับความชื้นที่บริเวณผิวเมล็ดข้าวและยังสามารถแทรกซึมเข้าไปในเมล็ดข้าว ส่งผลให้ความชื้นในเมล็ดข้าวได้รับความร้อนเร็วขึ้น จึงทำให้ความชื้นทั้งที่ผิวและภายในเมล็ดถูกระบายออกจากเมล็ดข้าวอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ซึ่งเมล็ดข้าวได้รับความร้อนเฉพาะบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศร้อน ความชื้นที่ถูกระบายออกไปจึงเป็นแค่เพียงความชื้นที่บริเวณผิวเท่านั้น ในขณะที่ภายในเมล็ดยังคงมีความชื้นอยู่ ซึ่งต้องใช้เวลากว่าความชื้นภายในเมล็ดจะได้รับความร้อนจนเกิดการแพร่ออกมาและเกิดการระเหยที่ผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ปริมาณจุลินทรีย์ของข้าวไร่งอก

ในกระบวนการแช่และกระบวนการบ่มเพื่อผลิตข้าวไร่งอกก่อให้เกิดการหมัก (Fermentation) ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตจุลินทรีย์ และทำให้ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการลดปริมาณจุลินทรีย์หลังจากกระบวนการเพาะงอกเสร็จสิ้นลง ซึ่งในการศึกษานี้ใช้วิธีการลดปริมาณจุลินทรีย์ 2 วิธี คือ วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการใช้หลอด Halogen 150 w เนื่องจากเป็นวิธีการอบแห้งที่สามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และวิธีการ Pasteurize ด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 65°C โดยในการศึกษาจะเลือกข้าวไร่งอกที่ผ่านการงอกด้วยการแช่น้ำ 3-30 h ร่วมกับการบ่ม 24 และ 30 h เนื่องจากให้ร้อยละการงอกที่ค่อนข้างสูง (โดยเฉพาะที่เวลาการแช่ 30 h และเวลาการบ่ม 24 และ 30 h ตามลำดับ) สำหรับการบ่มที่ 36 h แม้จะให้ร้อยละการงอกสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างชัดเจนกับร้อยละการงอกที่เวลาการแช่ 30 h ร่วมกับการบ่ม 30 h นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการบ่มที่นานกว่า ดังนั้นจึงไม่ถูกเลือกนำมาหาปริมาณจุลินทรีย์

ตารางที่ 4.1 ปริมาณจุลินทรีย์ในข้าวไร่งอกหลังผ่านกระบวนการเพาะงอก และหลังผ่านกระบวนการลดปริมาณจุลินทรีย์ด้วยวิธี Pasteurize และวิธีการอบแห้ง

Rice variety	Sample	Microorganism content (Colonies/gram)		
		After soaking and incubation	After hot air drying 80°C combine with halogn 150 W	After pasteurize in water at 65°C
Dork Payorm	Soaking 3 hr and incubation 24 hr	12,833 ± 764a	5 ± 1a	41 ± 10a
	Soaking 6 hr and incubation 24 hr	16,171 ± 1763a	7 ± 2a	44 ± 12a
	Soaking 9 hr and incubation 24 hr	15,630 ± 2344a	9 ± 1a	63 ± 15a
	Soaking 30 hr and incubation 24 hr	176,800 ± 1442b	433 ± 126b	*N/A
	Soaking 30 hr and incubation 30 hr	191,789 ± 6327c	593 ± 70b	*N/A
Hom Jedban	Soaking 30 hr and incubation 24 hr	281,800 ± 7686d	1,134 ± 96c	*N/A
	Soaking 30 hr and incubation 30 hr	303,456 ± 7977e	1,393 ± 170d	*N/A

a,b,c,d,e mean with different superscripts in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$).

*N/A = Not available

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวไร่งอกหลังผ่านกระบวนการเพาะงอกมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ปริมาณจุลินทรีย์ของข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้น โดยเวลาการแช่ที่เพิ่มขึ้นในช่วง 3-9 h มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 12,833-15,630 cfu/g แต่เมื่อเวลาการแช่เพิ่มขึ้นถึง 30 h ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นประมาณ 11 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่เวลาการแช่ 9 h และเวลาการบ่ม 24 h นอกจากนี้เมื่อปรับเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นจาก 24 h เป็น 30 h ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นประมาณ 1 เท่า สำหรับทั้งในข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมและพันธุ์หอมเจ็ดบ้าน ปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการเพาะงอกถูกลดลงด้วยวิธีการอบแห้งและวิธี Pasteurize โดยวิธีการอบแห้งสามารถลดปริมาณของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าวิธีการ Pasteurize ซึ่งลดปริมาณจุลินทรีย์เหลือเพียง 5-9 cfu/g ในขณะที่วิธีการ Pasteurize สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์เหลืออยู่ในช่วง 41-63 cfu/g สำหรับปริมาณจุลินทรีย์ที่เวลาการแช่ 30 h ร่วมกับเวลาการบ่ม 24 และ 30 h หลังการอบแห้งมีการลดลงของปริมาณจุลินทรีย์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นก่อนการอบแห้งที่มีความแตกต่างกันกับปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในเงื่อนไขอื่นๆ อย่างไรก็ตามวิธีการอบแห้งและวิธี Pasteurize สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้ถึง 99.9% และ 99.7% ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ไม่เกิน 10,000 cfu/g ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยตามมาตรฐานความปลอดภัยในอาหาร [31]

4.5 สีของข้าวไร่งอก

ในการวัดสีของข้าวไร่งอกเลือกใช้ข้าวไร่งอกที่ผ่านการงอกด้วยการแช่น้ำ 30 h ร่วมกับการบ่ม 24 และ 30 h เนื่องจากให้ร้อยละการงอกที่ค่อนข้างสูง และใช้เวลาในการเพาะงอกไม่นานจนเกินไป โดยนำข้าวไร่หลังผ่านกระบวนการเพาะงอกมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการใช้หลอด Halogen 150 w เนื่องจากเป็นวิธีการอบแห้งที่สามารถลดความชื้นข้าวไร่งอกได้อย่างรวดเร็ว และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้าวไร่งอกหลักจากอบแห้งจนความชื้นลดลงถึงระดับที่เหมาะสมจะถูกนำมากะเทาะเปลือกและนำเมล็ดข้าวมาวัดสีด้วยเครื่องวัดสี ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสีของข้าวไร่ก่อนการเพาะงอก และข้าวไร่งอกหลังการอบแห้งด้วยเครื่องผลิตข้าวไร่งอก ซึ่งพบว่า ข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมหลังการนำมาเพาะงอกและอบแห้งด้วยเครื่องผลิตข้าวไร่งอก มีค่าสี L* a* และ b* ของข้าวไร่งอกไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวไร่ก่อนเพาะงอก ในขณะที่ข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้านมีค่าสี L* และ a* ของข้าวไร่งอกแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวไร่ก่อนเพาะงอก แต่ค่า b* ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวไร่ก่อนเพาะงอก อย่างไรก็ตามข้าวไร่ทั้ง 2 พันธุ์ เมื่อนำมาผลิตเป็นข้าวไร่งอกด้วยการแช่น้ำ 30 h ร่วมกับการบ่ม 24 h และอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน ให้ค่าสี L* a* และ b* ของข้าวไร่งอกไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้าวไร่งอกที่แช่น้ำ 30 h ร่วมกับการบ่ม 30 h และอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าสีของข้าวไร่ก่อนการเพาะงอก และข้าวไร่งอกหลังการอบแห้งด้วยเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

Sample	Rice variety	Color		
		L*	a*	b*
Upland rice	Dork Payorm	64.08±2.44c	5.14±0.51a	24.48±0.56c
	Hom Jedban	39.78±3.72b	15.17±2.81b	19.80±2.12a
Germinated upland rice (Soaking time 30 h, incubation time 24 h and hot air drying 80°C combined with halogen lamp 150 W)	Dork Payorm	63.44±1.73c	3.93±0.42a	22.81±1.22bc
	Hom Jedban	34.36±1.73a	18.56±2.25c	21.86±1.91ab
Germinated upland rice (Soaking time 30 h, incubation time 30 h and hot air drying 80°C combined with halogen lamp 150 W)	Dork Payorm	63.90±1.44c	3.95±0.51a	22.82±0.79bc
	Hom Jedban	31.02±3.83a	17.79±0.89c	21.77±2.08ab

a,b,c mean with different superscripts in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$).

4.6 การแตกหักของเมล็ดข้าวไร่งอก

ในการหาการแตกหักของข้าวไร่งอก เลือกใช้ข้าวไร่งอกที่ผ่านการงอกด้วยการแช่น้ำ 30 h ร่วมกับการบ่ม 24 และ 30 h จากนั้นนำข้าวไร่งอกมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการใช้หลอด Halogen 150 w ซึ่งติดตั้งภายในเครื่องผลิตข้าวไร่งอก (เหตุผลในการเลือกวิธีการเพาะงอกและวิธีการอบแห้งดังอธิบายในหัวข้อก่อนหน้านี้) ข้าวไร่งอกที่การผ่านลดความชื้นถูกนำมาเข้าเครื่องกะเทาะเปลือกและเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวตามลำดับ ปริมาณเมล็ดข้าวที่แตกหักถูกแสดงในรูปของร้อยละการแตกหัก ตารางที่ 4.3 แสดงการแตกหักของข้าวไร่และข้าวไร่งอก พบว่า ข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมมีร้อยละการแตกหักของข้าวต่ำกว่าข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้าน เมื่อนำมาเพาะงอก พบว่า ข้าวไร่งอกพันธุ์ดอกพะยอมมีร้อยละการแตกหักของเมล็ดข้าวไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเมล็ดข้าวไร่ก่อนเพาะงอก แต่ในข้าวไร่งอกพันธุ์หอมเจ็ดบ้านมีร้อยละการแตกหักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวไร่ก่อนเพาะงอก อย่างไรก็ตามกระบวนการงอกโดยใช้เวลาการบ่มที่แตกต่างกันที่ 24 h และ 30 h ไม่ส่งผลต่อร้อยละการแตกหักของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ร้อยละการแตกหักของข้าวไร่และข้าวไร่งอก

Sample	Rice variety	Percentage of cracking (%)
Upland rice	Dork Payorm	6.18±1.14a
	Hom Jedban	12.74±1.51b
Germinated upland rice (Soaking time 30 h, incubation time 24 h and hot air drying 80°C combined with halogen lamp 150 W)	Dork Payorm	7.35±2.17a
	Hom Jedban	16.05±1.20c
Germinated upland rice (Soaking time 30 h, incubation time 30 h and hot air drying 80°C combined with halogen lamp 150 W)	Dork Payorm	9.02±2.52a
	Hom Jedban	18.32±1.43c

a,b,c mean with different superscripts in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$).

4.7 การทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภค

ในการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อคุณภาพของข้าวไร่งอก เลือกใช้ข้าวไร่งอกที่ผ่านการงอกด้วยการแช่น้ำ 30 h ร่วมกับการบ่ม 30 h โดยนำข้าวไร่หลังผ่านกระบวนการเพาะงอกมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการใช้หลอด Halogen 150 w (วิธีการเพาะงอกดังกล่าวให้ร้อยละการงอกที่สูงและวิธีการอบแห้งดังกล่าวสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงมาอยู่ในระดับที่เหมาะสม) นำข้าวไร่งอกที่ถูกลดความชื้นเรียบร้อยแล้วมาเข้าเครื่องกะเทาะเปลือกและเครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวตามลำดับ จากนั้นนำข้าวเต็มเมล็ดมาหุงต้มและนำไปให้ผู้บริโภคชิมเพื่อกรอกข้อมูลในแบบสอบถาม ซึ่งข้อมูลในแบบสอบถามจะถูกนำไปประเมินและคิดเป็นค่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยของคุณภาพของข้าวไร่งอกในแต่ละด้าน ผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อคุณภาพของข้าวไร่งอกด้วยแบบสอบถาม ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงถึงความพึงพอใจในกลิ่นและสีของข้าวไร่งอกในระดับดีมากทั้งในข้าวไร่งอกพันธุ์ดอกพะยอมและหอมเจ็ดบ้าน ในขณะที่เนื้อสัมผัสของข้าวไร่งอกเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภคในระดับดีมากสำหรับข้าวไร่งอกพันธุ์ดอกพะยอม และในระดับดีสำหรับข้าวไร่งอกพันธุ์หอมเจ็ดบ้าน

ตารางที่ 4.4 ค่าคะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อคุณภาพด้านสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของข้าวไร่งอก ที่ผลิตจากเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

Qualities of germinated upland rice	Rice variety	Average score	Satisfaction level
Odor	Dork Payorm	4.40	Very good
	Hom Jedban	4.30	Very good
Color	Dork Payorm	4.36	Very good
	Hom Jedban	4.40	Very good

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Texture (hardness)	Dork Payorm	4.10	Very good
	Hom Jedban	3.40	Good

4.8 การวิเคราะห์สารอาหารในข้าวไร่งอก

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหารในข้าวไร่งอกจะวิเคราะห์หาปริมาณสาร GABA (ɣ-amino-butyric acid) Vitamin E (Alpha-tocopherol) และ Fe (Iron) โดยเลือกใช้ข้าวไร่งอกที่ผ่านการงอกด้วยการแช่น้ำ 30 h ร่วมกับการบ่ม 24 และ 30 h จากนั้นนำข้าวไร่งอกมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการใช้หลอด Halogen 150 w (เหตุผลในการเลือกวิธีการเพาะงอกดังกล่าวเนื่องจากให้ร้อยละการงอกที่สูงและใช้เวลาในการเพาะงอกไม่นาน และเหตุผลในการเลือกวิธีการอบแห้งดังกล่าวเนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งสั้นและสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยในอาหาร) ข้าวไร่งอกที่การผ่านลดความชื้นถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหาร ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ในข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมมีปริมาณสาร GABA และ Fe สูงกว่าข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้านและมีปริมาณ Vitamin E เท่ากัน เมื่อนำข้าวไร่ทั้ง 2 พันธุ์มาเพาะงอกกลายเป็นข้าวไร่งอกพบว่า ปริมาณสาร GABA ในข้าวไร่ทั้ง 2 พันธุ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวไร่ก่อนเพาะงอก โดยมีปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้น 4.9-6.5 เท่า สำหรับข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมและ 8.1-9.5 เท่าสำหรับข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้าน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของสาร GABA เกิดขึ้นเนื่องจากการแช่และการบ่มกระตุ้นให้เมล็ดข้าวเกิดการงอก [32] นอกจากนี้การบ่มเมล็ดข้าวภายในเครื่องผลิตข้าวไร่งอกยังทำให้เกิดสภาวะอับอากาศ ทำให้เมล็ดข้าวอยู่ในสภาวะเครียดและส่งผลให้มีการผลิตสาร GABA เพิ่มขึ้นหลังการงอก [33] สาร GABA ในข้าวไร่งอกทั้ง 2 พันธุ์ที่ผลิตจากเครื่องผลิตข้าวไร่งอกมีปริมาณผ่านเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตร คือ มีปริมาณไม่น้อยกว่า 5 mg/100 g [34] นอกจากนี้ปริมาณสาร GABA ในข้าวไร่งอกทั้ง 2 พันธุ์ยังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้นจาก 24 h เป็น 30 h

ปริมาณ Vitamin E ในข้าวไร่งอกทั้ง 2 พันธุ์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวไร่ก่อนเพาะงอก ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 1.1-1.3 เท่า สำหรับข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมและ 1.1-1.4 เท่าสำหรับข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้าน อย่างไรก็ตามข้าวไร่งอกทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณ Vitamin E หลังการงอกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแม้จะใช้เวลาการบ่มแตกต่างกันที่ 24 และ 30 h เมื่อเพิ่มเวลาการบ่มจาก 24 h เป็น 30 h พบว่า ปริมาณ Vitamin E ในข้าวไร่งอกทั้ง 2 พันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้านมีปริมาณ Fe ในข้าวไร่ก่อนการงอกต่ำกว่าในข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมอย่างมีนัยสำคัญ หลังกระบวนการเพาะงอก ปริมาณ Fe ในข้าวไร่งอกทั้ง 2 พันธุ์ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวไร่ก่อนเพาะงอก โดยในข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมลดลงอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 13.2% ที่เวลาการบ่ม 24 h และในข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้านลดลงอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 22.3% ที่เวลาการบ่ม 30 h นอกจากนี้เวลาการบ่มที่แตกต่างกัน 24 และ 30 h ส่งผลให้ปริมาณ Fe ในข้าวไร่งอกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งในพันธุ์ดอกพะยอมและพันธุ์หอมเจ็ดบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารอาหารในข้าวไร่และข้าวไร่งอก

Sample	Rice variety	GABA (mg/100g)	Vitamin E (mg/100g)	Fe (mg/100g)
Upland rice	Dork Payorm	3.60±0.03b	0.40±0.00a	1.59±0.11d
	Hom Jedban	2.11±0.08a	0.40±0.00a	1.39±0.07bc
Germinated upland rice (Soaking time 30 h, incubation time 24 h and hot air drying 80°C combined with halogen lamp 150 W)	Dork Payorm	17.64±0.10d	0.52±0.00c	1.38±0.02b
	Hom Jedban	17.14±0.18c	0.54±0.01c	1.35±0.04b
Germinated upland rice (Soaking time 30 h, incubation time 30 h and hot air drying 80°C combined with halogen lamp 150 W)	Dork Payorm	23.37±0.17f	0.44±0.01b	1.53±0.01cd
	Hom Jedban	19.98±0.10e	0.43±0.01b	1.08±0.06a

a,b,c,d,e,f mean with different superscripts in the same column are significantly different ($p \leq 0.05$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

- การเพิ่มเวลาการแช่และเวลาการบ่ม ส่งผลให้ร้อยละการงอกของข้าวไร่เพิ่มขึ้น โดยภายใต้เงื่อนไขการเพาะงอกด้วยวิธีการแช่ร่วมกับการบ่มในการศึกษานี้ ข้าวไร่พันธุ์ดอกพะยอมและพันธุ์หอมเจ็ดบ้านควรผลิตที่เวลาการแช่ 30 h ร่วมกับการบ่ม 24 หรือ 30 h ซึ่งจะให้ปริมาณการงอกไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 สำหรับผลปริมาณร้อยละการงอกที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ของข้าวไร่และความเก่าของข้าว
- การเปลี่ยนแปลงความชื้นในเมล็ดข้าวไร่เป็นผลมาจากกระบวนการบ่มมากกว่ากระบวนการแช่ ปริมาณความชื้นในข้าวไร่เพิ่มขึ้นตามเวลาการแช่และเวลาการบ่ม โดยปริมาณความชื้นที่ข้าวสามารถดูดกลืนไว้ได้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ข้าวไร่แต่ละพันธุ์มีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการงอกแตกต่างกัน
- การอบแห้งข้าวไร่งอกด้วยเครื่องผลิตข้าวไร่งอกควรใช้วิธีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับหลอดฮาโลเจนเนื่องจากสามารถลดความชื้นได้รวดเร็วกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยในอาหาร (น้อยกว่า 10,000 cfu/g)
- ข้าวไร่งอกพันธุ์ดอกพะยอมและพันธุ์หอมเจ็ดบ้านที่ผลิตด้วยเครื่องผลิตข้าวไร่งอกที่เงื่อนไข

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ในการทดลองเพาะงอกข้าวควรใช้ข้าวที่เก็บเกี่ยวใหม่ เนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาส่งผลต่อการงอกของเมล็ดข้าว
- ควรปรับแก้ตัวเครื่องในส่วนของท่อสเปรย์น้ำและท่อน้ำทิ้ง ให้ใช้ท่อแบบแยกกันเพื่อสะดวกในการใช้งาน
- ควรมีตัวกรองตะกอนที่ปนอยู่ในน้ำก่อนที่จะส่งเข้าหัวสเปรย์ เพื่อป้องกันการอุดตันของหัวสเปรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ประภาส วีระแพทย์, 2517“ความรู้เรื่องข้าว”, กองการข้าว กรมวิชาเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ

[2] กลุ่มถ่ายทอดวิทยาการผลิตเมล็ดพันธุ์ดี ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น, พันธุ์ข้าวดอกพะยอม (Dawk Pa-yawm) [ออนไลน์], แหล่งที่เข้าถึง : http://kknrsc.ricethailand.go.th/rice/variety/06/Dawk_Pa_yawm.html. [3 เมษายน 2558]

[3] ชูชาติ สวนกูล, 2557 “ข้าวไร่พันธุ์หอมเจ็ดบ้าน : กระบวนการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการจัดการพันธุกรรมข้าว”การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว (ครั้งที่ 31) : 452-453

[4] มนตรี โคตรคันทา, มหัศจรรย์ข้าวเพื่อสุขภาพข้าวฮางงอก [ออนไลน์], 10 มิถุนายน 2541, แหล่งที่เข้าถึง : http://www.isangate.com/local/kao_hang.html. [3 เมษายน 2558]

[5] K. Ohtsubo, K. Suzuki, Y. Yasui and T. Kasumi, “Bio-Functional Components in The Processed Pre-Germinated Brown Rice by a Twin-Screw Extruder” Journal of Food Composition and Analysis. 18: 303–316 (2005).

[6] H. Toyoshima, K. Ohtsubo, H. Okadome, K. Tsukahara, N. Komatsuzaki and T. Kohno, “Germinated brown rice with good safety and cooking property, process for producing the same, and processed food therefrom” US. Patent. 6,685,979 B1 (2004).

[7] พัชรี ตั้งตระกูล, วารุณี วารัญญานนท์, วิภา สุโรจนะเมธากุล และ ลัดดา วัฒนศิริธรรม, 2548 “การใช้ประโยชน์จากคัพภะข้าวและข้าวกล้องงอกเป็นอาหารสุขภาพเพื่อเพิ่มมูลค่า”, รายงานการวิจัยเสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ

[8] N. Komatsuzaki, K. Tsukahara, H. Toyoshima, T. Suzuki, N. Shimizu and T. Kimura, “Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice” Journal of Food Engineering. 2: 556-560 (2007).

[9] สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, ประโยชน์ของสารอาหารในข้าวงอก [ออนไลน์]. แหล่งที่เข้าถึง : http://sichon.wu.ac.th/source/detail.php?newss_id=90&paths=unp. [3 เมษายน 2558]

[10] T. Okada, T. Sugishita, T. Murakami, H. Murai, T. Saikusa and T. Horio, “Effect of the Defatted Rice Germ Enriched with GABA for Sleepless, Depression, Autonomic Disorder by Oral Administration” Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology. 47: 596-603 (2000).

[11] C.H. Oh and S.H. Oh, “Effect of Germinated Brown Rice Extracts with Enhanced Levels of GABA on Cancer Cell Proliferation and Apoptosis” Journal of Medicinal Food. 7: 19–23 (2004).

[12] J. Banchuen, P. Thammarutwasik, B. Ooraikul, P. Wuttijumnong and P. Sirivongpaisal, “Increasing the Bio-Active Compounds Contents by Optimizing the Germination Conditions of Southern Thai Brown Rice” Songklanakarin Journal of Science and Technology. 32: 219-230 (2010).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] Se-Soon Jang, “Method for Germinating Dehulled Brown Rice” US. Patent. 5862627 (1999).
[14] วัฒนา วัชรอาภาไพบูลย์, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์, อรพิน เกิดชูชื่น และ ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย, 2550 “ผลของพีเอช อุณหภูมิ และเวลาการแช่ข้าว ต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 38, 169-172
[15] จักรพงษ์ โสวะพันธ์, กมลวรรณ แจ้งชัด และพัชรี ตั้งตระกูล, 2554 “ผลของสภาพการงอกต่อสมบัติความหนืดและปริมาณ GABA ของแป้งข้าวข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวเปลือก” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ครั้งที่ 49) : 250-257
[16] M.V. Capanza and K.A. Bukle, “Optimisation of Germination Conditionvar” Food Science and Technology. 30:155-163 (1997).
[17] วรินทร์ ยิ้มย่อง และ สุนัน ปานสาคร, 2552 “ศึกษาผลของอุณหภูมิในการลดความชื้นที่มีต่อปริมาณกรดแกมมาแอมิโนบิวทิริกในผลิตภัณฑ์ข้าวงอกงอกเพื่อการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร”, รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, คณะเทคโนโลยีการเกษตร
[18] G. Sumnu, E. Turabi and M. Oztop, “Drying of carrots in microwave and halogen lamp–microwave combination ovens” LWT. 38:549-553 (2005).
[19] วัชรินทร์ ดงบัง, 2556 “รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร”, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ปีที่ 18, 299-304
[20] อภินันท์ วัลภา และโศรดา วัลภา, 2556 “การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของเห็ดนางฟ้าภูฐานในระหว่างการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร(พิเศษ), ปีที่ 44, 97-100
[21] อุไรวรรณ สุวนานนท์ และสุดารัตน เจียมยงยืน, 2551 “ผลของอุณหภูมิ ระยะเวลาการแช่ และการเพาะต่อฤทธิ์ตานอนุมูลอิสระของขาวกลองงอก”, วารสารวิทยาศาสตรเกษตร(พิเศษ), ปที่ 39, 429-432
[22] จารุรัตน์ สันเต, วรนุช ศรีเจษฎารักข์ และรัชฎา ตั้งวงศ์ไชย, 2550 “ผลของกระบวนการแช่และกระบวนการงอกของข้าวกล้องต่อปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอก”, วารสารวิทยาศาสตรเกษตร (พิเศษ), ปที่ 38, 103-106
[23] แสงทิวา สุริยงค์, กนกวรรณ ศรีงาม และ ดำเนิน กาละดี, 2554 “การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารแกมมาอมิโนบิวทิริคแอซิดในข้าวก่ำพันธุ์พื้นเมืองภายหลังกระบวนการแช่และการงอก”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร(พิเศษ), ปีที่ 42, หน้า 370-373
[24] H. Kayahara and K. Tsukahara, “Flavor,health, and nutritional quality of pre-germinated brown rice” International Chemical Congress of Pacific Basin Societies in Hawaii (2000).
[25] มนตรี พิรุณเกษตร, 2545 “การถ่ายเทความร้อน”, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์วิทยพัฒน์, 663 หน้า
[26] มงคล ศิริธนานุกูล, 2550 “ทฤษฎีและหลักการทำงานของมอเตอร์”, สมุทรสงคราม : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์
[27] J.F. Davidson, R. Clift and D. Harrison, 1985 “Fluidization”, 2nd edition, Academic Press, Inc., 733 pp.
[28] ประสิทธิ์ นครราช, จุรีรัตน์ อ้วนศรีเมือง และนภาภรณ์ มัธนัง, 2555 “เครื่องวัดคุณภาพทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของข้าวโดยการประมวลผลภาพเมล็ดข้าวสาร" การประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย (ครั้งที่ 6) : 222-229
[29] สรชัย พิศาลบุตร, เสาวรส ใหญ่สว่าง และปรีชา อัศวเดชานุกร, 2550 "การสร้างและประมาณผลข้อมูลจากแบบสอบถาม", พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพ : สำนักงานพิมวิทยพัฒน์
[30] N. Srisang, S. Prachayawarakorn, S. Soponronnarit and W. Varanyanond, "Comparative study of germinated brown rice drying using hot air and superheated steam fluidized bed" The 6th Asia-Pacific Drying Conference (ADC2009), October 19-21, Bangkok, Thailand (2009).
[31] Thai Industrial Standards Institute, "Thai Community Product Standard: Rice Snack Chip Cracker (TCPS 107/2003)". p. 5 (in Thai) (2003).
[32] S. Maeda, H. Shinmura, K. Nakagawa, T. Asai and A. Morita, "Comparison of the free amino acid content and certain other agronomic traits of germinated and non-germinated brown rice in monocultured and mixed plantings" Journal of Breeding and Genetics. 39:107-115 (2007).
[33] J.K.M. Roberts, J. Callis, D. Wemmer, V. Walbot and O. Jardetzky, "Mechanism of cytoplasmic 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 (1984).
[34] Thai Agricultural Standard. "National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (TAS 4003-2012)". p. 2 (in Thai) (2012).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามความพึงพอใจคุณภาพของข้าวไร่งอก

1. ข้อมูลของผู้กรอกแบบสอบถาม

กรุณาเขียนเครื่องหมาย / ลงใน [ ] หน้าข้อความที่ตรงกับลักษณะของแต่ละข้อของตัวท่านเอง

1.1 เพศ

[ ] ชาย [ ] หญิง

อื่นๆ (โปรดระบุ).....

1.2 อายุ

[ ] ตั้งแต่ 20 ปีลงมา [ ] 21-30 ปี

[ ] 31-40 ปี [ ] ตั้งแต่ 41 ปีขึ้นไป

อื่นๆ (โปรดระบุ).....

1.3 ระดับการศึกษา

[ ] ตั้งแต่มัธยมศึกษาลงมา [ ] อาชีวศึกษา

[ ]ปริญญาตรี [ ] สูงกว่าปริญญาตรี

อื่นๆ (โปรดระบุ).....

1.4 อาชีพ

[ ] ข้าราชการ [ ] พนักงานรัฐวิสาหกิจ

[ ] พนักงานเอกชน [ ] ผู้ประกอบการธุรกิจส่วนตัว

[ ] รับจ้างทั่วไป [ ] นักเรียน / นักศึกษา

อื่นๆ (โปรดระบุ).....

1.5 สถานภาพสมรส

[ ] โสด [ ] สมรส

อื่นๆ (โปรดระบุ).....

2. ความพึงพอใจคุณภาพของข้าวไร่งอกจากเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

กรุณาเขียนเครื่องหมาย / ตามระดับความพึงพอใจ

2.1 ความพึงพอใจคุณภาพของข้าวไร่งอกพันธุ์ดอกพะยอม

ด้าน	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. กลิ่นของข้าวไร่งอก					
2. สีของข้าวไร่งอก					
3. เนื้อสัมผัสของข้าวไร่งอก (ความแข็ง)					
4. ข้อเสนอแนะ					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

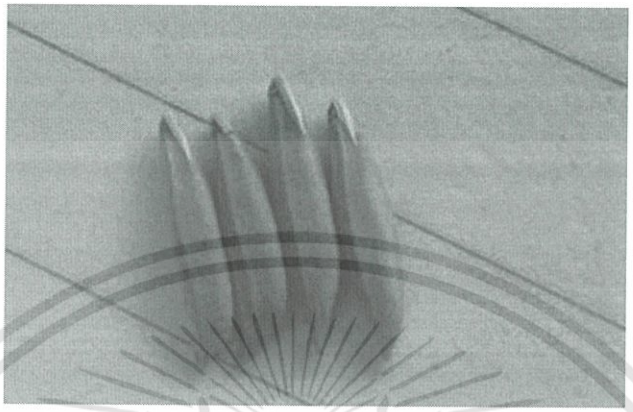
2.2 ความพึงพอใจคุณภาพของข้าวไร่งอกพันธุ์หอมเจ็ดบ้าน

ด้าน	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. กลิ่นของเมล็ดข้าวไร่งอก					
2. สีของเมล็ดข้าวไร่งอก					
3. เนื้อสัมผัสของข้าวไร่งอก (ความแข็ง)					
4. ข้อเสนอแนะ					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

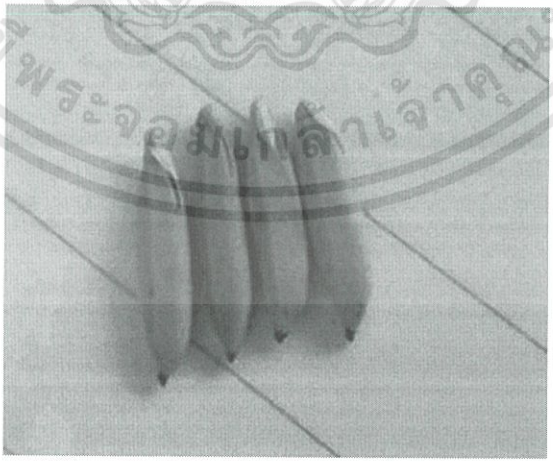
ภาคผนวก ข

ภาพข้าวไร่และข้าวไร่งอก



ภาพที่ ข1 ข้าวไร่ก่อนผ่านกระบวนการเพาะงอก

ภาพที่ ข2 ข้าวไร่หลังผ่านกระบวนการแช่และการบ่ม

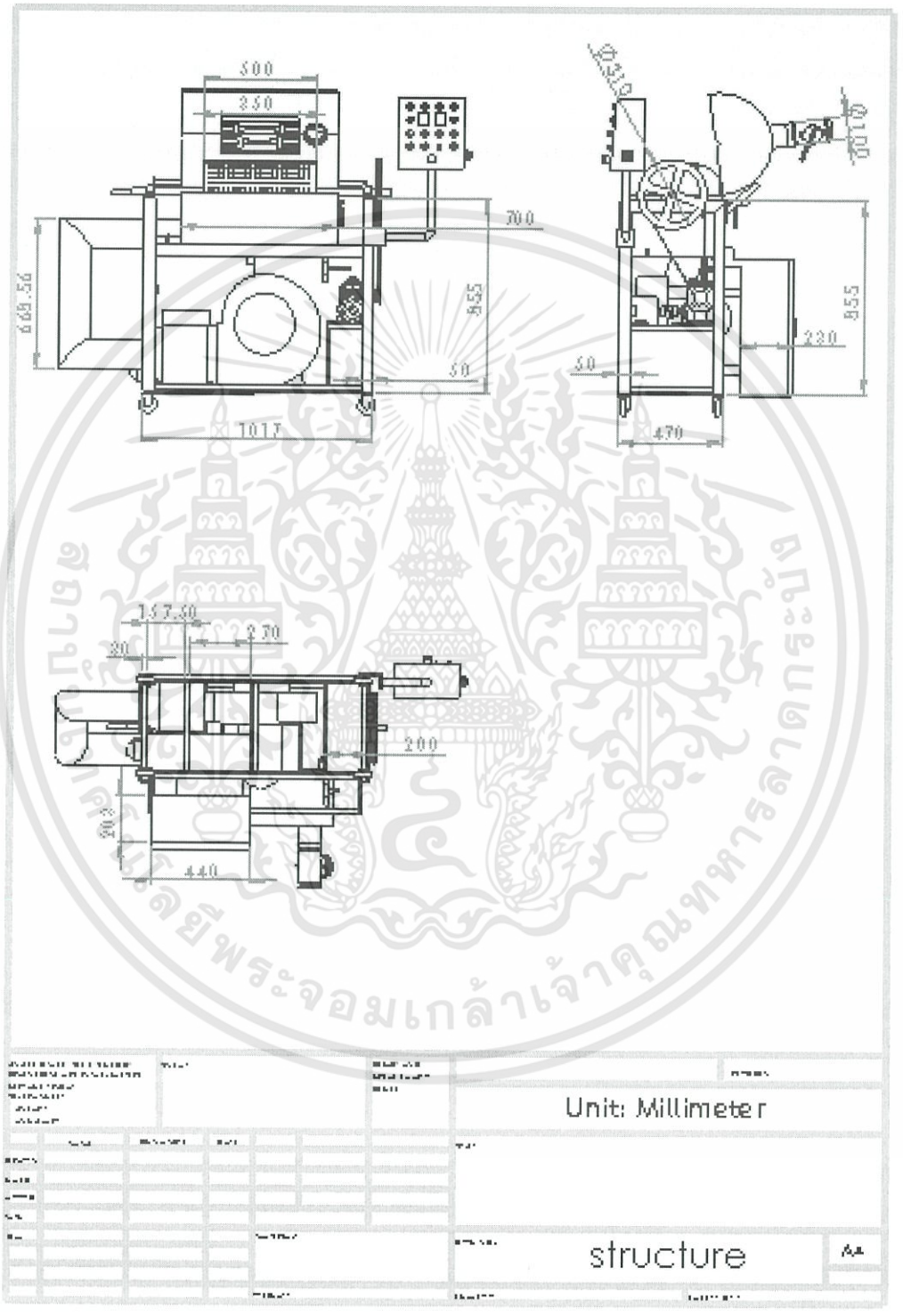


ภาพที่ ข3 ข้าวไร่งอกที่ได้รับจากเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

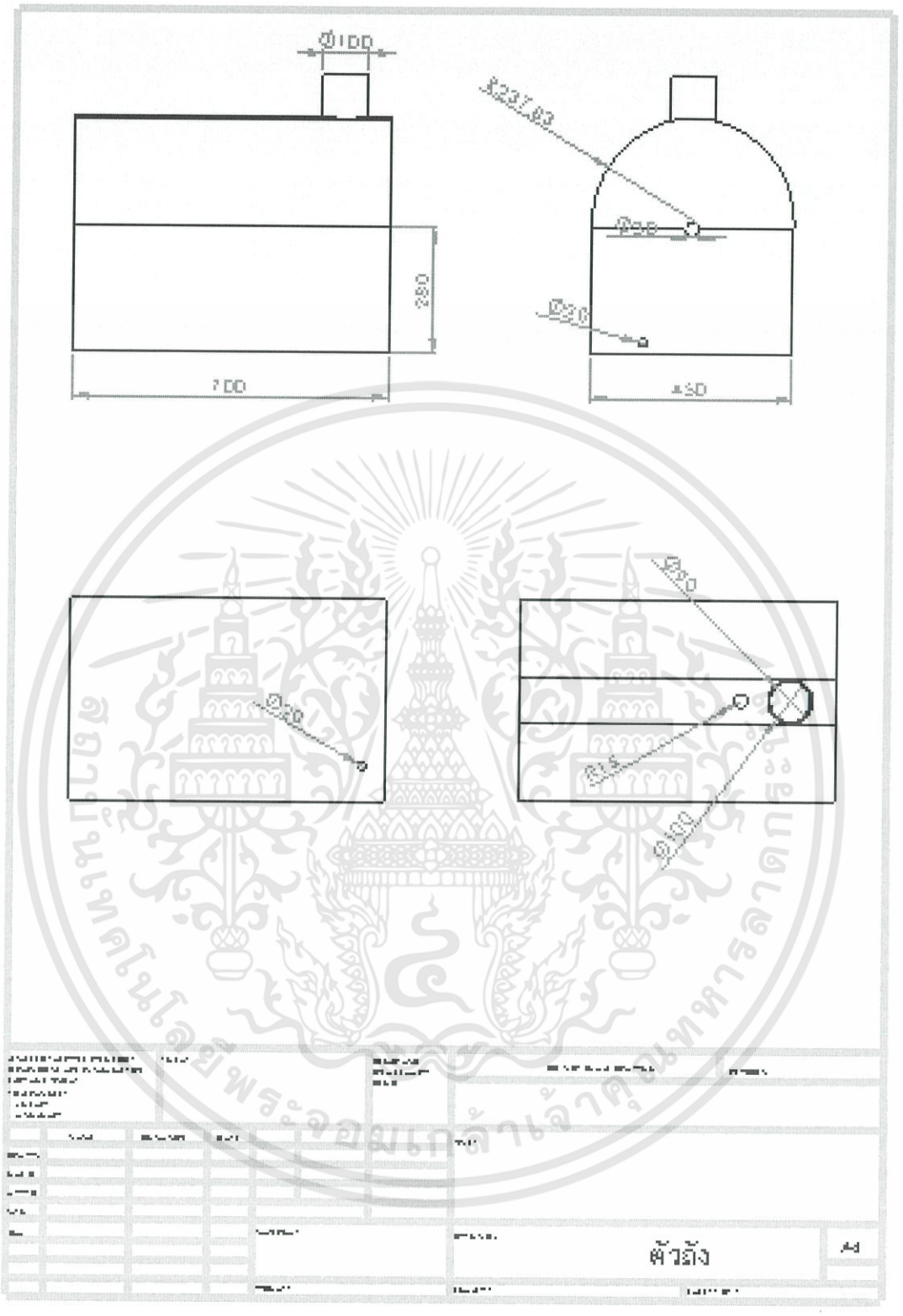
ภาคผนวก ค

เครื่องผลิตข้าวไร่งอก



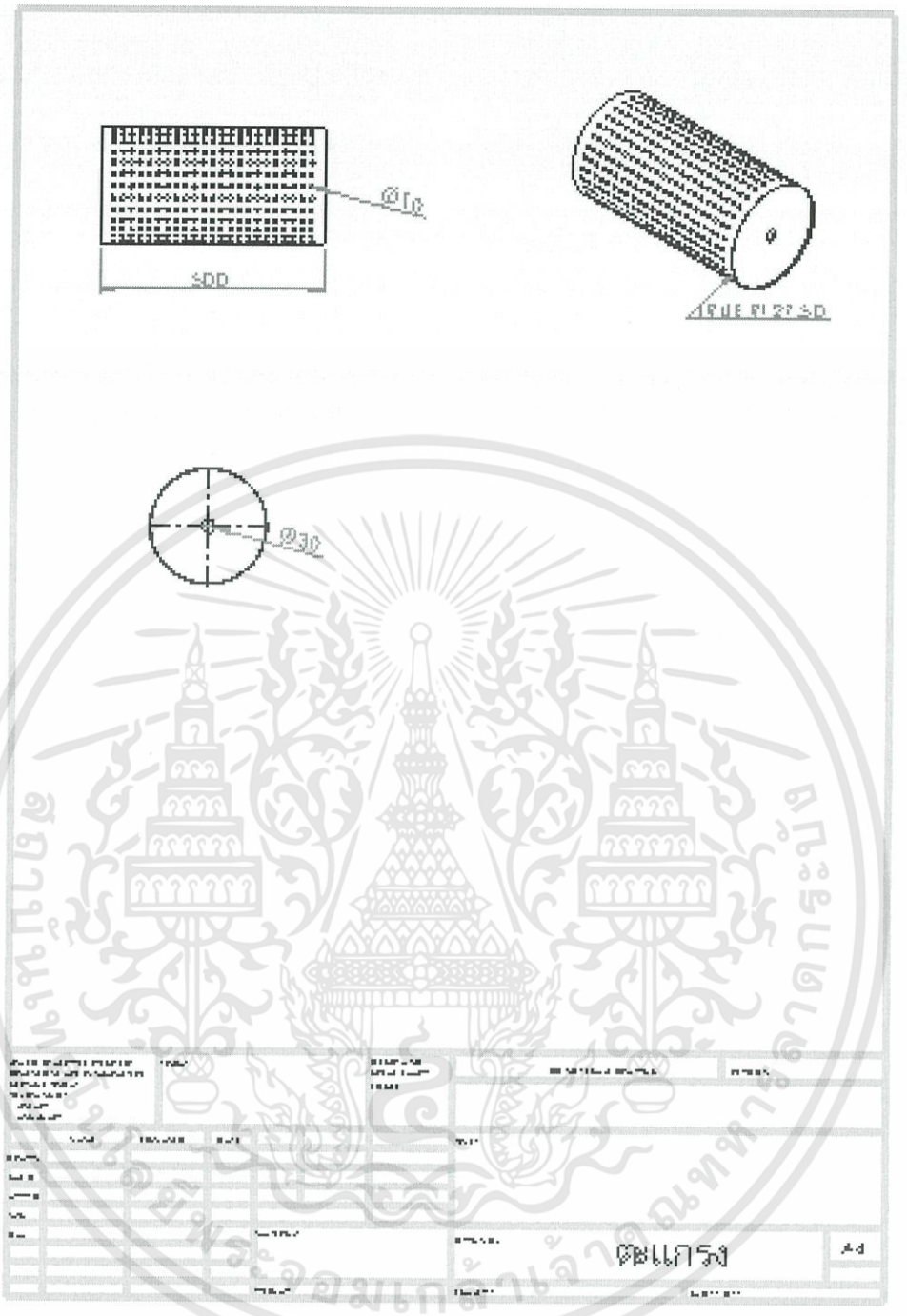
ภาพที่ ค1 แบบ Drawing ของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



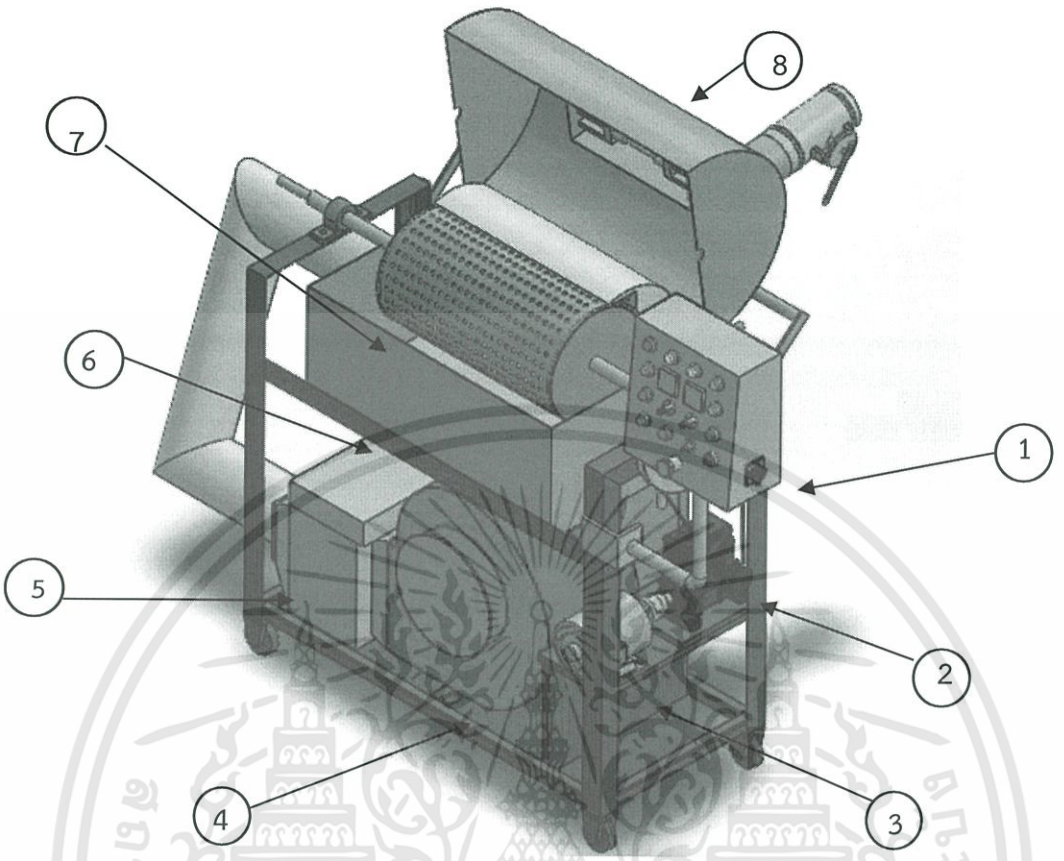
ภาพที่ ค2 แบบ Drawing ตัวถังของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค3 แบบ Drawing ตะแกรงสแตนเลสของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเลข	อุปกรณ์
1	ตู้คอนโทรล
2	เกียร์ทดรอบ
3	มอเตอร์
4	โบลเวอร์
5	ฮีตเตอร์ ใช้ในกระบวนการอบแห้ง
6	ปั๊มน้ำ
7	ฮีตเตอร์ ใช้ในกระบวนการแช่
8	หลอดฮาโลเจน

ภาพที่ ค4 ส่วนประกอบของเครื่องผลิตข้าวไร่งอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

โครงการ เครื่องผลิตข้าวไร่งอก

Germinated upland rice production machine

รายงานความก้าวหน้าของโครงการในรอบ 12 **เดือน**

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย ผู้รับทุน ดร.นฤบดี ศรีสังข์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ ธันวาคม 2556 ถึงวันที่ ธันวาคม 2557

สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่ายจากรายงานครั้งก่อน	ค่าใช้จ่ายงวดปัจจุบัน	รวมค่าใช้จ่ายสะสมถึงปัจจุบัน	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบดำเนินงาน					
ค่าตอบแทน	-	-	-	-	-
ค่าใช้สอย	145,000	125,000	12,750	137,750	7,250
ค่าวัสดุ	55,000	50,000	2,250	52,250	2,750
รวม	200,000	175,000	15,000	190,000	10,000

จำนวนเงินที่ได้รับและจำนวนเงินที่ใช้จ่าย

งวดเงินที่ได้รับ	จำนวนเงินที่ได้รับ(บาท)	เมื่อ (ระบุวัน เดือน ปี)
งวดที่ 1	190,000	16 มกราคม 2557
งวดที่ 2	0	(ไม่ได้รับเงินงวดที่ 2 เนื่องจากไม่ได้ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์ตามกำหนดเวลา)
รวม	190,000	❶

งวดที่	จำนวนเงินที่ใช้จ่าย (บาท)	
งวดที่ 1	190,000	
งวดที่ 2	0	
รวม	190,000	❷

จำนวนเงินคงเหลือ ❶ - ❷ 0 **บาท**

นฤบดี ศรีสังข์

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

นฤบดี ศรีสังข์

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงินโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายนฤบดี ศรีสังข์
   ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Naruebodee Srisang
2. ตำแหน่ง อาจารย์
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์(e-mail)

- สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 86160 โทรศัพท์ 08-1911-9769 e-mail: oat_2520@hotmail.com และ naruebodee.sr@kmitl.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา
ปร.ด. (เทคโนโลยีพลังงาน)	2554	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วศ.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน)	2547	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2543	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

5. ประวัติการวิจัย

ปี/ ชื่อเรื่องที่ทำวิจัย	ชื่อผู้ทำวิจัย	ระยะเวลา	สถานะ	ผลงานที่เผยแพร่
2550: ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตใกล้เคียง	ปัญญา แดงวิไล ลักษณ์, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์, นฤบดี ศรีสังข์, วชร กาลาสี และ ไชยรัตน์ เพชรคีรี	1 ปี	ผู้ร่วมวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ), 168 หน้า.
2551: การศึกษาการใช้น้ำส้มควันไม้เคลือบแผ่นยางก่อนนำไปอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ แก๊สหุงต้ม และพลังงานแสงอาทิตย์	วชร กาลาสี, ปัญญา แดงวิไล ลักษณ์, นฤบดี ศรีสังข์, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ และ ไชยรัตน์ เพชรคีรี	1 ปี	ผู้ร่วมวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ), 145 หน้า.
2557: โครงการปรับปรุงและพัฒนาระหัดวิดน้ำ	จำลอง ปราบแก้ว, ปัญญา แดงวิไล ลักษณ์, ศิริวรรณ พรรณราย, นฤบดี ศรีสังข์, ศรีรัตน์	10 เดือน	ผู้ร่วมวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ช่วยบุญ, วารุณี ลิ่มมั่น และไชยรัตน์ เพชรคีรี			2557)
2557: การอบแห้งเมล็ดธัญพืชด้วยเทคนิคหลอดฮาโลเจนร่วมกับฟลูอิไดซ์เบด	นฤบดี ศรีสังข์ และปัญญา แดงวิไลลักษณ์	2 ปี (1 ต.ค. 2557-30 ก.ย 2559)	หัวหน้าโครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการดำเนินงานวิจัย (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจาก กองทุนวิจัย สจล.)
2557: เครื่องผลิตข้าวไร่งอก	นฤบดี ศรีสังข์, ศิริวรรณ พรรณราย และณัฐพงศ์ รัตนเดช	1 ปี (1 ต.ค. 2557-30 ก.ย 2558)	หัวหน้าโครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการทำเล่มรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์(สนับสนุนงบประมาณวิจัยจาก กองทุนวิจัย สจล.)
2557: เครื่องกะเทาะเปลือกหมาก	นฤบดี ศรีสังข์	1 ปี (1 ต.ค. 2557-30 ก.ย 2558)	หัวหน้าโครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการดำเนินงานวิจัย (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจาก กองทุนวิจัย สจล.)
2558: การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากทะลายปาล์มเปล่าร่วมกับดินฟอกสีเหลือทิ้ง	นฤบดี ศรีสังข์	1 ปี (1 ต.ค. 2558-30 ก.ย 2559)	หัวหน้าโครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการดำเนินงานวิจัย (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2559)

6. งานวิจัยที่สนใจ: เทคโนโลยีพลังงานทดแทน และเทคโนโลยีการอบแห้ง

7. งานด้านวิชาการ: เรียบเรียงเอกสารประกอบการสอนรายวิชา 11126618 Energy and Environment

8. งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ระดับนานาชาติ

- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. and Varanyanond, W., 2008, "Fluidized bed drying of germinated brown rice", **Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Food Processing Engineering and Technology**, Asian Institute of Technology, December 2-4, Bangkok, Thailand.
- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. and Varanyanond, W., 2009, "Comparative study of germinated brown rice drying using hot air and superheated steam fluidized bed", **Proceedings of the 6th Asia-Pacific Drying Conference (ADC2009)**, October 19-21, Bangkok, Thailand.
- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. and Varanyanond, W., 2010, "Effects of drying media and temperatures on the drying kinetics and quality attributes of germinated brown rice", **Proceedings of the 17th International Drying Symposium (IDS 2010)**, October 3-6, Magdeburg, Germany.
- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W. and Soponronnarit, S., 2011, "Germinated brown rice drying by hot air fluidization technique", **Drying Technology**, Vol. 29, pp. 55-63.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Srisang, N., Varanyanond, W., Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S., 2011, "Effects of heating media and operating conditions on drying kinetics and quality of germinated brown rice", **Journal of Food Engineering**, Vol. 107, pp. 385-392.
- Srisang, N., Katkleang, T., Noopuk, N. and Chadarak, S., 2014, "Wooden Chopsticks Dryer", **Proceeding of the ๗th International Conference on Agricultural Engineering**, 2nd April – 4th April (2014), Pranakhornsriayothanya, Thailand.
- Srisang, N., Pannaray, S., Thalarum, J., Puaknut, T. and Rodthongkeaw, W., 2015, "Fuel Briquette made of Biomass Mixed with Residual Bleaching Earth from Palm Oil Plant", **Proceeding of the 8th International Conference on Agricultural Engineering**, 17th March – 19th March (2015) , Bangkok, Thailand.
- Srisang, N., Soponronnarit, S., Thuwapanichayanan, R. and Prachayawarakorn, S., 2015, "Modelling heat and mass transfer induced stresses in germinated brown rice kernels during fluidized bed drying", **Drying Technology**, Accept author version posted online 17 July.
- Phetkeri, C., Srisang, N., Chungcharoen, T. and Srisang, S., 2015, "Germinated Bambara Groundnut Manufacturing by Hot Air Fluidized Bed Drying Technique", **Proceeding of the 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering**, 16th December – 18th Demcember (2015), The Regent Cha-Am Beach Resort, Petchburi, Thailand.

ระดับชาติ

- นฤบดี ศรีสังข์, เพชรรัตน์ คุณานพรัตน์, ศิริชัย เทพา, พิชัย นามประกาย และรัตนชัย ไพรินทร์, 2547, "A Development of Solar for Brooding Broiler Chicks", **"Innovation of Agricultural Engineering for Increasing The Product'' The 5thThainational Association of Agricultural Engineering Conference**, April 26-30, Bangkok, Thailand.
- นฤบดี ศรีสังข์, ทรงธรรม ไชยพงษ์, ปราโมทย์ กุศล, วชร กาลาสี, 2549, "ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคผงชอล์กของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต", **นเรศวรวิจัยครั้งที่ 2**, กรกฎาคม 26-28, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก
- วชร กาลาสี, นฤบดี ศรีสังข์, ภัทร สุพพัตกุล และ พีระพงศ์ ทีฆสกุล, 2549, "ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต: ส่วนที่ 1 อนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้ง", **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20**, ตุลาคม 18-20, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา
- นฤบดี ศรีสังข์, จรัสชัย เย็นพยับ, พีระพงศ์ ทีฆสกุล และ วชร กาลาสี , 2549, "ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคเขม่าควันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต: ส่วนที่ 2 ผลกระทบของความต่างศักย์", **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20**, ตุลาคม 18-20, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา
- ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์, นฤบดี ศรีสังข์, วชร กาลาสี และ ไชยรัตน์ เพชรคีรี, 2550, "ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตใกล้เคียง", **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)**, 168 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วชร กาลาสี, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, นฤบดี ศรีสังข์, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ และ ไชยรัตน์ เพชรคีรี, 2551, "การศึกษาการใช้น้ำส้มควันไม้เคลือบแผ่นยางก่อนนำไปอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ แก๊สหุงต้ม และพลังงานแสงอาทิตย์", **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)**, 145 หน้า.
- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวารุณี วารัญญานนท์, 2553, "ผลกระทบของตัวกลางอบแห้งและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก", **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, ฉบับที่ 41(พิเศษ), เล่มที่ 3/1, หน้า 397-400.
- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวารุณี วารัญญานนท์, 2552, "การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยฟลูอิไดซ์เบดแบบอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่ง", **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, ฉบับที่ 40 (พิเศษ), เล่มที่ 3, หน้า 285-288.
- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวารุณี วารัญญานนท์, 2552, "การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยฟลูอิไดซ์เบดแบบอากาศร้อน", **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, ฉบับที่ 40 (พิเศษ), เล่มที่ 1, หน้า 449-452.
- นฤบดี ศรีสังข์, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ธีรศักดิ์ ดาวทอง, มนัส บุญศรี และ อนุชา สาเสน, 2556, "การอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยลมร้อนแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับหลอดฮาโลเจน", **การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 11**, สิงหาคม 22-23, โรงแรมโนโวเทล หัวหิน ชะอำ บีช รีสอร์ท แอนด์ สปา, เพชรบุรี
- นฤบดี ศรีสังข์, น้ำฝน กัณฑบุตร, ภัสรา วงศ์จินดา และ สุธาธิณี สามคำนิล, 2556, "เครื่องผลิตข้าวเปลือกงอก", **การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 11**, สิงหาคม 22-23, โรงแรมโนโวเทล หัวหิน ชะอำ บีช รีสอร์ท แอนด์ สปา, เพชรบุรี
- นฤบดี ศรีสังข์, กิตติชัย ชูสิง, วศิน สมกาญจนา และ อภิสิทธิ์ ศรีไสยเพร็ช, 2557, "เครื่องอบแห้งและกะเทาะหมาก", **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, ฉบับที่ 45 (พิเศษ), เล่มที่ 2, หน้า 489-492.
- นฤบดี ศรีสังข์, ไชยรัตน์ เพชรคีรี, อัครภาส์ สมหวัง, ศุภกฤต เลิศล้ำมงคล และ ณรงค์ชัย ชีวะธรรมรัตน์, 2558, "การอบแห้งถั่วหรั่งงอกด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันแบบอากาศร้อน", **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, ฉบับที่ 46 (พิเศษ), เล่มที่ 3, หน้า 457-460.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายณัฐพงศ์ รัตนเดช
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Nuttapong Ruttanadech
2. ตำแหน่ง อาจารย์
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์(e-mail)

- สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 86160 โทรศัพท์ 08-0441-0719 e-mail: krnuttap@kmitl.ac.th, nutyai@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา
วศ.ด. (วิศวกรรมเกษตร)	2553	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วศ.ม. (วิศวกรรมเกษตร)	2547	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วศ.บ. (วิศวกรรมเกษตร)	2543	มหาวิทยาลัยแม่โจ้

5. ประวัติการวิจัย

ปี/ ชื่อเรื่องที่ทำวิจัย	ชื่อผู้ทำวิจัย	ระยะเวลา	สถานะ	ผลงานที่เผยแพร่
2552: การพัฒนาเครื่องทอดสุญญากาศสำหรับกล้วยเล็บมือนางที่มีประสิทธิภาพสูงและราคาถูก	ณัฐพงศ์ รัตนเดช และทรงธรรม ไชยพงษ์	1 ปี	หัวหน้าโครงการวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร
2554: การออกแบบและพัฒนาเครื่องหว่านปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมันแบบต่อพ่วงรถแทรกเตอร์	ณัฐพงศ์ รัตนเดช	1 ปี	หัวหน้าโครงการวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

6. งานวิจัยที่สนใจ: การออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรกลก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว, การออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรกลแปรรูปผลผลิตเกษตร และการออกแบบและทดสอบบรรจุภัณฑ์ผักและผลไม้

7. งานด้านวิชาการ: -

8. งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ระดับนานาชาติ

- Bundit Jarimopas and Nuttapong Ruttanadat.2007. Development of a young coconut fruit trimming machine. **Journal of Food Engineering**. 79 (2007) 752-757.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bundit Jarimopas, Nuttapong Ruttanadat and Anupun Terdwongworakul. An automatic trimming machine for young coconut fruit. **Biosystems Engineering Journal**.103 (2009) 167–175.

ระดับชาติ

- บัณฑิต จริโมภาส, จีรวรรณ มณีโรจน์ และณัฐพงศ์ รัตนเดช.2546.การใช้ NIR คัดแยกสีของผลมะเขือเทศ. **วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย** ปีที่10 ฉบับที่ 1 หน้า 44-49.
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช และ บัณฑิต จริโมภาส. 2549. อิทธิพลของความถี่สั่นพ้องและวิธีการบรรจุหีบห่อต่อความช้ำของผลแอ็บเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง.**วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** ปีที่ 37 ฉบับที่ 5 (พิเศษ). หน้า 292-295.
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช และบัณฑิต จริโมภาส. 2551. ลักษณะทางกายภาพของผลมะพร้าวอ่อนและผลมะพร้าวอ่อนปอกเปลือกที่สัมพันธ์ต่อการออกแบบเครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ. **การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9**. โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง จังหวัดเชียงใหม่, 31 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์ 2551. 203 หน้า
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช, จริงแท้ ศิริพานิช, บัณฑิต จริโมภาส และ ศักดา จันทร์ทอง. 2551. สมบัติความต้านทานแรงดึงของเชือกกล้วยนวลกับกล้วยน้ำว้า. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** ปีที่ 39 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม. หน้า 547-549.
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช และ บัณฑิต จริโมภาส. 2553. เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** ปีที่ 41 ฉบับที่ 1 (พิเศษ) มกราคม-เมษายน. หน้า 405-408.
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช ทรงธรรมไชยพงษ์ พีรยุทธ นึกอนันต์ และทะนงศักดิ์ มะลิพรม. 2553. การพัฒนาเครื่องทอดสุญญากาศสำหรับกล้วยเล็บมือนางที่มีประสิทธิภาพสูงราคาถูก. **การประชุมวิชาการระดับชาติเครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ** ประจำปี 2553. หน้า 397-401.
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช ธีรโชติ ชินวงศ์ และยุรนันท์ ดอนสิทธิ์. 2554.เครื่องบีบน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (แบบบีบเย็น) และกรรมวิธีการเตรียมเนื้อมะพร้าวเพื่อการผลิต. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 (พิเศษ) มกราคม-เมษายน. หน้า 545-547.
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช ก้องเกียรติ เติมสุข วิทยา บรรพชาติ และ ปิยะดา ทวิชศรี. 2554. ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูรมควันจากตู้อบรมควันชนิดดูดกลับอากาศร้อน. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม. หน้า 777-780.
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช วิชัย สังข์แก้ว และ ชาตรี ฐานชารี. 2555. เครื่องฝานกล้วยเล็บมือนางบนกระทะทอด. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม. หน้า 204-207.
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช กนกวรรณ ยะโกบ คนาวุฒิ รัชตจิรสกุลชัย และ ชาญณรงค์ เขียวใหญ่. 2555. เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกวัสดุเกษตร (กล้วยเล็บมือนางและทุเรียน) ในจังหวัดชุมพร. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม. หน้า 216-219.
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช กิตติวุฒิ จั่นเปี่ยม นิรัตศัย เข็มบุปผา และ พนิดา ครรชิตชัยวาร. 2555. ตู้อบลมร้อนร่วมไมโครเวฟสำหรับอบกล้วยเล็บมือนาง. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** ปีที่ 43 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม. หน้า 220-223.

9. สิทธิบัตรและอนุสิทธิบัตร

- เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อน เลขที่ 22595 วันที่ 27 กันยายน 2550
- เครื่องปอกเปลือกผลมะพร้าวอ่อนแบบอัตโนมัติ เลขคำขอสิทธิบัตร 0701002091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 2

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางศิริวรรณ พรรณราย
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs.Siriwan Srisang
2. ตำแหน่ง อาจารย์
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์(e-mail)

- สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 86160 โทรศัพท์ 09-0163-7347 e-mail: pang_som@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา
วศ.ม. (วิศวกรรมวัสดุ)	2555	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วศ.บ. (วิศวกรรมวัสดุ)	2552	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

5. ประวัติการวิจัย

ปี/ ชื่อเรื่องที่ทำวิจัย	ชื่อผู้ทำวิจัย	ระยะเวลา	สถานะ	ผลงานที่เผยแพร่
2556: การศึกษาการเตรียมวัสดุผสมยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยชีวภาพต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกล	ศิริวรรณ พรรณราย และพัชราภณ์ ปานดี	1 ปี	หัวหน้าโครงการวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2556)
2557: โครงการปรับปรุงและพัฒนาระหัดวิดน้ำ	จำลอง ปราบแก้ว, ปัญญา แดงวิไล ลักษณ์, ศิริวรรณ พรรณราย, นฤบดี ศรีสังข์, ศรีรัตน์ ช่วยบุญ, วารุณี ลิ่มมั่น และไชยรัตน์ เพชรคีรี	10 เดือน	ผู้ร่วมวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557)
2558: การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากทะลายปาล์มเปล่าร่วมกับดินฟอกสีเหลือทิ้ง	นฤบดี ศรีสังข์ และศิริวรรณ ศรีสังข์	1 ปี (1 ต.ค. 2558-30 ก.ย 2559)	ผู้ร่วมวิจัย	อยู่ระหว่างการดำเนินงานวิจัย (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2559)

6. งานวิจัยที่สนใจ: เทคโนโลยีวัสดุสำหรับพลังงานทดแทน และการประยุกต์ใช้วัสดุในกระบวนการผลิต

7. งานด้านวิชาการ: -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ระดับนานาชาติ

-Pannaray S., Wisutmethangoon S., Plookphol T. and Wannasin J., 2011, "Microstructure evolution during solution heat treatment of semisolid cast 2024 aluminum alloy", **Advanced Materials Research**, Vol. 339:714-717 .

- Pannaray S., Praditkaew K., Sansatan K. and Suklim V., 2013, "A Briquetting Machine without Binder for Palm Oil Cluster", **Agricultural Science Journal** 44: 3 (Suppl.) : 530-533.

- Pannaray S., Boonpia B., Duangsuwan K. and Thongsiri K., 2014, "Mechanic Behavior of Fibers Reinforcing in Natural Rubber STR 5L", **International Conference on Agricultural Engineering**. 267-273

- Wisutmethangoon S., Pannaray S., Plookphol T. and Wannasin J., 2014, "Effect of Aging Condition on Semisolid Cast 2024 Aluminum Alloy", **International Journal of Chemical, Material Science and Engineering**, Vol: 8 No: 4: 250-253.

- Phetkeri, C., Srisang, N., Chungcharoen, T. and Srisang, S., 2015, "Germinated Bambara Groundnut Manufacturing by Hot Air Fluidized Bed Drying Technique", **Proceeding of the 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering**, 16th December – 18th Demcember (2015), The Regent Cha-Am Beach Resort, Petchburi, Thailand.

ระดับชาติ

-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้